

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
“Полоцкий государственный университет”

В.П. ИВАНОВ

РЕМОНТ МАШИН

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ

*Утверждено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов технических специальностей
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования*

2-е издание, переработанное и дополненное

Новополоцк 2006

УДК 658.58 (075.8)
ББК 30.83 я 73
И 20

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (зав. кафедрой, доктор техн. наук, профессор В.К. ЯРОШЕВИЧ);

В.С. ИВАШКО, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой ремонта машин Белорусского государственного аграрного технического университета

Иванов В.П.

И 20 Ремонт машин. Технология, оборудование, организация: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2006. – 468 с.
ISBN 985-418-421-8

Приведены назначение, необходимость, особенности, состав и структура ремонтного производства, роль и порядок его технологической и организационной подготовки. В технологической последовательности изложены основные процессы специализированного ремонта машин. Особое внимание уделено восстановлению деталей.

Представлен материал по проектированию и оптимизации процессов и средств ремонта.

Организация ремонтного производства представлена системой мер по обеспечению его непрерывности и ритмичности, достижению нормативного качества ремонта, снижению расхода производственных ресурсов и охране окружающей среды.

Показаны состояние зарубежного ремонта и направления совершенствования отечественного ремонтного производства.

1-е издание учебника (2000 г.) вышло под заглавием “Основы ремонта машин”.

Предназначен для студентов и магистрантов технических вузов, будет полезен специалистам ремонтно-обслуживающих предприятий и аспирантам.

УДК 658.58 (075.8)
ББК 30.83 я 73

ISBN 985-418-421-8

© Иванов В.П., 2000
© Иванов В.П., 2006, с изменениями
© УО “ПГУ”, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Одновременно с созданием парка машин возникла необходимость их содержания в исправном состоянии при использовании по назначению в течение установленного срока службы.

Функции ремонтного производства заключаются в экономически обоснованном устранении неисправностей и восстановлении ресурса машин. Это производство обладает существенными отличиями от машиностроительного производства, что определяет необходимость изучения его специфичных процессов, в том числе процессов восстановления свойств машин и составных частей, изменившихся за время их длительной эксплуатации. Объемы ремонта велики, в настоящее время в ряде отраслей промышленности Беларуси капитально отремонтированных машин находится больше, чем новых.

Согласно данным отечественной литературы объем трудовых затрат на весь срок службы, например, автомобиля распределяется следующим образом: на изготовление – 1,4 %, на техническое обслуживание – 45,4 %, на ремонт – 53,2 %.

Специализированное ремонтное производство, несмотря на свои недостатки, остается ресурсосберегающим производством, которое нуждается в совершенствовании, поскольку затраты на устранение неисправностей и восстановление ресурса машины при капитальном ремонте составляют только 60...70 % от затрат на ее производство. Научно обоснованные технология и организация ремонта машин позволяют достичь нормативной наработки техники, а в отдельных случаях и превзойти наработку новых машин. Повышение технического уровня ремонтного производства требует непрерывного и планомерного развития его материальной базы, основу которой составляют средства ремонта. Прогрессивные средства ремонта должны использовать новые способы переработки материалов и преобразования энергии во время их воздействия на ремонтируемые изделия.

Научная база ремонта машин основана в 30 – 40 годах прошлого века трудами профессоров В.Э. Вейриха, И.В. Грибова, В.И. Казарцева и В.В. Ефремова. Дальнейшее развитие ремонтного производства происходило под влиянием научных школ В.А. Шадричева, К.Т. Кошкина, И.Е. Ульмана, Ю.Н. Петрова, П.П. Владзиевского, В.П. Суслова и др. Белорусская школа ремонта машин представлена трудами Н.Н. Дорожкина, В.К. Ярошевича, В.С. Ивашко, А.И. Таратуты, А.А. Сверчкова, Г.Ф. Бетени, Л.Ф. Баранова, В.П. Миклуша и других ученых. Вопросы ремонта транспортных средств и сельскохозяйственных машин включены в паспорта некоторых научных специальностей. Ряд учебных учреждений готовят специалистов

со средним техническим и высшим образованием для работы в ремонтном производстве Республики Беларусь.

Основу ремонтного производства составляют участки и процессы восстановления деталей. Большой объем исследований по восстановлению деталей в Беларуси ведут академические учреждения (Институт механики и надежности машин, Физико-технический институт, НПО “Порошковая металлургия”, Институт механики металлополимерных систем), учебные вузы (БАТУ, БНТУ, БГУ, ПГУ и др.). Над организацией ремонта работают отраслевые проектно-конструкторские организации (ПТИ “Сельхозтехпроект”, НПО “Транстехника” и др.).

При написании учебника ставилась цель – обеспечить будущего специалиста знаниями и умениями, достаточными для его инженерной деятельности в подготовке ремонтного производства высокого технического уровня. Эта подготовка должна обеспечить технологическую и организационную готовность производства к установленным срокам отремонтировать машины с нормативными показателями качества, заданной производительностью и минимальным расходом производственных ресурсов.

Дисциплина требует от студента знания основ физики, химии, материаловедения, термической обработки металлов, технологии машиностроения, проектирования машин, квалитметрии, экономики и организации производства, теории надежности и старения машин.

В первой главе системно изложены назначение, состав и структура ремонтного производства, условия и организация его создания и совершенствования. Вторая, третья и четвертая главы рассматривают различные процессы и средства технологического оснащения этого производства в технологической последовательности. Методы разработки процессов и средств силами инженерных служб ремонтного завода представлены в пятой главе. Основы современной организации ремонтного производства и направления его развития приведены, соответственно, в шестой и седьмой главах.

При написании книги использован опыт работы передовых ремонтных предприятий и научный материал последних международных конференций, проведенных в Беларуси, России, Украине и Молдове.

Приведено содержание лабораторных работ и практических занятий, предусмотренных программой. Контрольные вопросы предназначены для определения степени усвоения материала при самостоятельном его изучении. В минимальном объеме дан необходимый справочный материал.

Список литературы состоит из двух частей. Первая часть включает основные источники, по которым обучают студентов как в нашей стране, так и в странах ближнего зарубежья, а вторая – книги, расширяющие кругозор студентов и помогающие им в решении практических задач.

1. РЕМОНТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЕГО ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС

1.1. Ремонт машин в системе содержания их в исправном состоянии

1.1.1. Система технического обслуживания и ремонта машин

Техника (от греч. *téchnê* – искусство, мастерство, умение) – совокупность средств человеческой деятельности, созданных для ведения процессов производства и удовлетворения потребностей общества. Техника облегчает трудовые и умственные усилия человека, повышает их эффективность и преобразует природу в соответствии с потребностями общества. Значительная часть техники состоит из машин.

Машина – это устройство искусственного происхождения, которое обладает определенностью движений своих частей, использует энергию неживой природы и целесообразно преобразует материалы, энергию и информацию. К машинам относят технологическое оборудование, транспортные средства, сельскохозяйственную технику, вычислительные и многие другие устройства.

Машина состоит из агрегатов, которые в свою очередь – из сборочных единиц, а последние – из деталей.

Агрегат (лат. *aggrego* – присоединяю) – это часть машины, которая способна выполнять самостоятельную функцию, обладает полной взаимозаменяемостью с одноименными изделиями и возможностью сборки отдельно от других составных частей машины. Большинство машин включают агрегаты: двигательные (преобразователи энергии), передаточные (преобразователи движения) и исполнительные (воздействующие на предмет труда). Агрегаты первой группы самые сложные.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого соединены между собой с помощью сборочных переходов. Сборочная единица может собираться отдельно от других составных частей агрегата и способна выполнять свою функцию только вместе с другими его частями.

Деталь (фр. *detail* – подробность) – это элементарная неразделяемая часть машины. Деталь (по ГОСТ 2.101-68) – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. К деталям относят также изделия с покрытиями и изделия, полученные с помощью сварки, пайки, склеивания и подобных процессов.

Жизненный цикл машины (рис. 1.1) состоит из стадий. Это поиск и изучение рынка продукции 1, составление технических требований к машине и ее разработка 2, проектирование 3 и подготовка технологических процессов и средств технологического оснащения (СТО) 4, материально-техническое обеспечение 5, производство (изготовление, контроль, испытание) 6, хранение 7, продажа 8, использование по назначению 9, техническое обслужива-

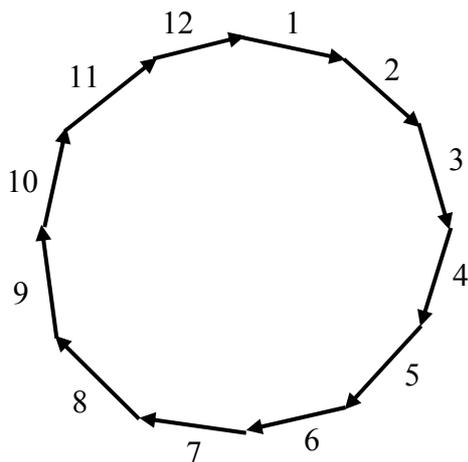


Рис. 1.1. Схема жизненного цикла машины

ние 10, ремонт 11 и утилизация после использования 12. Наиболее важная стадия жизненного цикла машины – использование ее по назначению (потребление). Одну из стадий (11) жизненного цикла обслуживает ремонтное производство.

В отличие от продукции, которая сама расходуется при использовании, машины расходуют свою способность выполнять полезную функцию. При исчерпании этой способности машина перестает существовать как средство производства, а превращается во множество годных, подлежащих восстановлению и негодных деталей.

Использование в ремонтном производстве первых двух групп деталей в качестве заготовок при определенных условиях экономически оправдано.

В машине во время ее работы протекают рабочие и разрушительные процессы. Рабочие процессы обеспечивают выполнение машиной своей основной функции. Последствия разрушительных процессов рассматриваются в теории ремонта машин.

Интенсивности рабочих $f_1(t)$ и разрушительных $f_2(t)$ процессов могут быть представлены двумя штриховыми кривыми (рис. 1.2). Естественно, интенсивность рабочих процессов по мере наработки t машины уменьшается, а интенсивность разрушительных процессов – увеличивается. Если не ограничивать разрушительные процессы, то скоро наступит момент t_o , когда машина не будет способна выполнять заданную функцию. Работы по техническому обслуживанию машин сдерживают рост интенсивности разрушительных процессов и уменьшают падение кривой рабочих процессов. Разрывы сплошных кривых в точках графика $t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_{n-1}, t_n$ объясняются скачкообразным изменением интенсивностей обоих процессов за счет ремонтных работ.

Однако наступает момент, когда разрушение начинает превалировать над полезными процессами. Машина в этом случае или не способна выполнять предназначенную функцию, или выполнение ее сопряжено с затратами, превышающими пользу от применения машины. Такое состояние машины называют *предельным*.

Площадь, ограниченная осью ординат и кривыми $f_1(t)$ и $f_2(t)$, характеризует способность A выполнять полезную функцию машины, которая выражается интегралом

$$A = \int_0^{t_{np}} \left[\sum_{i=1}^n f_1(t) - \sum_{i=1}^n f_2(t) \right] dt, \quad (1.1)$$

где t_n – наработка, соответствующая предельному состоянию машины; n – число отрезков срока службы машины, t – текущая наработка.

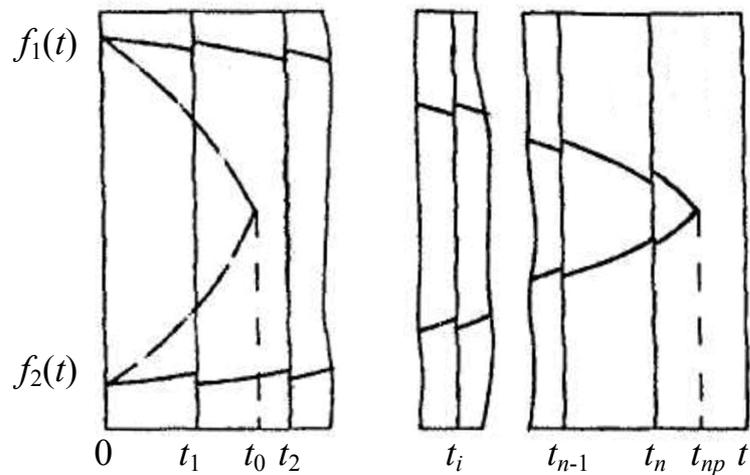


Рис. 1.2. Интенсивность рабочих $f_1(t)$ и разрушительных $f_2(t)$ процессов, протекающих в машине в течение наработки t

Машина может быть также в исправном, неисправном, работоспособном и неработоспособном состояниях.

Техническое состояние машины (ГОСТ 19919-74) – это совокупность в определенный момент значений параметров, установленных технической документацией.

В *исправном* состоянии машина соответствует всем требованиям ремонтных документов; если машина не соответствует хотя бы одному из этих требований, то она признается *неисправной*. *Работоспособное* состояние машины такое, при котором значения всех требований, характеризующих способность выполнять заданную функцию, соответствуют требованиям ремонтных документов. Если значение хотя бы одного из этих параметров не соответствует требованиям ремонтных документов, то машину признают *неработоспособной*.

Переход машины в неработоспособное состояние определяют как *отказ*. Причина отказа заключается в накоплении критического множества повреждений в элементах машины. Повреждения проявляются в виде деформаций, механических разрушений и коррозии деталей, изнашивания их поверхностей, старения и усталости материала и др.

Определение с установленной точностью технического состояния машины называют *техническим диагностированием*. Задачи диагностирования состоят в поиске неисправностей, определении остаточного ресурса и причин отказов.

Одно из основных эксплуатационных свойств машины – ее *надежность*. Согласно ГОСТ 27.002-89 под надежностью понимают свойство

машины сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность машины – комплексное свойство, которое в зависимости от назначения и условий ее применения включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или сочетания этих свойств. Надежность отремонтированной машины определяется качеством ремонта и зависит от условий ее использования по назначению и технического обслуживания.

Основным среди составляющих надежности является *безотказность*. Это свойство определяет способность машины сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Безотказность, например, может быть оценена вероятностью безотказной работы машины или средней наработкой ее до отказа.

Долговечность – свойство машины сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Долговечность машины рассматривают как отрезок времени или наработки, в течение которого оценивают ее безотказность. Показателями долговечности служат срок службы и ресурс. *Срок службы* – это календарная продолжительность эксплуатации машины до предельного состояния, а *ресурс* – это ее наработка до этого состояния.

Ресурс деталей по статической прочности, как правило, превышает их ресурс по износостойкости или циклической прочности, причем масса изношенных деталей незначительно отличается (на 1...3 %) от первоначальной массы новых деталей. Это предполагает использование остаточной долговечности деталей путем восстановления их размеров и свойств до значений, установленных ремонтными документами.

Ремонтпригодность – это приспособленность машины или ее частей к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем технического обслуживания или ремонта.

Сохраняемость – это свойство машины сохранять исправное состояние во время хранения и транспортирования.

Система мер по содержанию машин в исправном состоянии, принятая в большинстве отраслей промышленности, учитывает закономерности их изнашивания и имеет профилактическую направленность. Система получила наибольшее развитие применительно к летательным аппаратам, автомобилям, станкам и сельскохозяйственной технике. Эта система включает в себя два вида воздействий.

Воздействия первого вида направлены на уменьшение интенсивности разрушительных процессов за счет своевременного выявления и предупреждения неисправностей в плановом порядке. Неисправности выяв-

ляют в результате осмотра, контроля и проверки действия механизмов и их диагностирования, а предупреждают за счет проведения уборочно-моечных, смазочных и крепежно-регулирующих работ. Это множество работ называют техническим обслуживанием.

Техническое обслуживание – комплекс операций по поддержанию исправного состояния машины при ее использовании по назначению, хранении или транспортировании.

Воздействия второго вида включают устранение неисправностей и восстановление ресурса машин путем замены их отказавших частей на исправные. Эти работы называют ремонтом.

Ремонт (ГОСТ 18322-78) – комплекс операций по восстановлению исправного или работоспособного состояний и ресурсов машин или их составных частей.

Главная задача ремонта машин заключается в экономически эффективном восстановлении их надежности в результате наиболее полного использования остаточной долговечности деталей.

Впервые плановый ремонт оборудования проводился в 1923 – 1928 гг. на предприятиях б. Приокского горного округа под руководством инженера А.Т.Попова. Начало развития авторемонтного производства относят к 1920-21 гг., когда в системе Наркомата продовольствия Советской страны был построен Миусский авторемонтный завод в Москве. Среди первых ремонтных заводов был создан Могилевский авторемонтный завод в 1932 году.

В большинстве отраслей промышленности действует система ремонтов, выполняемых *по потребности*. Система *плановых* (профилактических) ремонтов, назначаемых через определенные сроки, действует в авиации, исходя из высоких нормативов безотказности, а также для пожарных машин, подвижного состава, перевозящего опасные грузы и работающего в экстремальных условиях. Ее разновидность – *планово-диагностическая* система ремонтов, которые проводят с учетом результатов дискретного диагностирования.

Система технического обслуживания и ремонта машин (ГОСТ 18322-78) – это совокупность зданий, сооружений, технологического оборудования и оснастки, исполнителей и документации, необходимых для поддержания и восстановления исправного состояния машин.

1.1.2. Виды и методы ремонта машин

Уточним использование понятий, применяемых в литературе по ремонту машин: реставрация, восстановление и ремонт. *Реставрация* (лат. restauratio) означает преобразование в первоначальный вид художественных и архитектурных произведений. Вводить этот термин в практику ремонта машин нет необходимости. Термин "*восстановление*" – приведение в прежнее состояние – относится к детали. *Ремонт* буквально означает "перемонтировать". В свою очередь, "монтаж" (фр. montage) – это подъем, сборка и установка машин и сооружений. Таким образом, ремонт относится к машине или ее частям, для которых выполняют разборочные и сборочные работы.

В зависимости от степени восстановления ресурса машин и вида заменяемых деталей различают капитальный, средний и текущий ремонты. *Капитальный* ремонт возвращает машине исправное состояние и восстанавливает полностью или близко к этому ресурс машины с заменой или восстановлением любых ее деталей, включая базовые. *Средний* ремонт приводит машину в исправное состояние с частичным восстановлением ресурса и заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры. *Текущий* ремонт машины служит для восстановления ее работоспособного состояния и состоит в замене или восстановлении ее основных частей.

В свою очередь, указанные виды ремонта по признаку планирования могут быть *плановыми* и *неплановыми*, а по регламентации выполнения - *регламентированными* и *по техническому состоянию*.

Метод ремонта – совокупность технологических и организационных правил выполнения операций ремонта.

Под *операцией* ремонта в соответствии с ГОСТ 3.1109-82 понимают законченную его часть, выполняемую на одном рабочем месте рабочими определенной специальности.

Метод ремонта, выполняемого с принудительным перемещением машин или их частей с одного специализированного рабочего места на другое в определенной технологической последовательности через установленные отрезки времени, называют *поточным*. В противном случае ремонт является *тупиковым*.

Ремонт выполняют силами эксплуатирующих, ремонтных или машиностроительных предприятий.

По признаку принадлежности восстанавливаемых составных частей к определенному экземпляру машины ремонт бывает обезличенным или необезличенным. При *необезличенном* методе ремонта сохраняют принадлежность частей машины к определенному ее экземпляру, а при *обезличенном* – не сохраняют. Обезличенный метод ремонта, при котором исправные агрегаты заменяют новыми или заранее отремонтированными, называют *агрегатным*.

В зависимости от разнообразия работ, выполняемых на отдельных рабочих местах, различают методы ремонта на *универсальных* и *специализированных* рабочих местах.

1.1.3. Требования к отремонтированным машинам

Отремонтированная машина должна быть установленной комплектности, а значения ее параметров должны соответствовать ремонтным документам.

В большинстве случаев в ремонт принимают полнокомплектные машины. Однако, например, для грузовых автомобилей установлены две

комплектности: полная и неполная (без платформы, фургона и деталей их крепления к раме), для двигателей – первая (полная) и вторая, без приборов электрооборудования и питания (неполная).

Качество восстановленных деталей и отремонтированных сборочных единиц, агрегатов и машин определяется свойствами, значения которых регламентированы Руководствами по капитальному ремонту. Множество восстанавливаемых свойств машины и ее частей приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Восстанавливаемые свойства машин и их составных частей

Объекты	Восстанавливаемые свойства
Детали	Чистота поверхностей
	Химический и фазовый состав материала
	Твердость поверхностей
	Прочность элементов, воспринимающих статические нагрузки
	Усталостная (циклическая) прочность
	Жесткость
	Герметичность стенок
	Взаимное расположение и форма элементов
	Линейные и угловые размеры
	Шероховатость рабочих поверхностей
	Масса и ее распределение относительно осей вращения и инерции
	Коррозионная стойкость
Сборочные единицы	Замыкающие размеры
	Масса и ее распределение относительно осей вращения и инерции
	Сборочные усилия и моменты
Агрегаты	Замыкающие размеры
	Сборочные усилия и моменты
	Герметичность стыков
	Коррозионная стойкость
	Уравновешенность
Приработанность поверхностей трущихся соединений	
Машины	Замыкающие размеры
	Относительное расположение частей
	Сборочные усилия и моменты
	Коррозионная стойкость
	Толщина, состав, прочность и гладкость лакокрасочных покрытий

Значения приведенных свойств являются ограничениями, которые в свою очередь обеспечивают не менее чем 80 %-ную послеремонтную наработку машин от наработки новых изделий.

При ремонте машин достигают нормативных значений функциональных и ресурсных свойств (показателей). Функциональные показатели характеризуют работоспособность изделий, а ресурсные – степень восстановления их ресурса.

Задачи технологов при разработке технологических процессов ремонта машин состоят в достижении нормативных значений указанных свойств с наименьшим расходом материальных, трудовых и энергетических ресурсов.

1.1.4. Нормативные, ремонтные и технологические документы

Нормативные документы на ремонт техники – это межгосударственные или республиканские стандарты, которые определяют общие технические требования к машинам, сдаваемым в ремонт и выпускаемым из ремонта, их комплектность, а также другие стандарты, на которые имеются ссылки в документации.

Применительно, например, к автомобилям и их составным частям действуют стандарты СТБ 928-93, СТБ 929-93 и СТБ 930-93. Они устанавливают комплектность и состояние автомобилей, поступающих в ремонт, правила приемки и документацию, состояние автомобилей, сдаваемых заказчику; регламентируют их послеремонтную работу. Предполагается, что автомобиль проходит только один капитальный ремонт в течение своего жизненного цикла.

Ремонтные документы включают ремонтные чертежи изделий, руководства по капитальному ремонту агрегатов, каталоги деталей и нормы расхода запасных частей и материалов.

Первичный конструкторский документ, который определяет устройство, материал и размеры восстанавливаемой детали, устраняемые повреждения и требования к качеству восстановленной детали – это ее *ремонтный чертеж*. Его разрабатывают по ГОСТ 2.604-2000 на основании рабочего чертежа новой детали.

На ремонтном чертеже приводят изображение восстановленной детали и ее материал, размеры, параметры формы и расположения элементов и их допустимые отклонения, шероховатость восстановленных поверхностей, условия, при которых деталь не принимают на восстановление, таблицу повреждений и способов их устранения, технические требования к детали. При необходимости приводят данные по базированию и таблицы ремонтных (категорийных и пригоночных) размеров.

Таблица повреждений и способов их устранения располагается слева на поле ремонтного чертежа. Она содержит коэффициенты повторяемости и возможные сочетания повреждений, основной и допускаемые способы их устранения.

На ремонтном чертеже допускается указывать несколько вариантов восстановления одних и тех же элементов детали. На каждый принципиально отличный вариант восстановления (например, с применением пластического деформирования или электромагнитной наплавки) выполняют отдельный ремонтный чертеж. В обозначении этих чертежей добавляют

через тире римскую цифру I, II и др. (соответственно для первого, второго и последующих вариантов восстановления). При этом первый вариант является основным. При использовании сварки, наплавки, напыления и других способов создания ремонтных заготовок указывают материалы, флюсы и защитные среды.

В технических требованиях к детали указывают: химический и фазовый состав материала, твердость рабочей поверхности и разброс ее значений, допустимое наличие пор, раковин и отслоений, прочность соединения покрытия с основой и другие параметры, обусловленные применением конкретного способа восстановления детали.

Разрабатывают также ремонтные чертежи сборочных единиц и агрегатов. В качестве таких чертежей могут быть использованы чертежи завода-изготовителя.

Ремонтные чертежи разрабатывают в две стадии: для опытного (литера РО) и серийного (литера РА) восстановления или ремонта изделий. По ним подготавливают и организуют производство.

Руководства по капитальному ремонту отдельных машин и их агрегатов разрабатываются отраслевыми специализированными проектно-конструкторскими организациями. Руководства определяют организацию ремонта, содержат сведения по приемке и хранению ремонтного фонда, разборке изделий, технические требования к сортировке и восстановлению деталей, сборке, окрашиванию, обкатке, испытанию, хранению и транспортированию агрегатов, устанавливают порядок маркирования и упаковки изделий, приводят гарантии ремонтного предприятия. Эти документы требуют обязательной замены ряда ответственных или малоресурсных деталей (подшипников качения и скольжения, прокладок, некоторых крепежных деталей и др.).

Каталоги деталей машин в виде иллюстрированных книг выпускают заводы-изготовители.

Укрупненные *нормы расхода* запасных частей, материалов и инструментов на капитальный ремонт отдельных машин, в том числе их агрегатов, разрабатывают проектные организации.

Заводские инженерные отделы разрабатывают различные *технологические* документы и уточняют материальные нормативы.

Комплект технологической документации содержит титульный лист, карты эскизов, маршрутную или операционную карту, или карту типовой (групповой) операции, ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому технологическому процессу (операции), ведомости технологических документов, оборудования, оснастки и материалов.

Титульный лист относится к отдельному технологическому процессу или группе процессов, содержит название комплекта технологической документации с указанием изделия и процесса, организации-разработчика, фамилий и подписей главного технолога и начальника ОТК. На титульном листе процесса имеется утверждающая подпись главного инженера завода.

Карты эскизов – графический материал, содержащий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для пояснения выполнения технологического процесса, операции или перехода ремонта изделия, включая контроль и перемещение.

Технологические карты (маршрутная и операционная карты, карты технологического процесса, типового или группового технологического процесса) содержат описания технологических операций, включая контроль и перемещение, с указанием данных об оборудовании, оснастке, технологических режимах, материальных нормативах и трудовых затратах со ссылками на документы по охране труда. Маршрутная карта является основным и обязательным документом, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности. При разработке типовых или групповых процессов в маршрутной карте указывают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе изделий. Операционная карта предназначена для описания технологической операции с указанием переходов, технологических режимов, оборудования, приспособлений, инструмента и основного времени. Состав сведений должен быть достаточным для выполнения операции с необходимым качеством.

Ведомости деталей (сборочных единиц) к типовому технологическому процессу содержат состав деталей или типоразмеров поверхностей, восстанавливаемых по данному процессу, и переменные данные, которые представляют таблицами. Ведомость технологических документов определяет их состав. Ведомости оснастки и оборудования содержат их перечни, которые необходимы для выполнения технологического процесса.

Технологическую документацию разрабатывают в две стадии: для опытного (литера РО) и серийного (литера РА) восстановления или ремонта изделия. Технологическая документация и СТО, разработанные на заводе, проходят технологическую экспертизу и нормоконтроль на предмет обеспечения требований, установленных нормативными документами.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью делят жизненный цикл машины на части? 2. В каких состояниях может пребывать машина? 3. В каком отношении находятся понятия надежности и долговечности машины? 4. В чем суть системы технического обслуживания и ремонта машин? 5. Изложите главную задачу ремонтного производства. 6. По каким признакам различают виды и методы ремонта машин? 7. Перечислите виды нормативных и ремонтных документов.

Практическое занятие № 1

РЕМОНТНЫЙ ЧЕРТЕЖ ДЕТАЛИ

Цель занятия – приобретение навыков по разработке ремонтных чертежей восстанавливаемых деталей.

Индивидуальное задание. Рабочий чертеж изготовленной детали, сборочный чертеж механизма, в который входит восстановленная деталь, технические требования к отремонтированному механизму.

Порядок выполнения задания. В процессе выполнения задания изучают назначение, устройство и материал детали, условия ее работы в механизме.

Для выполнения задания необходимо:

- изучить чертеж механизма, в котором работает деталь;
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства);
- описать служебное назначение детали;
- присвоить каждой поверхности детали условное обозначение, описать назначение основных поверхностей детали, выявить влияние точности взаимного расположения и формы, размеров и шероховатости поверхностей детали на работу механизма;
- определить факторы, действие которых приводит к изнашиванию поверхностей детали, выделить интенсивно изнашивающиеся поверхности;
- определить требования к выделенным поверхностям для обеспечения работоспособности детали;
- привести свои соображения относительно выбора материала для восстановления поверхностей детали;
- разработать ремонтный чертеж детали;
- оформить отчет.

Содержание отчета: название и цель работы; эскиз узла, в который входит деталь; анализ условий работы детали; ремонтный чертеж восстанавливаемой детали.

1.2. Производственный процесс, необходимость и особенности ремонта машин

1.2.1. Схема производственного процесса ремонта машин

Производственный процесс ремонта машин включает деятельность исполнителей и функции средств ремонта, которые необходимы для превращения машин из состояния ремонтного фонда в состояние товарной продукции.

Производственный процесс ремонтного завода охватывает доставку и хранение ремонтного фонда, обеспечение материалами и запасными частями, их складское хранение и распределение, работы по обеспечению теплом, энергией, воздухом, холодом и другими ресурсами, а также по ре-

монта и обслуживанию зданий, сооружений и СТО, все технологические воздействия на ремонтируемые изделия, хранение и сбыт отремонтированных машин (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Схема производственного процесса ремонта машин

Технологические процессы ремонта – это части производственного процесса, которые содержат действия по изменению состояний предмета ремонта и последующему определению этих состояний.

Владелец техники подготавливает ее и доставляет на ремонтное предприятие. Здесь определяют объем ремонтных работ, назначают вид и метод ремонта и документально оформляют передачу машины. Если отрезок времени между приемкой техники в ремонт и самим ремонтом превышает один месяц, то машину консервируют и направляют на площадку ремонтного фонда.

Затем машину подают на разборочно-очистной участок с помощью конвейера, транспортера или тягача.

Перед очисткой с машины снимают сидения, приборы электрооборудования и питания, которые направляют на специализированные участки ремонта.

Очистные и разборочные технологические операции, сменяя друг друга, превращают машину во множество деталей, которые подлежат сортировке на три группы: годные, требующие восстановления и негодные. Сортировочные работы выполняют на участке определения технического состояния деталей. Годные к использованию детали без дальнейшей доработки направляют на комплектовочный участок. Детали, которые имеют устранимые повреждения и подлежат восстановлению, являются исходными заготовками и направляются в склад накопления. Детали, имеющие неисправимые повреждения, признают утильными и направляют на участок переработки металлолома. Сортировке подлежат все детали разобранной машины, рассмотренные Руководством по капитальному ремонту машины.

В складе накопления детали с устранимыми повреждениями объединяют в группы с одинаковыми сочетаниями повреждений и в виде партий направляют на соответствующие участки восстановления.

Восстановление деталей – основной источник эффективности ремонтного производства и его основа.

На специализированных участках по восстановлению отдельных деталей вначале исходные заготовки превращают в ремонтные заготовки путем создания припусков на обработку восстанавливаемых элементов. Припуски получают из материала исходной заготовки или материала, закрепленного на ее поверхности. Материал самой детали может быть использован для обработки под ремонтный или номинальный размер. В последнем случае предварительно перемещают материал детали путем пластического деформирования из неизнашиваемого объема в зону износа. Ремонтное производство располагает различными способами создания припусков на обработку из материала, закрепленного на восстанавливаемых поверхно-

стях. Эти способы включают установку дополнительных ремонтных деталей, наплавку, напыление, нанесение химических и электрохимических покрытий и др. Создание припусков в отдельных случаях совмещают с упрочнением восстанавливаемых элементов.

Исходные заготовки с припуском на механическую обработку являются ремонтными заготовками.

Ремонтные заготовки проходят механическую и термическую обработку, в результате которой они становятся деталями за счет достижения необходимых взаимного расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей, а также требуемых физико-механических свойств материала. В конце процесса восстановления детали измеряют параметры, приведенные в карте технического контроля.

Восстановленные детали поступают на комплекточный участок. Здесь формируют сборочные комплекты деталей, из которых будут состоять отдельные агрегаты. В эти комплекты входят детали, годные без восстановления, восстановленные, а также приобретенные запасные части. Детали, образующие соединения, подбирают друг к другу по размерам. Некоторые одноименные детали должны иметь одинаковую массу. Ряд вращающихся изделий проходит статическую или динамическую балансировку.

Целые сборочные комплекты деталей подают на универсальные сборочные рабочие места или части этих комплектов – на позиции сборочного конвейера. При сборке обеспечивают точность замыкающих размеров сборочных единиц с контролем значений моментов затяжки резьбовых соединений, а в необходимых случаях и усилий запрессовывания деталей.

Собранные агрегаты окрашивают с целью придания им товарного вида и защиты от вредного влияния окружающей среды. На некоторые поверхности машин наносят противокоррозионное покрытие. Затем их направляют на участок обкатки. Двигатели, например, приводят вначале от постороннего источника энергии, а затем – заводят, постепенно увеличивая нагрузку по установленной программе. Соединения, таким образом, прирабатывают и готовят к эксплуатационному нагружению. В заключение обкатки агрегаты испытывают под нагрузкой. При этом измеряют значения рабочих параметров и сопоставляют их с нормативными, агрегаты осматривают и прослушивают.

Собранную машину также обкатывают и испытывают. По результатам испытаний принимают решение о реализации машины. Если были выявлены дефекты, то они устраняются, а машина направляется на повторные (возможно, сокращенные) испытания. Машину, принятую ОТК, консервируют и сдают на склад готовой продукции.

1.2.2. Необходимость ремонта машин

В современных условиях необходимость ремонта машин обусловлена рядом обстоятельств:

1. Ограниченные государственные запасы топлива и материалов в Беларуси не могут обеспечить достаточное воспроизводство парка машин силами машиностроения и требуют развития ремонтного производства, которое сберегает много живого и овеществленного труда.

2. Различные детали и узлы машин имеют разную долговечность. Если машины спроектированы как устройства с равноресурсными элементами, то их долговечность в различных условиях эксплуатации неодинакова. Составные части машины отказывают в разное время, поэтому потребность в ремонте возникает в различные моменты ее эксплуатации. Ремонт обеспечивает нормативную безотказность машин в течение срока их службы.

3. Ремонт машин позволяет использовать сохранившуюся потребительскую стоимость в виде остаточной долговечности деталей. Досрочная замена машины приводит к потере ее неиспользованной стоимости.

4. Ремонт, проводимый совместно с модернизацией, позволяет значительно сблизить сроки физического и морального износа машин, повысить их технический уровень или приспособить к новым требованиям при использовании. Модернизация заключается в использовании более совершенных агрегатов или их частей, выпускаемых машиностроительными заводами, и проведении работ ремонтным предприятием.

Примеры таких мероприятий: замена карбюраторного двигателя дизелем для уменьшения эксплуатационных затрат; установка более совершенных агрегатов системы питания, смазки и электрооборудования для повышения надежности; использование пятиступенчатой коробки передач вместо четырехступенчатой для повышения динамики легкового автомобиля; замена брезентового тента кузова легкового автомобиля высокой пластмассовой крышей для повышения комфортабельности; упрочнение быстроизнашиваемых деталей для уравнивания их наработки с наработкой других деталей; коррозионная защита элементов кузова для повышения его долговечности; замена электромеханического привода главного движения металлорежущего станка на электрический с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя.

5. Ремонт экономически целесообразен. Около четверти деталей ремонтного фонда изношены в допустимых пределах и могут быть использованы повторно, а около половины деталей могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15...30 % от цены новых деталей. Восстановление деталей сохраняет большое количество материалов, энергии и труда.

1.2.3. Отличительные признаки ремонта машин

Большинство отраслей машиностроения не ремонтирует свои изделия. Сложившаяся практика использования машин такова, что эту функцию выполняют отрасли, потребляющие машины.

Выявление общих признаков ремонта (вторичного производства) машин и их изготовления (первичного производства), а также отличий этих производств друг от друга необходимо для заимствования прогрессивных средств оснащения, технологий и организационных форм и определения специфичных путей развития ремонтного производства.

Особенности технологии ремонта машин обусловлены:

- наличием разборочного процесса;
- неопределенным состоянием деталей ремонтного фонда;
- необходимостью определения технического состояния деталей ремонтного фонда и их сортировки;
- отличием способов восстановления деталей от способов их изготовления;
- сборкой машин в значительной мере из уже работавших деталей (восстановленных и годных без восстановления), которые по значениям отдельных параметров отличаются от новых деталей.

Ремонтное производство отличается от машиностроения исходными заготовками и меньшими производственными мощностями (рис. 1.4).

Детали новых машин изготавливают из материальных полуфабрикатов, обладающих технологической определенностью. Исходный объект ремонта – это ремонтный фонд машин, состоящий из загрязненных и изношенных деталей. Повреждения одноименных элементов деталей характеризуются различными значениями (допустимыми и предельными), что обуславливает различную остаточную долговечность деталей. Большое количество состояний деталей ремонтного фонда требует группирования заготовок с подобными сочетаниями повреждений, формирования партий заготовок с такими сочетаниями и запуск их на восстановление партиями.

В ряде случаев исходные заготовки ремонта не имеют припусков на обработку не только под номинальные, но и под ремонтные размеры, что приводит к необходимости создания припусков на изношенных поверхностях. Эти припуски необходимы для восстановления шероховатости, размеров, формы и расположения поверхностей путем их механической обработки.

Ремонтируемые изделия предварительно комплектуют и собирают из деталей: имеющих допустимые износы (без восстановления), восстановленных и новых (запасных частей).

Большое количество ремонтных предприятий (по сравнению с машиностроительными заводами) и их ведомственная разобщенность объясняют меньшие объемы выпуска продукции отдельными ремонтными заводами, а следовательно, и недостаточную оснащенность операций ремонта оборудованием. Распространенное оборудование в ремонтном производстве – универсальное и специализированное. Специальное оборудование здесь исчисляется единицами. В машиностроении распространено оборудование специализированное и специальное.

	Машиностроение	Ремонтное производство
Цель	Создание парка машин (первичное производство)	Устранение неисправностей и восстановление ресурса парка машин (вторичное производство)
Исходный предмет труда	Материалы, полуфабрикаты	Ремонтный фонд парка машин
Источник заготовок	Заготовительные производства: литейное, кузнечное, штамповочное	Разборочно-очистной участок
Число состояний детали	Одно	Больше одного
Производственный участок по определению технологических маршрутов		Участок сортировки
Способ создания припуска на обработку	Формой заготовки	Нанесением покрытий, перемещением материала, использованием поверхностного слоя детали
Объемы и тип производства	Сотни тысяч единиц, массовое	Десятки тысяч единиц, серийное
Оборудование	Специальное, специализированное	Специализированное, универсальное
Детали для сборки машин	После изготовления	Годные после разборки, восстановленные, изготовленные, приобретенные

Рис. 1.4. Сопоставление признаков машиностроения и ремонтного производства

Таким образом, отличие ремонтного производства от машиностроения обуславливается следующими причинами:

- наличием специализированных производств (разборки, очистки, определения технического состояния деталей, создания ремонтных заготовок, комплектования сборочных рабочих мест деталями различных категорий), которым нет аналогов в машиностроении;

- необходимостью пред- и послеремонтного диагностирования как неразрушающего и безразборного определения неисправностей, качества ремонта и остаточного ресурса деталей и соединений;

- наличием технологических процессов, присущих только ремонтному производству (отделения эксплуатационных загрязнений от поверхностей деталей ремонтного фонда, разборки агрегатов после их длительной эксплуатации, нанесения восстановительных покрытий, восстановления жесткости, усталостной прочности и герметичности деталей);
- большим количеством состояний исходных и ремонтных заготовок;
- отсутствием в ремонтном производстве стадии отработки изделий на технологичность, т.к. в качестве чертежей изделий применяют разработки машиностроительного производства с небольшими изменениями;
- различными возможностями рассматриваемых производств, хотя значения показателей качества товарной продукции должны быть одинаковы;
- большой потребностью в создании переналаживаемых средств технологического оснащения и необходимостью изготовления большого количества оснастки на универсальное оборудование.

Вопросы для самоконтроля

1. В каком отношении находятся понятия производственного и технологического процессов? 2. Перечислите основные технологические процессы, составляющие ремонт машин. 3. Обоснуйте необходимость ремонта машин. 4. Чем отличаются процессы ремонта машин от процессов их изготовления?

1.3. Состав и структура ремонтного производства

1.3.1. Определение и виды ремонтного производства

Ремонтное производство представляет собой множество промышленных предприятий и самостоятельных производственных подразделений, которые ведут ремонт техники.

Ремонтное предприятие – это система производственных помещений и сооружений, средств технологического оснащения и исполнителей, производственных ресурсов и технической документации, способная выполнять один или несколько видов ремонта техники.

По территориальному признаку, производственным возможностям, объему и сложности выполняемых работ ремонтные предприятия или подразделения относят к одному из трех видов.

К первому виду относят *ремонтные подразделения организаций*, эксплуатирующих свою технику. Например, каждое машиностроительное предприятие имеет собственное производство для среднего и текущего ремонта своего технологического оборудования.

Производство второго вида – это *ремонтные мастерские общего назначения, станции технического обслуживания и ремонта*, специализированные по ремонту машин различных видов. Здесь выполняют средний ремонт техники.

Третий вид производства представляют *специализированные ремонтные заводы* и *научно-производственные объединения*, предназначенные для сложного и трудоемкого капитального ремонта машин и их агрегатов. Это наиболее оснащенные предприятия областного или республиканского значения, в которых представлены разнообразные средства и процессы ремонта.

Ремонтные предприятия специализированы по предметному признаку, они ремонтируют технику определенного вида и комплектности. Различные заводы ремонтируют автомобили, тракторы, комбайны, тепловозы, вагоны, суда, самолеты, бронетехнику, металлорежущие станки и другие машины, а также их агрегаты.

Специализированное ремонтное производство Республики Беларусь включает более 40 ремонтных заводов, по существу выполняющих вторичное производство машин на принципах полной или групповой взаимозаменяемости. Ремонтные заводы принадлежат министерствам сельского хозяйства и продовольствия, транспорта, обороны и др. Самое большое ремонтно-обслуживающее производство в Республике Беларусь находится в составе Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Оно обслуживает около 30 % автомобилей общего пользования, тракторы, комбайны и другую сельскохозяйственную технику.

1.3.2. Структура ремонтного завода

В производственном процессе ремонтного предприятия участвуют основное, вспомогательное и обслуживающее производства и заводоуправление.

Основное производство – это множество производственных цехов или участков (разборочно-очистных, определения технического состояния исходных заготовок, создания ремонтных заготовок, обработки, комплекточно-сборочных, окрасочных, обкаточно-испытательных и др.), функции которых непосредственно связаны с выпуском товарной продукции. Основным производством руководит сам директор завода.

Тип основного производства зависит от видов, регулярности выпуска и объема выпускаемой продукции. Он определяется значением коэффициента закрепления операций K_{30} за рабочими местами

$$K_{30} = O/p, \quad (1.2)$$

где O и p – соответственно, число различных операций и рабочих мест на производстве.

Различают типы производства: единичное, серийное и массовое. В единичном производстве $K_{30} > 40$, в мелкосерийном – $40 > K_{30} > 20$, в серийном – $20 > K_{30} > 10$ и в крупносерийном – $10 > K_{30} > 1$. В массовом производстве за каждым рабочим местом закреплена одна операция ($K_{30} = 1$).

Применяют *цеховую, участковую и комбинированную* структуры основного производства. Цеховая структура применяется на крупных ремонтных предприятиях с числом работающих свыше 500 человек. Предприятие, в зависимости от его специализации и кооперации с другими заводами, состоит из 3...5 хозрасчетных цехов с числом работающих в каждом цехе 125...300 человек. Организуют цехи:

- заготовительный с механическим, кузнечным и штамповочным участками;

- разборочный с участками разборки, очистки, определения повреждений и сортировки деталей, приготовления и очистки растворов и складом накопления;

- централизованного восстановления деталей с участками сварочно-наплавочным, нанесения газотермических покрытий, гальваническим, медницким, механическим (с отделениями приготовления СОЖ и переработки стружки), термическим, переработки резины и пластмасс;

- сборочный с участками комплектовочным, ремонта электрооборудования, пневмо- и гидроаппаратуры, топливных систем, шин, сборки, окрашивания и нанесения противокоррозийных покрытий;

- обкаточно-испытательный с участками обкатки, досборки и устранения дефектов.

Цехом руководит его начальник, которому подчинены начальники смен, старшие мастера, мастера и бригадиры.

Средне- и маломощные заводы в своем составе имеют участки, которые возглавляют старшие мастера.

Вспомогательное производство служит для обеспечения жизнедеятельности основного производства. Функции вспомогательного производства: изготовление средств ремонта (оборудования и оснастки), необходимых для основного производства, но приобретение которых невозможно или нецелесообразно; ремонт оборудования и оснастки; обеспечение производства сжатым воздухом, холодом, тепловой и электрической энергией, технологическими газами, питьевой и производственной водой и свежим воздухом; удаление и переработка отходов; ремонт зданий, сооружений и инженерных сетей, лабораторные испытания материалов. Вспомогательное производство включает отделы главного механика (ОГМ) и главного энергетика (ОГЭ), инструментальный (ИУ) и ремонтно-строительный (РСУ) участки, заводскую лабораторию. Вспомогательным производством руководит главный инженер завода, который является первым заместителем директора.

В состав заводской лаборатории входят лаборатории: химическая, металлографическая, измерительная и надежности.

Обслуживающее производство обеспечивает бесперебойную работу основного и вспомогательного производства. Обслуживающие процессы – это транспортирование, складирование, выдача материалов и полуфабри-

катов. Результатом обслуживающих процессов является выполнение услуг. Обслуживающим производством руководит заместитель директора по снабжению и сбыту.

Внутризаводской транспорт перевозит между цехами и складами материалы, полуфабрикаты и изделия.

Общезаводские склады – это склад ремонтного фонда, запасных частей с участком расконсервации деталей, металлов, химикатов, лакокрасочных, горюче-смазочных и лесоматериалов, сжатых газов, утиля, готовой продукции с участком консервации.

Заводоуправление включает администрацию и отделы, состав и функции которых зависят от мощности и специализации предприятия. Перечень отделов: главного технолога (ОГТ) и главного конструктора (ОГК), маркетинга, технического контроля (ОТК), материально-технического обеспечения (ОМТО), планово-экономический (ПЭО), финансово-сбытовой (ФСО), производственно-диспетчерский (ПДО), организации труда и заработной платы (ООТиЗ), кадров (ОК), бухгалтерия.

1.3.3. Основные фонды предприятия

Основные фонды предприятия – это средства труда, которые многократно участвуют в производственном процессе, переносят свою стоимость на продукцию частями по мере своего изнашивания и воспроизводятся через множество производственных циклов.

Расчет норм амортизационных отчислений и учет основных фондов требуют определения их структуры и классификации. По функциональному назначению основные фонды делят на производственные и непроизводственные. Первые действуют в сфере производства (здания, сооружения, СТО), а вторые удовлетворяют бытовые и культурные потребности работников (подсобное хозяйство, магазины, клуб и др.). По натурально-вещественным признакам основные фонды подразделяют на группы (табл. 1.2), которые образуют их структуру. Она зависит от сложности и особенностей ремонтируемой продукции, типа производства и других факторов.

В зависимости от степени непосредственного воздействия на создаваемую продукцию основные производственные фонды подразделяют на активные и пассивные. *Активную* часть основных фондов составляют средства (оборудование, приборы, инструменты), которые оказывают прямое влияние на количество и качество продукции. К *пассивной* части основных фондов относят средства, которые обеспечивают работу активной части основных фондов. В структуре основных производственных фондов активная их часть должна непрерывно увеличиваться.

Количество, разнообразие, технический уровень и техническое состояние средств технологического оснащения определяют производственные возможности предприятия, а степень их использования – показатели производственно-хозяйственной деятельности.

Основные фонды предприятия

Группы		Назначение
Здания		Архитектурно-строительные объекты производственного назначения (цехи, склады, лаборатории и др.)
Сооружения		Инженерно-строительные объекты, выполняющие технические функции по обслуживанию производственного процесса (очистные сооружения, дороги, эстакады и др.)
Инженерные сети		Устройства для передачи энергии (кабельные и тепловые сети), материальных ресурсов (газовые, водяные и др. сети) и отходов (коллекторы и др.)
Средства	Энергетические	Объекты для преобразования и распределения энергии (трансформаторы, турбины, компрессоры и др.)
	Технологические	Объекты, непосредственно воздействующие на предметы труда (станки, прессы, печи, подъемно-транспортные машины и др.)
	Измерительные и лабораторные	Ручные или автоматические устройства для контроля и регулирования технологических процессов, лабораторных испытаний и исследований
	Транспортные	Средства для перемещения людей и грузов
	Вычислительная техника	Средства для автоматизации процессов решения математических задач
	Инструмент	Средства для непосредственного формообразования и измерений
	Оргтехоснастка	Вспомогательные средства для организации технологических операций

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких элементов состоит ремонтное предприятие? 2. По каким признакам классифицируют ремонтные предприятия и подразделения? 3. Чем отличаются основное и вспомогательное производства друг от друга? 4. Для каких целей рассчитывают коэффициент закрепления операций? 5. Какие функции закреплены за обслуживающим производством предприятия? 6. Каковы структура и значение основных фондов предприятия?

Практическое занятие № 2**ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА РЕМОНТНОГО ЗАВОДА**

Цель занятия – приобретение практических навыков по разработке организационной структуры ремонтного завода.

Данные для выполнения задания: сборочный чертеж ремонтируемого изделия, трудоемкость его ремонта и объемы выпуска.

Порядок выполнения задания:

– определить годовую трудоемкость T_2 (чел.-ч) ремонта изделий;

– рассчитать списочную численность n_{cn} основных производственных рабочих, используя формулу

$$n_{cn} = \frac{T_2}{\Phi_{op}}, \quad (1.3)$$

где Φ_{op} – номинальный годовой фонд времени рабочего, ч;

– принять численность обслуживающих и вспомогательных производственных рабочих в количестве 25 % от основных производственных рабочих;

– распределить объем работ T_2 по цехам и участкам в соответствии со сложившимися пропорциями. Примерное распределение трудоемкости ремонтных работ по производственным участкам агрегаторемонтного завода приведено в табл. 1.3;

– определить участки или цехи основного производства завода;

– назначить отделы (участки) вспомогательного и обслуживающего производства;

– назначить администрацию и отделы заводоуправления;

– составить организационную схему ремонтного завода.

Таблица 1.3

Распределение трудоемкости ремонта агрегатов по видам работ

Виды работ		Доля, %
Очистка		4...6
Предремонтное диагностирование		1...2
Разборка	узловая	3...4
	общая	3...4
Определение технического состояния и сортировка деталей		2...4
Нанесение восстановительных покрытий		20...30
Механическая обработка		25...30
Комплектование деталей		2...3
Уравновешивание деталей и сборочных единиц		0,5...1
Сборка	общая	5...10
	узловая	10...15
Окрашивание		1...2
Обкатка		5...6
Испытания		0,5...1
Устранение дефектов		1...2
Консервация		~ 1
Перемещение		1...3

Содержание отчета: название и цель работы; организационная схема ремонтного завода; выводы по работе.

1.4. Средства технологического оснащения

1.4.1. Технологические воздействия на ремонтируемые объекты

Множество необходимых воздействий (технологических переходов) на ремонтируемое изделие со стороны системы СТО определяют в результате разработки соответствующих технологических процессов. Указанное множество технологических переходов выполняют исполнительные агрегаты в составе технологических машин. На рис. 1.5 показано распределение видов технологических переходов, связанных, например, с ремонтом двигателя внутреннего сгорания. Наиболее часто измеряют длины (35,2 %), прикладывают разборочные и сборочные моменты (по 14,4 %), подают и ориентируют заготовки и детали (по 6,2 %), базируют и закрепляют заготовки при обработке (по 4,0 %). При этом используют устройства для базирования и закрепления ремонтируемых и восстанавливаемых изделий, приложения разборочных и сборочных усилий и моментов, внутриоперационного перемещения изделий, измерения длин, формы и расположения поверхностей, расходов и давления сред, вращательного и поступательного перемещения деталей или сборочных единиц и др.

Технологические переходы одного вида отличаются друг от друга значениями их главного параметра (например, длиной измеряемых отрезков, значениями разборочных и сборочных моментов, массой заготовок, усилием закрепления). Множество исполнительных агрегатов в количестве нескольких тысяч единиц может быть сведено примерно в тридцать групп разнофункциональных устройств. Этот важный вывод о структуре технологических машин позволяет сосредоточить основные проектные работы на разработке небольшой номенклатуры исполнительных агрегатов и их рядов, из которых могут быть скомпонованы различные технологические машины.

Наиболее насыщены различными исполнительными агрегатами разборочные, сборочные, контрольно-сортировочные, для нанесения покрытий, металлообрабатывающие и испытательные средства. Включение в состав технологических машин устройств для подачи и ориентирования заготовок и деталей на операциях определения их технического состояния, контроля, обработки и сборки существенно уменьшает (в 1,5...2,5 раза) трудоемкость этих операций и повышает уровень их механизации.

Затраты на создание и эксплуатацию исполнительных агрегатов в наибольшей степени зависят от массы ремонтируемых объектов, площади поверхностей деталей, на которые наносят покрытия, моментов и усилий разборки и сборки, точности обработки. К снижению этих затрат приводят широкое применение энергии неживой природы, повышение скоростей рабочих движений и совмещение технологических переходов во времени.



Рис. 1.5. Количество n технологических переходов, приходящихся на ремонт одного двигателя внутреннего сгорания

1.4.2. Классификация средств технологического оснащения

Система средств технологического оснащения – это целостное множество технологических оборудования и оснастки, необходимых для выполнения технологических воздействий на ремонтируемые изделия на пути их превращения из состояния ремонтного фонда в состояние товар-

ной продукции. Систему СТО создают путем их приобретения и изготовления, а совершенствуют путем модернизации.

Средства технологического оснащения *приобретенные* – это средства ремонта, изготовленные вне предприятия и поступившие за оплату в виде товарной продукции или без оплаты в результате передачи с баланса на баланс предприятий.

Приобретают металлорежущие и балансировочные станки, прессы, компрессоры, термические печи, конвейеры, грузоподъемные машины и другое оборудование.

Средства технологического оснащения, *изготовленные* в собственном вспомогательном производстве, – это средства ремонта, изготовленные на предприятии в результате технологической подготовки производства по конструкторской документации, разработанной инженерными службами предприятия или приобретенной на стороне.

Изготавливают установки, станды, приспособления на металлорежущие станки, специальные инструменты и некоторые средства измерений.

Основное назначение системы СТО заключается во всемерной экономии живого труда путем замены человека в производственных процессах устройствами, потребляющими энергию неживой природы.

Классификация СТО – это деление их на группы по наличию установленных признаков. Выбор классификационных признаков зависит от целей классификации. Деление должно быть по одному основанию, непрерывным, без остатка, каждый член деления может входить только в одну группу. Классификация СТО служит целям их унификации, что приводит к сокращению объемов проектирования и повышению серийности их изготовления.

Унификация технологических объектов – это рациональное сокращение типов, видов и размеров, разновидностей составляющих их частей, а также материалов, покрытий и норм точности. Некоторые убытки от использования системы этих объектов окупаются на стадии проектирования и изготовления. Задача унификации объектов является оптимизационной.

Технологическое оборудование – это СТО, в которых для выполнения части технологического процесса устанавливают технологическую оснастку, материалы или заготовки и средства воздействия на них.

Примеры технологического оборудования: разборочные станды, очистные машины, металлорежущие станки, обкаточно-тормозные станды.

Технологическое оборудование классифицируют по виду обрабатываемых изделий, разнообразию выполняемых технологических функций и приспособленности к изменяющимся ремонтным объектам и объемам производства.

В ремонтном производстве применяют технологическое оборудование следующих типов: диагностическое, разборочное, очистное, для определения технического состояния деталей, для нанесения покрытий, кузнечно-прессовое, для обработки резанием, термическое, измерительное,

балансировочное, сборочное, окрасочное, обкаточное, испытательное, подъемно-транспортное, для переработки отходов.

По широте выполняемых функций технологическое оборудование делят на универсальное, специализированное и специальное.

Универсальное оборудование (металлорежущее, кузнечно-прессовое, термическое и др.) обладает широкими технологическими возможностями.

Специализированное оборудование обладает увеличенными производительностью и точностью обработки однотипных заготовок, но более узкими технологическими возможностями по сравнению с универсальным оборудованием. В специализированное оборудование превращают универсальное оборудование (чаще металлорежущее) путем заводской модернизации.

Специальное оборудование выполняет узкую технологическую функцию над ремонтируемым (восстанавливаемым) изделием определенной модели, обладает наибольшей производительностью и обеспечивает наивысшую точность.

Примеры специального оборудования: шлифовальные станки для обработки коренных или шатунных шеек коленчатых валов, расточные станки для одновременной обработки коренных опор, втулок распределительного вала и отверстия под стартер в блоке цилиндров, контрольные стенды и др. Металлорежущее специальное оборудование изготавливают на станкостроительных заводах по заказу.

По приспособленности технологического оборудования к различным производственным условиям его делят на перестраиваемое, переналаживаемое и гибкое.

Перестраиваемое оборудование может быть использовано для обработки другой детали или группы деталей при затратах средств и труда, соизмеримых с его стоимостью.

Переналаживаемое оборудование при переходе на обработку другой детали или группы деталей не требует дополнительных вложений и остановки производства, но последующая его эксплуатация связана с изменением текущих расходов.

Гибкое оборудование при переходе на обработку другой детали или группы деталей не требует ни дополнительных вложений, ни остановки производства, ни увеличения текущих расходов.

Технологическая оснастка представляет собой устройства, которые расширяют технологические возможности оборудования и применяются только вместе с ним. Оснастка включает приспособления и инструмент.

Примеры технологической оснастки: фрезы, резцы, борштанги, приспособления, штампы, пресс-формы.

Приспособления – это технологическая оснастка, предназначенная для установки ремонтируемого (восстанавливаемого) изделия или ориентирования инструмента при выполнении технологической операции.

Инструмент – это технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на изделие с целью изменения его состояния, которое определяют при помощи мер и (или) измерительных приборов.

1.4.3. Назначение технологического оборудования

Назначение основного технологического оборудования различных типов следующее.

Средства диагностирования служат для определения неисправностей и остаточного ресурса агрегатов. Эти средства развиваются с внедрением необезличенного ремонта техники с целью определения необходимого объема ремонтных работ, а следовательно, и вида ремонта.

С помощью разборочного оборудования выполняют установку ремонтируемых объектов, их технологические перемещения, силовое разъединение резьбовых и прессовых соединений.

Очистное оборудование снимает эксплуатационные и технологические загрязнения с поверхностей деталей и регенерирует очистные среды.

Средства для определения технического состояния деталей ремонтного фонда применяют для сортировки деталей на годные, подлежащие восстановлению (с назначением технологических маршрутов) и негодные, которые будут заменены на новые.

Восстановительные и защитные покрытия наносят с помощью соответствующего оборудования. Восстановительные покрытия применяют для создания ремонтных заготовок, а защитные – для придания поверхностям деталей противокоррозионных свойств.

Кузнечно-прессовое оборудование необходимо для получения ремонтных заготовок с использованием объемного пластического деформирования материала и для сборки соединений с натягом.

Металлорежущее оборудование служит для снятия припуска при механической обработке заготовок с целью достижения необходимых расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей.

Оборудование для термической обработки служит для нагрева заготовок, их выдержки в различных средах при заданной температуре и охлаждения с целью получения необходимой структуры материала и его свойств.

С помощью универсального измерительного оборудования производят ответственные измерения параметров формы и расположения поверхностей деталей.

Балансировочное оборудование используют для статического и динамического уравнивания вращающихся деталей и сборочных единиц.

С помощью сборочного оборудования выполняют закрепление корпусных деталей, технологические перемещения, ориентирование деталей и их силовое соединение.

Обкаточно-испытательное оборудование необходимо для подготовки агрегатов к предстоящей эксплуатации и их приемо-сдаточных испытаний.

Подъемно-транспортное оборудование служит для перемещения и установки ремонтируемых (восстанавливаемых) объектов в пределах рабочих мест, участков, цехов или завода. Если средства для внутриоперационного перемещения входят в компоновку обслуживаемого оборудования, то такое решение приносит значительный экономический эффект.

Средства для переработки отходов пакетируют стружку и отходы штамповки, нейтрализуют и обезвреживают отходы очистного и гальванического участков.

1.4.4. Технологическая оснастка и ее характеристика

Наиболее широко применяют приспособления для обработки заготовок резанием.

Станочные приспособления – это дополнительные устройства к металлорежущим станкам, которые применяют для базирования и закрепления заготовок и направления инструмента.

По признаку специализации и возможности переналадки различают шесть типов станочных приспособлений:

– *универсальные безналадочные* приспособления (УБНП), которые обеспечивают установку любых заготовок и оснащение ими широкой номенклатуры оборудования. УБНП применяют в единичном и мелкосерийном производстве;

Примеры УБНП: токарные патроны, машинные тиски, поворотные столы.

– *универсальные наладочные* приспособления (УНП) – это устройства, используемые для установки заготовок при помощи специальных наладок в большом количестве операций. *Наладка* – это часть приспособления, необходимая для установки конкретной заготовки. УНП применяют в единичном и серийном многономенклатурном производстве, использующем групповые методы обработки;

Примеры УНП: универсальные наладочные тиски, универсальные наладочные угольники для токарных работ.

– *специализированные наладочные* приспособления (СНП), обеспечивающие установку схожих по конфигурации заготовок, отличающихся размерами. СНП состоит из наладки и специализированного корпуса, который многократно применяют в условиях серийного или крупносерийного производства;

– *универсально-сборные* приспособления (УСП) – это обратимые специальные приспособления, которые собирают из стандартных узлов и деталей высокой точности. Применяют в единичном или мелкосерийном производстве, а также в период освоения выпуска продукции в серийном или крупносерийном производстве;

– *сборно-разборные* приспособления (СРП) состоят из стандартных деталей и узлов, которые собирают после частичной доработки опорных поверхностей под заготовки. СРП – это устройства многократного применения. Ими оснащают трудоемкие операции серийного или крупносерийного производства в стадии его усовершенствования или в течение ограниченного времени (до 1,5 года);

– *неразборные специальные* приспособления (НСП) – это устройства, которые нельзя разобрать после окончания производства закрепленных за ними изделий. Они эффективны при оснащении трудоемких операций серийного или крупносерийного производства.

Использование приспособлений уменьшает трудоемкость и длительность технологической подготовки производства, повышает производительность труда станочников и снижает требования к их квалификации, повышает точность обработки заготовок и расширяет технологические возможности оборудования.

С помощью инструментов воздействуют на ремонтируемые (восстанавливаемые) объекты. Номенклатура инструментов большая. По технологическому признаку различают инструменты слесарные, кузнечные, режущие, измерительные и др. В зависимости от соотношения видов энергии при использовании инструмента различают ручной (ключ, кувалда, долото, пробка и др.) и механизированный (пневматический гайковерт, шлифмашина и др.). Механизированный и часть ручного инструмента приобретают, остальной инструмент изготавливают.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова структура СТО предприятия? 2. По каким признакам классифицируют СТО? 3. Каким образом создается система СТО? 4. С какой целью применяют приспособления?

1.5. Технологическая и организационная подготовка ремонтного производства

1.5.1. Содержание подготовки

Создание и непрерывное совершенствование участков или рабочих мест ремонтного производства происходит в результате его технологической подготовки. Она становится необходимой при освоении ремонта машин или агрегатов новых видов, увеличении объемов выпуска освоенных изделий, для уменьшения расхода производственных ресурсов, повышения производительности труда и качества продукции. Последняя потребность возникает в случае снижения показателей качества изделий относительно их нормативных значений или требований заказчика.

Технологическая подготовка ремонтного производства представляет собой множество работ, которое приводит это производство в состояние готовности к ремонту изделий определенной модели и комплектности, за-

данного объема, к установленному сроку, с установленными показателями качества и наименьшими затратами.

Номенклатура, объемы выпуска, показатели качества отремонтированных изделий и сроки завершения подготовки являются ограничениями (они выполняют неукоснительно), а затраты и длительность подготовки являются параметрами оптимизации (их стремятся уменьшить).

Основные виды работ типовой технологической подготовки производства следующие: обеспечение технологичности изделия, разработка технологической документации, проектирование и изготовление средств производства, управление процессом технологической подготовки. При технологической подготовке ремонтного производства отсутствуют работы по обеспечению технологичности изделия.

Множество работ по приведению ремонтного производства в состояние технологической готовности представлено в виде схемы сетевого графика на рис. 1.6.

Технологическую подготовку начинают с разработки или приобретения конструкторской документации завода-изготовителя и составления ремонтных чертежей изделий, что составляет событие 1. Комплект чертежей содержит описание всех деталей и сборочных единиц с указанием материалов, размеров, параметров точности и свойств поверхностей, а также технических требований.

События 2 и 3 предполагают изучение опыта предприятий по изготовлению и капитальному ремонту однотипных машин.

Исследование деталей ремонтного фонда в части выявления множества устранимых повреждений (событие 4), их характеристик и сочетаний необходимо для выбора способов восстановления деталей и определения затрат труда и себестоимости.

Работы, определяющие событие 5, необходимы для принятия решения о постановке продукции на производство.

Событие 6 выражает научно-исследовательскую подготовку производства с целью внедрения новейших технологий и средств ремонта.

Приобретение нормативной документации, Руководств по капитальному ремонту машин или агрегатов, директивных материальных нормативов и всех стандартов, на которые имеются ссылки в технической документации, составляет событие 7. Список документов уточняют по мере разработки конструкторской и технологической документации.

Событие 8 – это появление картотеки деталей и сборочных единиц ремонтируемых изделий, для восстановления и ремонта которых будут разработаны соответствующие процессы и созданы средства. Объекты описаны в состояниях ремонтного фонда и товарной продукции.

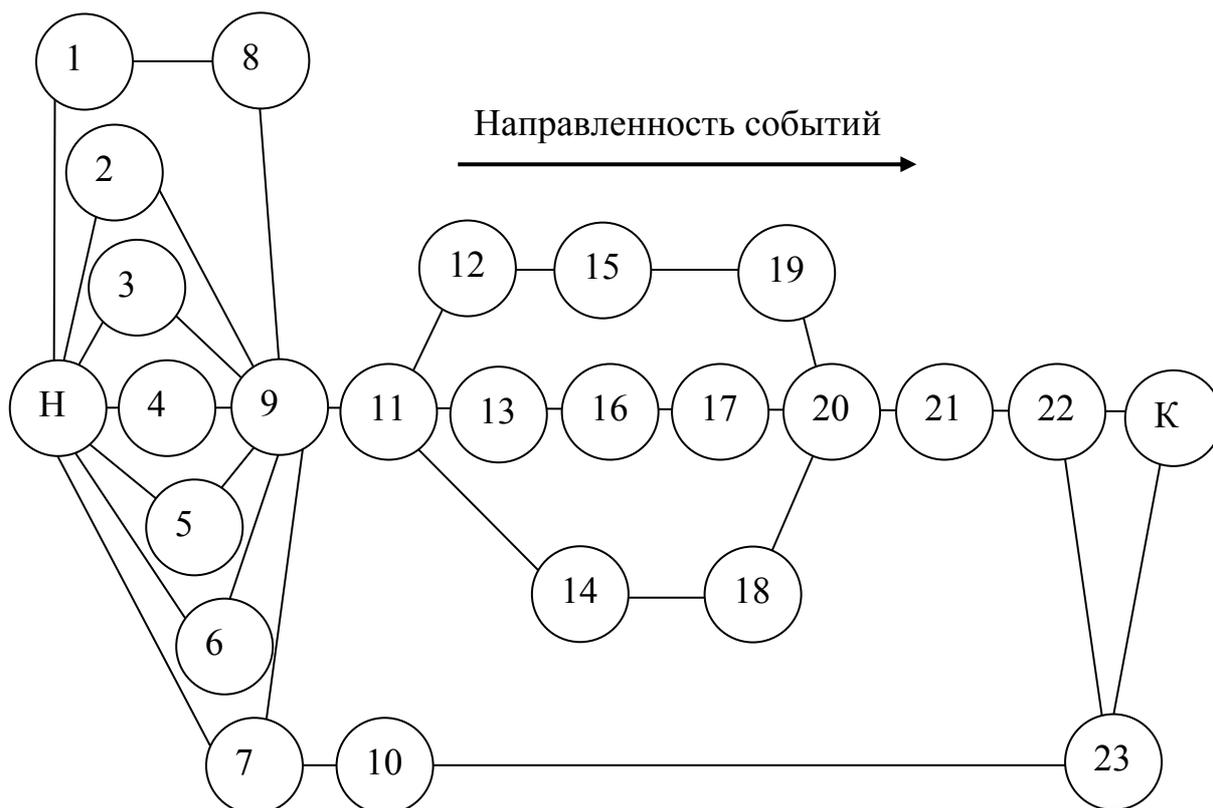


Рис. 1.6. Схема сетевого графика технологической подготовки ремонтного производства: Н и К – начало и конец технологической подготовки ремонтного производства; 1 – обеспечение конструкторской документацией; 2 и 3 – соответственно, изучение производства по изготовлению и капитальному ремонту машин; 4 – исследование технического состояния ремонтного фонда; 5 – изучение рынка товарной продукции (маркетинг); 6 – научно-исследовательская подготовка; 7 – обеспечение нормативной и ремонтной документацией; 8 – составление картотеки деталей и сборочных единиц предмета труда; 9 – разработка технологической документации с literой РО; 10 – разработка материальных нормативов; 11 – составление картотеки технологических процессов, средств ремонта и рабочих мест; 12 – составление ведомости покупных средств ремонта; 13 – составление ведомости средств ремонта собственного изготовления; 14 – разработка технологических планировок; 15 – составление заявок на приобретение средств ремонта; 16 – проектирование средств ремонта собственного изготовления; 17 – изготовление средств ремонта; 18 – подготовка производственной площади под установку оборудования; 19 – приобретение средств ремонта; 20 – монтаж средств ремонта; 21 – испытание, доводка и ввод в эксплуатацию средств ремонта; 22 – доработка технологической документации с присвоением литеры РА; 23 – уточнение материальных нормативов

Вершина 9 графика, как событие, определяющее разработку технологических процессов, обобщает ранее выполненные работы. Технологические способы, принятые на этой стадии, будут определять качество и трудоемкость ремонта изделий и эффективность производства. Для реализации способов будут закуплены и изготовлены средства ремонта, подготовлены производственные площади, установлено и подключено к цехо-

вым инженерным сетям оборудование, поэтому принятые технические решения должны быть всесторонне обоснованны.

Нормы расхода материалов и запасных частей (событие 10) необходимы для их заказа и приобретения.

Событие 11 – это появление картотеки технологических процессов, средств ремонта и рабочих мест. Эта картотека необходима для планирования и организации работ по технологической подготовке производства.

Вершины 12, 15 и 19 определяют работы по обеспечению завода покупным оборудованием, а вершины 13, 16 и 17 – работы по проектированию и изготовлению средств ремонта своими силами. Ряд участков ремонтного завода (например, разборочно-очистной, определения повреждений, восстановления некоторых деталей, комплектовочно-сборочный, окрасочный) почти полностью оснащены средствами собственного изготовления.

Параллельно с приобретением, проектированием и изготовлением средств ремонта разрабатывают технологические планировки участков (событие 14) и готовят производственную площадь под установку оборудования с прокладкой цеховых инженерных сетей (событие 18).

Вершины 20 и 21 определяют монтаж и ввод в эксплуатацию средств ремонта. На этой стадии технологической подготовки производства ремонтируют установочную партию продукции, испытывают средства ремонта, выявляют и устраняют их недостатки, вводят коррективы в разработанную технологию (вершина 22) и уточняют материальные нормативы (событие 23).

Технологическую подготовку производства выполняют силами технологической и конструкторской служб завода и собственного вспомогательного производства, при этом ответственными за работы и события назначают: 1, 7 – ОГК; 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23 – ОГТ; 5 – отдел маркетинга; 6 – научные организации; 17, 21 – ИУ; 18 – РСУ; 19, 20, 21 – ОГМ, 18, 20, 21 – ОГЭ.

Признаки технологической *готовности* производства:

– подготовлено производственное помещение с инженерными сетями для подвода производственных ресурсов и отвода отходов, вентиляции, отоплением и освещением;

– смонтированы, установлены и введены в эксплуатацию СТО;

– имеется комплект технологической документации на все операции ремонта;

– отремонтирована первая партия изделий с заданной производительностью и показателями качества, установленными ремонтной документацией.

Факт технологической готовности производства (событие К) оформляют сдаточно-приемочным актом. Отдел главного технолога (разработчик технологии, СТО и планировочного решения) и службы вспомогательного

производства, которые подготовили помещение, смонтировали оборудование, изготовили и установили оснастку, сдают участок (рабочее место) персоналу основного производства.

Организационная подготовка производства включает:

- обоснование производственной структуры ремонтного предприятия;
- разработку системы управления заводом, в том числе его структурными подразделениями (отделами, цехами, участками, сменами и бригадами);
- распределение функций и установление взаимодействия между подразделениями и работниками;
- безотказную работу оборудования;
- нормирование труда и его организацию на рабочих местах;
- разработку организационной документации и определение внутрицеховой отчетности и прохождения заказа;
- текущее обеспечение производственными ресурсами и их распределение между рабочими местами;
- повседневное обеспечение надлежащих условий труда;
- обеспечение кадрами и их подготовку.

Работы по организационной подготовке производства выполняют работники ПДО, ООТиЗ, ОК, ОМТО, ОГМ, ОГЭ и цехов.

Организация производственного процесса предусматривает рациональное сочетание в пространстве и во времени всех основных, вспомогательных и обслуживающих процессов без перерывов, с наименьшей их длительностью и с минимальным расходом производственных ресурсов.

1.5.2. Планирование подготовки

Решение о технологической и организационной подготовке производства к ремонту изделий новых видов или к увеличению производственной мощности предприятия принимают на основании изучения и прогнозирования рынка этих объектов, сопоставления сроков подготовки производства и времени существования рынка и расчета экономических показателей. В других случаях решение готовят на основании анализа качества продукции или эффективности производства.

Подготовку производства планируют на основании приказа директора или распоряжения главного инженера завода с указанием срока готовности. К приказу или распоряжению прилагают план мероприятий (рис. 1.7), который включает строительно-проектные работы, обеспечение ресурсами, подготовку производственной площади, проектирование, изготовление средств ремонта силами собственного вспомогательного производства, приобретение покупных средств ремонта, монтаж оборудования с подключением его к цеховым инженерным сетям, испытание и ввод в эксплуатацию средств ремонта. План мероприятий составляют на основании маршрутного технологического процесса с литерой РА и технологической планировки создаваемого или совершенствуемого участка или рабочего места.

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер ремонтного завода

 (подпись, дата)

План подготовки производства

по _____
 (приказ по заводу № ____ от _____)
 (технологический процесс № _____)
 (технологическая планировка № _____)

Предмет труда: наименование, номер, эскиз	Технологическая операция: наименование, номер	Средства ремонта: оборудование, приспособления, инструменты; наименование, номер	Мероприятия	
			наименование	трудоемкость, чел.-ч
1	2	3	4	5

(продолжение)

Исполнители, сроки									
ТБ ОГТ	КБ ОГТ	ИУ	ОГМ	ОГЭ	PCY	ПДО	ООТиЗ	ОМТО	ОК
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Главный технолог ремонтного завода _____
 (подпись, дата)

Рис. 1.7. Структура плана подготовки ремонтного производства:
 ТБ – технологическое бюро; КБ – конструкторское бюро

В плане мероприятий выдерживают соответствие “предмет ремонта – технологическая операция – средства технологического оснащения – мероприятия – сроки – исполнители”. Мероприятия – это основные элементы плана, которые содержат словесные формулировки работ. От четкости формулировок и их взаимосвязи зависит своевременное и полное выполнение всего плана. Мероприятия плана подчинены соответствующим срокам и необходимости получить параметры предмета ремонта, приведенные в ремонтной документации.

Столбец 1 плана содержит эскизы предмета труда, полученного в результате технологической операции. Первый эскиз, например, процесса восстановления детали описывает ее начальное состояние с повреждениями и их характеристиками. Промежуточные эскизы являются операционными, они описывают заготовку, полученную в результате соответствующих технологических операций. Последний эскиз относится к восстановленному (отремонтированному) изделию. Он содержит значения точностных показателей, физико-механических свойств материалов и функциональных

параметров, которые обеспечивают установленную (обычно 80 %-ную) наработку изделий по сравнению с новыми.

Заводские инженерные службы ведут разработку операционных и маршрутно-операционных технологических карт (столбец 2), планов расположения оборудования и чертежей средств ремонта собственного изготовления (столбец 3). Восстанавливаемым деталям соответствуют процессы очистки, определения повреждений и сортировки, создания ремонтных заготовок, обработки и контроля. Воздействия на сборочные единицы описывают технологическими документами на очистку, разборку, комплектование, сборку, испытание, обкатку, окрашивание и консервацию. В столбце 3 отражают также средства ремонта, приобретенные на стороне и требующие монтажа и ввода в эксплуатацию. Список средств ремонта для каждой операции начинают с оборудования (станка, станда, верстака и др.), его продолжают приспособлениями и завершают инструментами. По мере разработки процессов и средств ремонта собственного изготовления в столбцах 2 и 3 рядом с наименованиями появляются номера или шифры разработок.

Применяют систему кодирования создаваемых средств ремонта, которая обеспечивает поиск их чертежей, выбор аналогов и заводскую унификацию. Средства ремонта кодируют по конструкторско-технологическому признаку, при этом конструкторская часть признака относит их к предмету труда, а технологическая выражает вид технологического воздействия.

Столбец 4 содержит мероприятия по составлению технологических заданий, разработке средств ремонта и нормативов, обеспечению производственными ресурсами и работниками нужной квалификации, изготовлению средств ремонта, подготовке производственной площади, подключению оборудования к цеховым инженерным сетям, испытанию и доработке СТО. Множество мероприятий составляют без пропусков и повторений, при этом каждое мероприятие необходимо, а все вместе они достаточны для достижения технологической и организационной готовности производства. За каждым мероприятием закрепляют одного ответственного исполнителя.

Столбец 5 содержит расчетные значения трудоемкости каждого мероприятия. Трудоемкость месячного плана производственного подразделения согласуют с его мощностью. От трудоемкости зависит численность рабочих и количество оборудования. Численность рабочих определяют делением соответствующей трудоемкости на время, предшествующее установленному сроку.

Сроки разработки технологических процессов отмечают в столбце 6, а чертежей – в столбце 7. Сроки изготовления средств ремонта определяют

в столбце 8, а сроки монтажа и подключения оборудования, подготовки производственной площади с прокладкой коммуникаций и изготовлением фундаментов – в столбцах, соответственно, 9, 10 и 11. Сроки выполнения организационных мероприятий приводят в столбцах 12 – 15.

Мероприятия, сгруппированные в блоки по признаку “Исполнитель”, вносят в компьютер. Выборки мероприятий по этому признаку образуют планы работ технологических и конструкторских бюро, ИУ, ОГМ, ОГЭ и РСУ. Планы имеют 20...30 %-ный резерв на непредвиденные работы и доработку средств ремонта по результатам испытаний.

Месячные планы работ, утвержденные главным инженером завода, доводят до подразделений-исполнителей.

1.5.3. Организация и контроль подготовки

Руководит подготовкой производства главный технолог завода. В своем составе ОГТ имеет бюро технологического проектирования, планирования и анализа подготовки производства, разработки материальных нормативов, а также конструкторские бюро по проектированию средств ремонта.

Бюро планирования и анализа подготовки производства координирует и согласует функции и стадии этой подготовки. Например, взаимодействие между технологами и конструкторами выражается в следующем. Технолог при разработке технологического процесса определяет средства, которые по тем или иным причинам невозможно приобрести, и готовит технологические задания на их проектирование. Задания содержат описание технологических воздействий на предмет ремонта и все его состояния. По сути, это сведения операционной карты об оборудовании, инструментах, базах и режимах обработки и необходимых параметрах, которые выступают в качестве ограничений. Технологическое задание – это совокупность ограничений технологического порядка. При разработке СТО конструктор обеспечивает эти ограничения при минимальных затратах на создание и использование средств ремонта.

Система управления технологической подготовкой производства связана с системой его календарного и оперативного планирования.

Функции служб вспомогательного производства в подготовке производства следующие.

ИУ изготавливает оборудование, оснастку (в том числе, инструмент), которые не производят специализированные предприятия. Эти средства изготавливают по чертежам КБ ОГТ. ИУ имеет в своем составе участки: заготовительный, слесарный, механический, сварочно-термический и инструментальный. Соотношение рабочих участка выбирается таким образом, чтобы одного слесаря обслуживали полтора-два станочника. Виды и распределение станков ИУ должны быть следующими (%): токарных – 20;

сверлильных – 22, (в т.ч. радиальных – 10); расточных – 7; шлифовальных – 20 (в т.ч. круглошлифовальных – 10, плоскошлифовальных – 8, внутришлифовальных – 2); фрезерных – 20; зубообрабатывающих – 2; электроэрозионных – 2. Станки на чистовых операциях должны быть на 1-2 класса точнее станков, применяемых в основном производстве.

ОГТ разрабатывает ведомости применяемых инструментов, назначает сроки их службы и графики переточки, а ИУ организует приобретение инструментов, которые изготавливают специализированные предприятия.

РСУ готовит производственные помещения и делает фундаменты и колодцы под оборудование.

ОГМ приобретает покупное оборудование, монтирует оборудование (как покупное, так и собственного изготовления) и вводит его в эксплуатацию.

Все СТО, изготовленные во вспомогательном производстве, подлежат испытаниям и, как правило, доработке. При испытаниях устанавливают соответствие средств ремонта своему функциональному назначению, в т.ч. придание требуемых параметров предмету труда за установленное время. Испытания организует руководитель участка вспомогательного производства, он же организует изготовление или подбор заготовок. Испытания ведут мастер участка – изготовителя средств ремонта, конструктор – разработчик этих средств и технолог – разработчик технологического процесса. Эти лица сдают свою работу комиссии в составе начальника цеха основного производства (руководитель комиссии), метролога и инспектора по охране труда. Под наблюдением комиссии обрабатывают партию деталей (сборочных единиц) по режимам, приведенным в технологической документации. Измеряют время воздействий и определяют значения параметров предмета труда. При положительном исходе испытаний подписывают акт внедрения средств ремонта в производство. При отрицательном результате испытаний конструктор, технолог и мастер анализируют результат, составляют акт испытаний, вписывают в него достигнутые значения режимов воздействий и параметров предмета труда и назначают время очередного испытания. Конструктор вносит изменения в чертежи средства, по которым, в свою очередь, участок-изготовитель вносит изменения в само средство.

Для более быстрой и оперативной подготовки производства в составе ОГТ создают технологическую лабораторию, которую оснащают станками распространенных моделей основного производства для испытания и доработки технологической оснастки.

Службы обслуживающего производства организуют материальное обеспечение мероприятий по профилю своей деятельности.

В результате выполнения мероприятий технологической подготовки производства возникают причины объективного и субъективного характе-

ра, которые мешают своевременному достижению технологической готовности производства. Это – нехватка или отсутствие материалов, оборудования, рабочей силы, документации, просчеты, слабая исполнительская дисциплина и др. Выявление отклонений хода подготовки от планового, анализ причин этого отклонения и корректировка мероприятий плана и сроков их выполнения и составляет предмет контроля этой подготовки.

Ежемесячный контроль технологической подготовки ремонтного производства совпадает с составлением планов для служб вспомогательного производства. Текущий контроль выполняется еженедельно и обычно касается выполнения планов мероприятий по подготовке производства к ремонту отдельных сборочных единиц или деталей.

Главный технолог на еженедельном оперативном совещании под председательством главного инженера дает информацию по подготовке, относящейся к какому-либо виду товарного изделия. Такая информация готовится с помощью компьютера (выбираются мероприятия с просроченными сроками выполнения). На совещании находятся руководители вспомогательных служб, начальник ОМТО и начальник цеха основного производства, в котором будет ремонтироваться рассматриваемое изделие. Обсуждают причины неудовлетворительного хода технологической подготовки и определяют соответствующие меры. Это – неукоснительное обеспечение вспомогательного производства материалами и изделиями, усиление участков рабочими, перераспределение работ, изменение документации и сроков и др. Протокол совещания отражает суть организационных решений.

Ежемесячный контроль ведет бюро планирования и анализа подготовки ОГТ, по результатам этого контроля главный технолог корректирует планы будущего месяца и готовит представление для поощрения (в виде премии) или наказания исполнителей.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем характеризуется технологическая готовность производства? 2. Какие задачи возложены на технологическую подготовку ремонтного производства? 3. Какие работы Вы будете выполнять на предприятии по технологической подготовке ремонтного производства? 4. Каков порядок планирования подготовки производства? 5. Какие функции закреплены за организационной подготовкой ремонтного производства?

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Анализ системы технического обслуживания и ремонта машин и ее совершенствование.
2. Влияние качества ремонта машин на их послеремонтную наработку.
3. Совпадающие и отличительные признаки машиностроения и ремонтного производства.

4. Роль ремонтного производства в реновации машин.
5. Совершенствование структуры ремонтного производства.
6. Влияние классификации СТО на объемы, затраты и сроки технологической подготовки ремонтного производства.
7. Роль СТО в системе основных фондов предприятия.
8. Влияние технологической подготовки ремонтного производства на его эффективность.
9. Влияние технического уровня СТО на качество продукции.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- цель, задачи и структуру ремонтного производства;
- систему технического обслуживания и ремонта машин;
- классификацию видов и методов ремонта машин;
- документацию, связанную с ремонтом машин;
- производственный процесс ремонта машин и производственную структуру предприятия;
- проблему повышения технического уровня СТО производства, его эффективности и качества ремонта техники;
- материальную базу ремонтного производства;
- классификацию системы СТО;
- основы технологической и организационной подготовки ремонтного производства.

Студент должен уметь:

- использовать основные термины и определения дисциплины;
- классифицировать технологические объекты;
- определять требования к отремонтированным машинам и их частям;
- планировать мероприятия подготовки ремонтного производства.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

После изучения первой главы студенты пишут реферат на одну из предложенных выше тем. Знания студентов оценивает преподаватель после прочтения реферата, учитывая выполнение практических занятий и ответы на контрольные вопросы, приведенные в конце каждой темы.

Для высокой оценки знаний необходимы свободное владение структурой ремонтного производства и функциями его цехов, участков и отделов, средствами технологического оснащения и организацией его непрерывного развития.

2. ПРИЕМКА В РЕМОНТ, РАЗБОРКА И ОЧИСТКА МАШИН, СОРТИРОВКА ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТНОГО ФОНДА

2.1. Приемка машин в ремонт

С приемкой машины в ремонт связаны ее подготовка, доставка на ремонтное предприятие, предремонтное диагностирование, документальное оформление, консервация и хранение.

2.1.1. Подготовка техники к ремонту и доставка ее на ремонтное предприятие

Машина, сдаваемая в ремонт, должна быть очищена снаружи от масла и почвенных загрязнений. Для этой цели применяют струйную очистку холодной водой под давлением 10...15 МПа, например, с помощью мониторинговой установки. При этом вначале машину очищают сосредоточенной струей воды, создаваемой турбонасадком или регулируемым соплом, а затем – веерообразной струей.

Ремонтный фонд машин доставляет на завод заказчик, а ремонтный фонд агрегатов, как правило, централизованным порядком – ремонтный завод.

2.1.2. Требования к поступающей в ремонт технике и порядок ее приемки

Машина, принимаемая в капитальный ремонт, должна быть в состоянии, обусловленном ее использованием по назначению и естественным изнашиванием деталей. На машине не должно быть сборочных единиц со следами работ, исключающими возможность последующего восстановления деталей (например, приваркой вместо закрепления резьбой и др.). Все агрегаты, приборы, сборочные единицы и детали должны быть закреплены так, как это предусмотрено конструкцией. В ремонт принимают машины только соответствующей комплектности. Колеса и аккумуляторные батареи в ряде случаев не обезличивают.

Машина поступает на ремонтное предприятие вместе с техническим паспортом, справками о техническом состоянии и доремонтной наработке. Технический руководитель эксплуатирующей организации подтверждает, что машина состоит из деталей, которые были в ее составе во время эксплуатации (справкой о техническом состоянии).

Агрегаты, сдаваемые в ремонт, должны быть без жидкой смазки, герметизированы пробками или заглушками, а неокрашенные поверхности покрыты коррозионно-стойкими составами.

Технику в ремонт принимает представитель ремонтного завода. Приемщик составляет заключение о техническом состоянии машины в результате наружного осмотра и диагностирования. Заказчик с приемщиком составляют сдаточно-приемочный акт.

2.1.3. Предремонтное диагностирование

Предремонтное диагностирование агрегатов при поступлении их на разборочно-очистной участок необходимо для определения объема ремонтных работ и подготовки решения о методе их ремонта (обезличенном или необезличенном). Результаты диагностирования вносят в формуляр агрегата.

Параметры технического состояния – это физические величины, значения которых характеризуют различные состояния изделия. Различают структурные и диагностические, ресурсные и функциональные параметры

Структурные параметры непосредственно обуславливают техническое состояние изделия. Это, например, износ поверхностей, мощность двигателя, твердость материала и др. В ряде случаев измерение структурных параметров затруднено.

Диагностические параметры косвенно характеризуют структурные параметры. Так, например, вибрация стенок блока цилиндров двигателя увеличивается, а давление масла в системе смазки уменьшается по мере изнашивания подшипников коленчатого вала.

Функциональные параметры – это параметры, выход за предельное значение которых приводит к потере работоспособности. Изделие в этом случае требует технического обслуживания. Примеры: зазор между клапаном и толкателем, цикловая подача топлива.

Ресурсные параметры – это параметры, выход за предельное значение которых связан с исчерпанием ресурса агрегата, который в этом случае требует ремонта. Примеры – зазоры в соединениях подшипник – шейка коленчатого вала двигателя, цилиндр – поршень.

Агрегат при диагностировании приводят в движение. Способы и средства диагностирования выбирают в зависимости от видов измеряемых величин. Применяют такие способы диагностирования: кинематические и динамические, виброакустические и пневматические, энергетические, измеряющие параметры рабочих процессов и работавшего масла, тепловые и оптические.

Кинематический способ диагностирования основан на измерении относительного перемещения деталей в пределах зазоров в соединениях. По значениям зазоров в трущихся парах по графику кривой изнашивания, включающего участки приработки, эксплуатации и интенсивного изнашивания, определяют остаточный ресурс агрегата.

Устройство КИ-13933 служит для определения зазоров в кривошипно-шатунном механизме двигателя внутреннего сгорания. Предел и погрешность измерения 8 и 0,02 мм, соответственно.

Динамический способ применяют при диагностировании двигателей внутреннего сгорания. Он основан на использовании функциональной зависимости ускорения коленчатого вала двигателя на установленном отрезке

его частоты вращения при полном открытии дросселя или полной подаче топлива. Угловое ускорение является диагностическим параметром, которое косвенно характеризует мощность двигателя.

Угловое ускорение вращающейся детали определяют с помощью приборов ИМД-2М, ИМД-Ц, КИ-11331, КИ-13009, КИ-13940 (Россия), JK-1 (Чехия), DS-205 (Германия). Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала, например, вырабатывает электрические импульсы от перемещающихся зубьев венца маховика или зубчатого колеса, устанавливаемого на время диагностирования на вал коробки отбора мощности.

Виброакустический способ диагностирования основан на измерении параметров упругих колебаний стенок корпусной детали, возникающих при соударении с ней вращающихся деталей. Способ применяют для оценки подшипников качения и скольжения, зубчатых передач, шлицевых соединений, кривошипно-шатунных и газораспределительных механизмов, форсунок двигателей и др.

Энергия удара и, соответственно, амплитуда колебаний стенок зависят от зазоров в соединениях. Эти колебания фиксируют пьезоэлектрическими датчиками, которые преобразуют механические колебания в электрические. Значение зазора косвенно определяют по амплитуде сигнала, моменту (фазе) его появления и частоте. Датчик воспринимает колебания, поступающие от всех соединений одновременно. Сигналы разделяют частотным, временным или амплитудным способами.

Работающий агрегат диагностируют на испытательном стенде, который имеет упругие опоры. Скоростной и нагрузочный режимы работы агрегата выбирают таким образом, чтобы в спектрах вибрации проявлялись все ее источники. Обычно это средние частоты вращения и нагрузки. Датчик крепится жестко на корпусной детали, его масса для уменьшения погрешности измерений должна быть минимальной. Частоты и уровни вибрации, характеризующие неисправности, например, двигателей ЗИЛ-130 определены экспериментально и приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметры виброакустического контроля двигателя ЗИЛ-130

Среднегеометрическая частота фильтра, Гц	Предельный уровень вибрации, дБ	Причины, вызывающие повышенные вибрации
1	2	3
31,5	87	Повышенный дисбаланс двигателя в сборе
50	87	Неодинаковое протекание рабочих процессов в отдельных цилиндрах
63	86	Разные массы поршней и шатунов
125	77	Стук цилиндропоршневой группы
250	70	то же
315	70	Стук шатунных подшипников
800	73	Дефекты распределительных шестерен

1	2	3
1250	70	Стук цилиндропоршневой группы
1600	70	Дефекты распределительных шестерен
2000	71	Неисправности клапанного механизма
4000	70	то же
6300	64	то же

Пневматический способ диагностирования применяют для оценки герметичности замкнутых полостей (топливных баков, радиаторов, камер сгорания, внутренних полостей агрегатов трансмиссий).

В качестве диагностических параметров используют время снижения давления воздуха в полости при заданных пределах его изменения или расход среды под заданным давлением через течь. Точную оценку герметичности, особенно при малых утечках, обеспечивают пневмокалибратором, схема которого приведена на рис. 2.1.

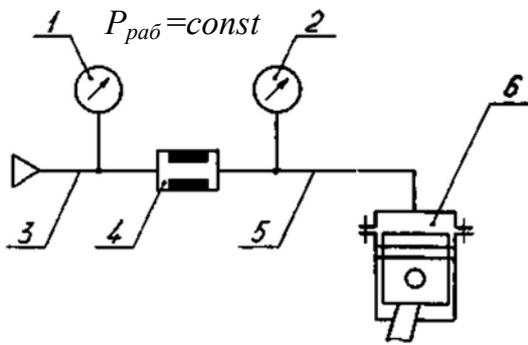


Рис. 2.1. Схема пневмокалибратора: 1 и 2 – манометры; 3 – воздушная магистраль; 4 – калиброванное отверстие; 5 – трубопровод; 6 – диагностируемый объект

Воздух под установленным давлением, которое поддерживается регулятором, поступает в магистраль 3. Давление воздуха контролируют манометром 1. В пневматическую сеть установлено калиброванное отверстие 4. Трубопровод 5 соединяет пневмокалибратор с проверяемым объектом (например, с цилиндром двигателя). Давление в трубопроводе 5 измеряют манометром 2. Это давление зависит от величины утечек из проверяемого объекта.

Для определения площади течи снимают тарировочную кривую калибратора. Она характеризует зависимость между давлением $P_{изм}$, измеряемым манометром 2 и площадью F_o тарировочного отверстия на выходе из трубопровода 5. Тангенс угла наклона касательной к кривой графика по отношению к оси F_o определяет передаточное отношение измерительного устройства (рис. 2.2). В процессе измерений по полученному значению $P_{изм}$ определяют площадь течи, которая является диагностическим параметром.

Энергетический способ диагностирования основан на оценке состояния объектов путем измерения вырабатываемой, передаваемой или потребляемой ими энергии. Способ применяют при диагностировании двигателей внутреннего сгорания во время тормозных или бестормозных испытаний. В первом случае используют обкаточно-тормозные стенды. Во втором случае нагрузку создают выключением части цилиндров с дросселированием отработавших газов или масла, например, в гидросистеме трак-

тора. Установившаяся частота вращения коленчатого вала является оценкой мощности двигателя. При отключении каждого цилиндра определяют среднюю частоту вращения коленчатого вала, которая является диагностическим параметром.

Способы диагностирования *по параметрам рабочих процессов* основаны на информации об изменении во времени параметров топливоподачи, газообмена, сгорания, смазки, охлаждения и других в зависимости от регулировок и износа составных частей агрегата.

Например, по индикаторной диаграмме зависимости давления газов в цилиндре двигателя определяют момент воспламенения рабочей смеси, герметичность надпоршневого пространства и др.

Способы диагностирования *по параметрам работавшего масла* основаны на анализе его физико-химических свойств, изменившихся под действием рабочих процессов. При нарушении правильности функционирования соединений деталей увеличивается содержание и размер частиц в масле и изменяется их форма.

Подвижные соединения диагностируют по концентрации продуктов изнашивания в масле (калориметрическим, спектральным и магнитным способами), размеру частиц изнашивания (методами аналитической феррографии и седиментометрическим), их массовой доле, размеру и форме (микроскопическим способом).

Тепловой способ диагностирования основан на регистрации теплового излучения с длиной волны от 0,76 мкм до 1 мм с участков поверхности термометрическими элементами и преобразовании параметров теплового поля (чаще температуры) в электрические или другие величины.

Необходимым условием применения теплового способа является отличие локальной температуры участка объекта от температуры окружающей среды, которое создается с помощью внешнего источника (активный тепловой контроль), или за счет функционирования агрегата (пассивный тепловой контроль).

Активный тепловой контроль применяют для объектов, температура поверхности которых во всех точках одинакова. Такими объектами могут быть материалы и детали. При их нагреве внешним источником (лампой накаливания, лазером, плазмотроном) тепловой поток распространяется вглубь объекта и испытывает дополнительное тепловое сопротивление в месте дефекта. При механическом цикловом нагружении в области внутреннего дефекта выделяется тепловая энергия вследствие трения и пласти-

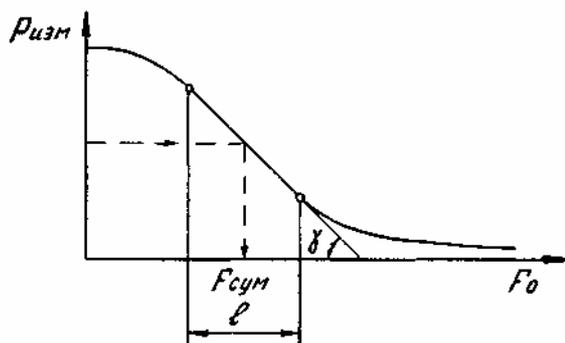


Рис. 2.2. Характеристика пневмокалибратора манометрического типа

ческого деформирования, что повышает температуру объекта в области дефекта. Таким образом, с помощью тепловой дефектотрии обнаруживают трещины, поры, раковины и примеси.

Пассивный тепловой контроль применяют для работающих объектов, у которых возможно аномальное выделение теплоты в месте потенциально-го дефекта.

При тепловом диагностировании используют контактные и бесконтактные методы измерения температуры.

Оптические способы диагностирования основаны на анализе взаимодействия оптического излучения длиной волны 0,40...0,76 мкм с объектом.

При обнаружении поверхностных дефектов в труднодоступных местах, в том числе внутри механизмов, используют эндоскопы. Эндоскопы бывают жесткой и гибкой конструкций.

Эндоскоп ЭЖО 16.1600 (эндоскоп жесткий охлаждаемый) имеет диаметр цилиндрической части 22 мм, длину 1505 мм, обеспечивает угол зрения 40° в направлении бокового осмотра под углом 90° к оси эндоскопа.

Цистоскопы диаметром 8 мм используют для осмотра полостей с глубиной погружения 200 мм при увеличении изображения до 2 раз.

Бронхоскопы позволяют осматривать глубокие полости с углом обзора 162...180°, обеспечивая при этом изменение направления осмотра с 45° до 115°.

Мини-эндоскопы имеют диаметр рабочей части менее 2 мм и передают изображение по волоконному световоду, который заканчивается линзовым окуляром.

С помощью оптических способов выявляют задиры, трещины, сколы, изломы, прогары, эрозию и другие повреждения. Например, с помощью устройства с гибким волоконным световодом можно оценить состояние днищ поршней и тарелок клапанов через отверстия под свечи и форсунки, а зубчатых колес и подшипников – через отверстия для залива масла.

Диагностические средства могут быть в виде стационарных и передвижных стендов и комплектов переносных приборов.

С помощью *стендов* измеряют, например, тягово-экономические показатели транспортных средств, определяют техническое состояние цилиндропоршневых групп, кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, топливной аппаратуры, трансмиссии, колесных и стояночных тормозов, рулевого управления, гидравлических систем, передней подвески автомобиля и др.

На стенде КИ-8877 диагностируют турбокомпрессоры двигателей ЯМЗ-238НБ, а на универсальном стенде КИ-968 – агрегаты электрооборудования.

Стенд диагностический тормозной КИ-8944 предназначен для одновременной проверки тормозов автомобиля с нагрузкой на ось до 1,5 тс. Измеряемые параметры и их значения: тормозная сила на колесе (0...500 кгс), усилие на тормозной педали (0...70 кгс), время срабатывания тормозного привода (0...9,99 с). Стенд диагностический тормозной КИ-8964 предназначен для одновременной проверки тормозов автомобиля с нагрузкой на ось до 5 тс. Измеряемые параметры и их значения: тормозная сила на колесе (160...1600 кгс), усилие на тормозной педали (7...70 кгс), время срабаты-

ния тормозного привода (0...9,99 с). Стенд КИ-8945 служит для диагностирования переднего управляемого моста автомобиля, а стенд КИ-4998 – для проверки тормозов грузовых автомобилей.

Стенд КИ-13944 для диагностирования тракторных гидравлических коробок передач определяет состояние их гидравлической системы, а устройство КИ-13605 – проверяет предохранительные муфты путем измерения крутящего момента при их срабатывании.

Применяют следующие *приборы*: осциллографы с датчиками для снятия индикаторных диаграмм; анализаторы вибраций для определения частот, виброскоростей и виброускорений; расходомеры жидкостей и газов; спектрометры для определения металла в масле; инфракрасные бесконтактные датчики для измерения температуры деталей; торсиометры для измерения моментов на выходных валах механизмов и др.

Мотор-тестор КИ-5524 предназначен для комплексного диагностирования карбюраторных двигателей. С помощью его измеряют следующие параметры: частоту вращения коленчатого вала (0...1000 и 0...5000 мин⁻¹), напряжение (0...20 В), сопротивление (0...100 Ом и 0...1000 кОм) и силу тока в сети электрооборудования (0...100 и 0...1000 А), угол замкнутого состояния контактов прерывателя (0...90 °), давление (0...0,005 МПа) и расход топлива (100...1000 см³/мин).

Переносное устройство КИ-13671 служит для измерения расхода газов, прорывающихся в картер, при диагностировании цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Пределы измерения 0...500 л/мин, цена деления шкалы 3,3 л/мин. Масса устройства 0,38 кг.

Расход топлива измеряют с помощью устройства КИ-12371 в комплекте с электронными средствами при диагностировании двигателей внутреннего сгорания. Пределы измерений 5...25 и 12...63 л/ч. Основная приведенная погрешность 2,5 %. Расходомер топлива КИ-8955 содержит имитатор нагрузки КИ-5653. С помощью устройства КИ-13943 проверяют топливные фильтры.

2.1.4. Предремонтная консервация и хранение машин

Консервация техники при хранении необходима для исключения вредного влияния на нее окружающей среды. Правила хранения агрегатов и машин определены ГОСТ 7751-85.

Большие картерные отверстия закрывают люками и крышками, впускные и выпускные отверстия – деревянными, пластмассовыми или металлическими пробками, а на масляные штуцеры навинчивают глухие пробки. В агрегат заливают консервационное или эксплуатационное масло, после чего агрегат в течение нескольких секунд приводят в движение, чтобы масло распределилось по всей рабочей поверхности. Для предупреждения коррозии наружных обработанных поверхностей деталей их закрывают промасленной или парафинированной бумагой или наносят защитную пленку. В качестве консервационного материала используют консистентные смазки или специальные масла. При длительном хранении с машины снимают приборы электрооборудования, цепи, ремни, детали из резины, тросы и ножи. Срок гарантированной консервации указывают в ярлыке. В

зависимости от требований Руководства по ремонту или технических условий продолжительность этого срока обычно бывает трехмесячной, полугодовой или годовой. По истечении указанного срока машину консервируют повторно.

Принятые в ремонт машины хранятся на открытых площадках, агрегаты – под навесами или в закрытых помещениях на стеллажах или подставках.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается подготовка машин к ремонту? 2. Что может служить отказом в приемке машины в капитальный ремонт? 3. Какова цель предремонтного диагностирования машин? 4. Приведите основные виды диагностических параметров. 5. Приведите основные способы диагностирования агрегатов. 6. Как организуют предремонтное хранение техники?

2.2. Разборка и очистка машин

Разборка машины – это технологический процесс последовательного разъединения ее на агрегаты, сборочные единицы и детали.

Очистка машин – это технологический процесс удаления загрязнений с поверхностей машин и их ставных частей.

Загрязнения – это слои веществ внешней среды на поверхностях деталей с прочными когезионными и адгезионными связями. Загрязнения образуются при использовании машин и во время их ремонта.

2.2.1. Состав и значение разборочно-очистных работ

Операции по очистке и разборке машин и агрегатов и очистке их деталей следуют друг за другом и выполняются на одном производственном участке. Качественная очистка изделий определяет культуру производства, объективность определения технического состояния, сортировки и контроля деталей, качество их восстановления и последующую послеремонтную наработку агрегатов. Загрязнения на поверхностях отремонтированных агрегатов вызывают:

- абразивное изнашивание трущихся поверхностей;
- повышение температуры трущихся соединений за счет увеличения термического сопротивления стенок деталей;
- уменьшение площади сечений каналов, по которым перемещаются охлаждающие среды, масло и топливо;
- отказы клапанных механизмов;
- отклонение хода рабочих процессов от расчетных из-за изменения давления и расходов сред, изменения рабочих объемов полостей, неуправляемого зажигания рабочих смесей и др.

Указанные причины снижают послеремонтную наработку агрегатов на 20...30 %.

Допускаемая загрязненность (остаточная масса загрязнений на единице площади поверхности детали) зависит от значения шероховатости очищаемой поверхности (табл. 2.2). Эталон промышленной чистоты поверхностей соответствует остаточной загрязненности $0,5 \text{ г/м}^2$.

Таблица 2.2

Допускаемая загрязненность поверхностей деталей

Шероховатость очищаемой поверхности		Загрязненность, г/м^2
Класс	Значение, мкм	
4 и 5	Rz 10...40	12,5
6 и 7	Ra 0,63...2,5	7,0
8 и 9	Ra 0,16...0,63	2,5

Хорошо очищенные агрегаты и сборочные единицы требуют меньших усилий и моментов для своей разборки и меньше повреждаются. Разборочный процесс дает ремонтному предприятию до 25 % деталей, годных для дальнейшего применения без ремонтных воздействий, и 40...60 % деталей в виде исходных заготовок, пригодных для восстановления и повторного применения в отремонтированных машинах. Разборочно-очистной участок является, по сути, заготовительным, который полностью обеспечивает участки восстановления деталей их заготовками и сборочный участок – частью годных деталей.

Трудоемкость очистных работ составляет 4...6 %, а разборочных – 6...8 % от общей трудоемкости ремонта машин.

Качественную очистку машин обеспечивает пятиоперационный процесс (рис. 2.3). В промежутках между очистными операциями выполняют разборку изделий. Во время первой очистной операции удаляют до 80 % по массе маслопочвенных и масляных загрязнений с продуктами изнашивания и разбирают машину на агрегаты. После снятия головок, люков, крышек и пробок очищают наружные и внутренние поверхности ремонтируемых агрегатов. Затем выполняют их общую и узловую разборку. После очистки и разборки узлов очищают все детали. В конце технологического процесса некоторые детали очищают от прочных загрязнений. Масса этих загрязнений составляет не более 5 % от общей массы, и они не являются источником загрязнения рабочего места, но для их удаления требуется значительное количество энергии, а применяемое оборудование должно быть специализировано по видам загрязнений и материала деталей. Наибольшие трудности представляет очистка поверхностей от прочных загрязнений в каналах и во внутренних полостях.

Таким образом, последующие операции очистки деталей обеспечивают снятие более прочных загрязнений.

Независимо от выбранного способа очистки значительного снижения расхода энергии добиваются за счет предварительной выдержки изделий в растворе ТМС.

Асфальтосмолистые отложения начинают разрыхляться в растворе при выдержке 15...20 мин. За 8 часов пребывания поршней с нагаром в растворе “Лабомид-203” отделяется 60...80 % массы загрязнений.

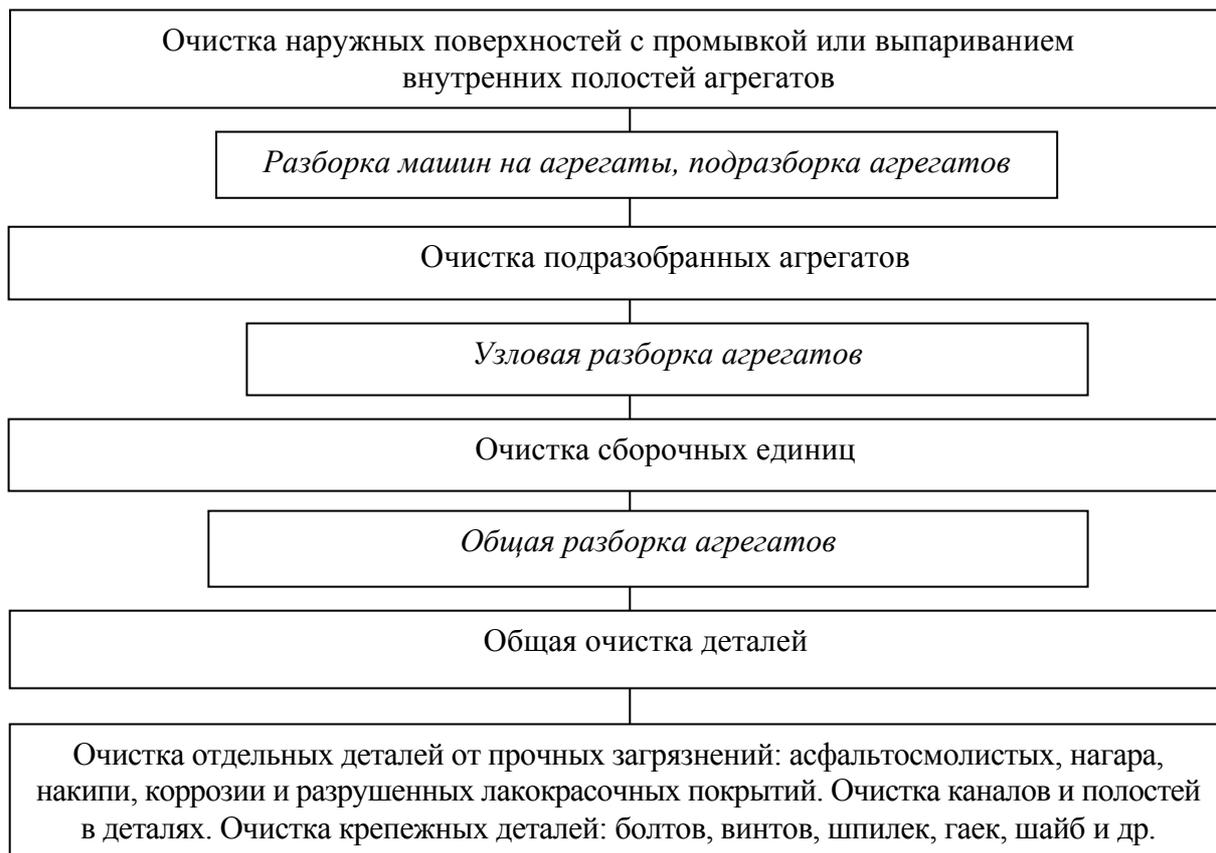


Рис. 2.3. Схема технологического процесса очистки машин от эксплуатационных загрязнений и их разборки (курсивом приведены разборочные операции)

2.2.2. Виды и свойства загрязнений

Знания состава и свойств загрязнений машин позволяют обоснованно и эффективно принимать меры по качественной очистке поверхностей изделий. Загрязнения, в зависимости от места и времени своего образования, подразделяют на эксплуатационные и технологические (рис. 2.4).

Машина, поступившая в ремонт, несет на поверхностях своих деталей сотни килограммов *эксплуатационных* загрязнений. Эти загрязнения на наружных и внутренних поверхностях различны. На наружных поверхностях находятся остатки материалов, с которыми взаимодействовала машина, масла и смазки, маслогрязевые отложения, остатки герметизирующих мастик, разрушенные лакокрасочные покрытия, продукты коррозии и

др. Загрязнения на внутренних поверхностях деталей представляют собой углеводородные отложения (в результате химико-термического превращения топлива и смазочных материалов), продукты изнашивания, остатки герметизирующих паст, материал разрушенных прокладок, а также накипь в виде солей кальция и магния.



Рис. 2.4. Классификация загрязнений

Детали в процессе восстановления покрываются *технологическими* загрязнениями (окалиной, стружкой, притирочными пастами, смазочными маслами, очистными материалами, продуктами приработочного изнашивания и др.). Хотя эти загрязнения существенно уступают эксплуатационным по массе и прочности, но они должны быть удалены с поверхностей деталей перед сборочными операциями.

Основную массу загрязнений по химическому составу делят на две большие группы – кремнеземные (минеральные) и углеводородные (органические).

Кремнеземные загрязнения образуются на поверхностях деталей в результате их взаимодействия с почвой и почвенной пылью.

Углеводородные загрязнения образуются в результате взаимодействия на поверхностях деталей топлив и масел с газами и влагой при повышенной температуре. Они включают масла и нейтральные смолы, оксикислоты, асфальтены, карбены и карбоиды, несгораемый остаток (золу).

Загрязненные *масла* на ранней стадии окисления присутствуют на большинстве поверхностей деталей. *Нейтральные смолы* входят в состав нефтепродуктов. Они полностью растворяются в петролейном эфире и бензине. *Оксикислоты* способны образовывать соли в результате диссоциации, окисления и реакции омыления. *Асфальтены* – продукты уплотнения нейтральных смол, хрупкие неплавкие вещества, разлагающиеся при температуре более 300 °С с образованием кокса и газов. Асфальтены растворяются в бензоле, хлороформе и сероуглероде. *Карбены и карбоиды* – продукты уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении масел и топлива. Карбены растворимы в сероуглероде и пиридине, а карбоиды не растворимы ни в каких растворителях.

С увеличением температуры и времени окисления масел наблюдается количественный рост оксикислот, асфальтенов, карбенов и карбоидов в загрязнениях с увеличением доли веществ, ближе к концу приведенного ряда.

Комбинированные углеводородные загрязнения в зависимости от соотношения составляющих веществ подразделяют на масляные, асфальтосмолистые, лаковые и нагар.

Масляные загрязнения – это смесь масел с кремнеземными составляющими.

Асфальтосмолистые отложения состоят из веществ, которые не растворяются в масле и обладают большей по сравнению с ним плотностью. Состав отложений: окисленные масла и смолы – 40...85 %, карбены, карбоиды и зола – 20...30 %.

Лаковые отложения (пленки) образуются на немногочисленной группе деталей, например, на шатунах и поршнях, и представляют собой продукты послойного окисления масла.

Основу *нагара* составляют карбены и карбоиды (35...75 %), масла и смолы (8...30 %). В небольшом количестве имеются оксикислоты, асфальтены и зола. Большая удельная масса нерастворимых или труднорастворимых компонентов нагара затрудняет его удаление.

Отдельный вид загрязнений представляет *накипь*, которая откладывается на внутренних поверхностях стенок радиаторов и рубашек охлаждения двигателей. Ее образование обусловлено содержанием в воде рас-

творенных солей кальция и магния. По химическому составу накипь разделяют на карбонатную (CaCO_3 , MgCO_3 и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), некарбонатную (CaSO_4 , MgSiO_3 и CaSiO_3) и смешанную. Карбонатные соли обуславливают временную жесткость воды, а некарбонатные – постоянную. Первую устраняют нагреванием воды до 70...80 °С или кипячением, при этом из нее выпадают соли в виде шлама. Вторая жесткость обусловлена солями, не выпадающими в осадок при нагревании воды.

Продукты коррозии образуются в результате химического или электрохимического разрушения металлов.

Разрушенные лакокрасочные покрытия необходимо удалять с поверхности деталей, поэтому их относят к загрязнениям.

Принятый, например, в капитальный ремонт двигатель внутреннего сгорания с рабочим объемом 4,8 л имеет на поверхностях своих деталей 5...10 кг эксплуатационных загрязнений. Маслопочвенные загрязнения распределены на площади поверхностей 6 м², их доля в общей массе загрязнений составляет 75...80 %, асфальтосмолистые загрязнения, остатки лакокрасочных покрытий, нагар и накипь распределены, соответственно, на площади 2,3; 1,5; 0,5 и 1,7 м².

Характеристика основных загрязнений деталей машин приведена в табл. 2.3. Наибольшие технологические трудности представляет снятие прочных загрязнений, которые обладают малой растворимостью, плохой смачиваемостью и большой адгезией к металлам.

Таблица 2.3

Виды и характеристики загрязнений

Загрязнения	Сборочные единицы, детали	Характеристики загрязнений	
		Толщина максимальная, мм	Предел прочности при сжатии, МПа
Масляно-грязевые	Картеры, крышки, поддоны	10	2...5
Масла и смазки	Корпусные детали, валы, шатуны, детали системы смазки	5	1...2
Лакокрасочные покрытия	Детали с окрашенными поверхностями	0,1	30
Продукты коррозии	Детали кузова, кабины, рамы, корпуса	3	40
Накипь	Блоки, гильзы и головки цилиндров	3	30
Асфальтосмолистые отложения	Блоки цилиндров, коленчатые валы, шатуны	0,5	10
Нагар	Головки цилиндров, поршни, коллекторы	1	30

Разнообразие видов загрязнений и разные значения их одноименных свойств требуют дифференцированного подхода к выбору очистных сред и назначению режимов очистки деталей от этих загрязнений.

2.2.3. Способы очистки

Применяют следующие основные способы очистки поверхностей деталей в зависимости от состава и свойств загрязнений:

- гидродинамическое разрушение и смывание струей воды с образованием взвеси;
- растворение;
- эмульгирование;
- разрушение потоком металлической дроби, стеклянных шариков, кварцевого песка, пластмассовой или косточковой крошки;
- электрохимическая обработка;
- ультразвуковая обработка в жидкости;
- термическое разрушение;
- срезание скребками, щетками.

Гидродинамическую очистку поверхностей струей холодной или горячей воды под давлением 0,5...20 МПа применяют для наружной очистки деталей от непрочных кремнеземных загрязнений, смачиваемых водой.

Сила Q гидродинамического давления струи воды на очищаемую поверхность равна

$$Q \sim 10\rho S v^2 \sin\alpha, \text{ Н}, \quad (2.1)$$

где ρ – средняя плотность аэрированной воды, кг/м^3 ; S – площадь поперечного сечения струи, соприкасающейся с очищаемой поверхностью, м^2 ; v – средняя скорость воды у очищаемой поверхности, м/с ; α – угол между осью струи и нормалью к поверхности.

Скорость воды определяют из выражения

$$v = \varphi \sqrt{2gH}, \text{ м/с}, \quad (2.2)$$

где φ – коэффициент скорости, принимает значения 0,96, 0,90 и 0,67, соответственно, для коноидальных, конических и цилиндрических насадков; H – напор перед насадком, м.

Растворение – это процесс образования однородной системы из двух веществ с распределением загрязнения в жидкой очистной среде. Загрязнения при этом виде очистки переходят с поверхности очищаемой детали в раствор.

Наибольшей взаимной растворимостью обладают вещества со сходным строением молекул – “подобное растворяется в подобном”.

Растворимость загрязнений определяется электростатическим взаимодействием полярных молекул. Молекулы воды, спиртов, кислот, щелочей и ряда других веществ полярные, т.е. обладают дипольным моментом. У молекул некоторых веществ дипольный момент может индуцироваться (наводиться) при соприкосновении с полярными молекулами. К таким веществам относят, например, ароматические углеводороды. При введении растворяе-

мого вещества в растворитель (рис. 2.5) их молекулы образуют агрегированные молекулы (сольваты). Последние равномерно распределяются по всему объему растворителя. Растворение сопровождается и диффузией. Последний механизм растворения типичен для неполярных жидкостей. В этом случае вязкость смешиваемых веществ имеет основное значение.

Углеводородные загрязнения при очистке деталей растворяют в органических растворителях, ржавчину – в кислотном растворе, а лакокрасочные материалы – в щелочном.

Смачивание заключается в растекании жидкости по поверхности твердого тела. Это свойство зависит от поверхностного натяжения жидкости, сочетания свойств ее материала и материала очищаемой поверхности. Смачивание – результат межмолекулярного взаимодействия сред на границе соприкосновения трех тел: твердого тела, жидкости и газа. Если загрязнение смачивается раствором, то он проникает в поры и трещины твердого тела. Углеводородные загрязнения не смачиваются водой, а минеральные частицы смачиваются при отсутствии жировых пленок на поверхности.

Силы в поверхностном слое жидкости стремятся придать ей такую форму, чтобы ее поверхность была наименьшей. На каждую элементарную частицу жидкости у ее края на поверхности твердого тела (рис. 2.6) действуют сила P_1 на границе твердое тело – газ, P_2 – твердое тело – жидкость и P_3 – жидкость – газ. Жидкость растекается по поверхности при благоприятном соотношении этих сил, зависящих от свойств взаимодействующих веществ. Краевой угол смачивания φ определяют из соотношения

$$\cos\varphi = (P_2 - P_1) / P_3. \quad (2.3)$$

Чем меньше значение угла φ , тем больше смачивающая способность жидкости.

На границе очищающей среды имеется слой молекул раствора, не уравновешенных жидкостью, поэтому в единице объема этого слоя сосредоточено энергии больше, чем в равном объеме жидкости в глубине раствора. Этот слой обладает избытком свободной энергии, которую измеряют работой для увеличения поверхности жидкости на одну единицу, а произведение ее на величину поверхности называют поверхностной энергией.

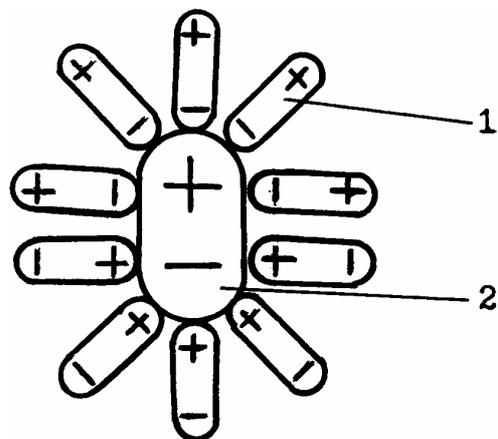


Рис. 2.5. Модель агрегированной молекулы: 1 – молекулы растворителя; 2 – молекулы растворимого вещества (загрязнения)

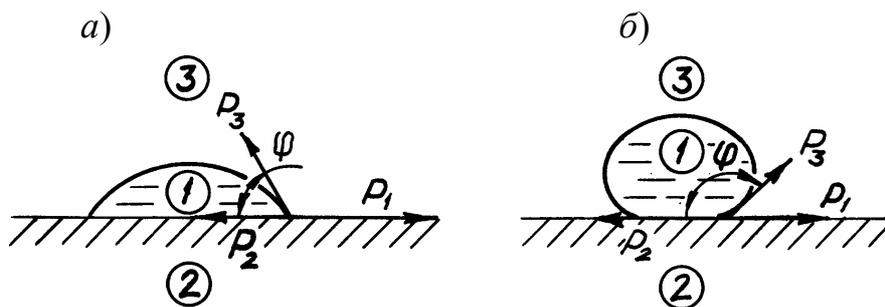


Рис. 2.6. Схема взаимодействия капли жидкости с поверхностью твердого тела и газовой среды: *а* – поверхность смачивается; *б* – поверхность не смачивается; 1 – капля жидкости; 2 – твердое тело; 3 – газовая среда (воздух)

Имеются вещества, способные понижать поверхностную энергию раствора, которые называют поверхностно-активными веществами (ПАВ). ПАВ представляют собой полярные органические соединения. Полярность ПАВ обусловлена строением молекул, состоящих из гидрофобной (водоотталкивающей) и гидрофильной (букв. – любовь к воде) частей. Гидрофобная часть молекулы (хвост) состоит из неполярного остатка углеводородной цепи длиной 10...18 групп и способствует растворению ПАВ в масле. Гидрофильная часть молекулы (голова) содержит полярные группы: карбоксильную COOH , гидроксильную OH , сульфатную OSO_3 или аминогруппу NH_2 и способствует растворению ПАВ в воде. Хвосты молекул выталкиваются из полярного растворителя, а головы удерживают молекулы на границе раздела фаз.

Концентрация ПАВ в поверхностном слое на несколько порядков выше, чем в объеме жидкости, поэтому даже при малом содержании ПАВ (0,01...0,10 % по массе) они значительно снижают поверхностное натяжение среды (например, у воды при 20°C от 72,8 до 25 МДж/м^2). Поверхностная активность ПАВ возрастает с увеличением их концентрации и длины углеводородной части молекул.

Наибольшее применение в очистных процессах находят коллоидные (мылоподобные) ПАВ. В водных растворах они имеют высокую активность и способны образовать коллоидные агрегаты-мицеллы. Эта способность проявляется при концентрации ПАВ, равной критической концентрации мицеллообразования (ККМ), и выражается в резком изменении плотности, электрической проводимости, поверхностного натяжения и моющего действия растворов. Щелочные добавки и повышение температуры раствора значительно снижают ККМ, что обеспечивает очистное действие раствора при меньшем расходе ПАВ. Для различных ПАВ значения ККМ составляют 1...10 г/л.

Водные растворы коллоидных ПАВ при концентрации выше ККМ способны поглощать значительное количество нерастворимых в воде веществ с образованием прозрачных не расслаивающихся со временем растворов. Такой процесс называют *коллоидным растворением*.

Несмачиваемые и нерастворимые загрязнения могут быть переведены в жидкую среду в виде устойчивых дисперсных эмульсий. *Эмульгирование* – это процесс образования эмульсий.

Пример природной эмульсии – молоко, которое состоит из частичек жира, взвешенных в воде.

Адсорбция ПАВ сопровождается образованием слоя сольватированных молекул, покрывающих поверхность загрязнений. Это уменьшает как прочность самого загрязнения, так и прочность его соединения с металлической поверхностью. Вещества, которые способны адсорбироваться на поверхности гидрофобных материалов, называются *эмульгаторами*. Смачивание и адсорбция сопровождаются разрушающими загрязнениями давлениями: расклинивающим, капиллярным и их комбинацией. Так, расклинивающее давление в микротрещинах имеет значения 80...100 МПа, а капиллярное – 150...260 МПа.

Загрязнения, как правило, состоят из жидкой (масла, смолы) и твердой (пыль, асфальтены, карбены и др.) частей. Такие загрязнения удаляют с поверхностей деталей путем эмульгирования жидкой фазы (образования эмульсий) и *диспергирования* твердой фазы (образования дисперсий). Механическое движение раствора ускоряет очистку загрязненных поверхностей.

Стабилизация очистки заключается в способности очистного раствора удерживать в своем объеме загрязнения, препятствуя обратному осаждению их на очищенные поверхности деталей.

Очистку поверхности металла от загрязнения в жидком растворе ПАВ можно представить множеством стадий (рис. 2.7).

Вода обладает большим поверхностным натяжением, она не смачивает гидрофобные загрязнения, а стягивается в отдельные капли. Растворение в воде ТМС уменьшает поверхностное натяжение раствора, что приводит к проникновению его в трещины и поры загрязнения. Капиллярное и расклинивающее действие раствора приводит к разрушению загрязнений. Отколовшиеся частицы переходят в раствор. Молекулы ПАВ адсорбируются на частицах загрязнения и очищенных поверхностях деталей и препятствуют укрупнению частиц и оседанию их на поверхность. В результате частицы загрязнений вначале находятся в растворе во взвешенном состоянии, а затем всплывают на поверхность или оседают на дно ванны.

Электрохимическая обработка поверхности деталей заключается в отрыве частиц загрязнений пузырьками водорода и кислорода, выделяющихся, соответственно, на катоде и аноде.

Ультразвуковая очистка основана на передаче энергии от излучателя через жидкую среду к очищаемой поверхности. Колебания среды с частотой 20...25 кГц вызывают гидравлические удары у поверхности детали,

которые разрушают масляные пленки за 30...40 с, а твердые углеводородные загрязнения – в течение 2...3 мин. Этот способ нашел применение при очистке прецизионных деталей сложной формы от прочных загрязнений.

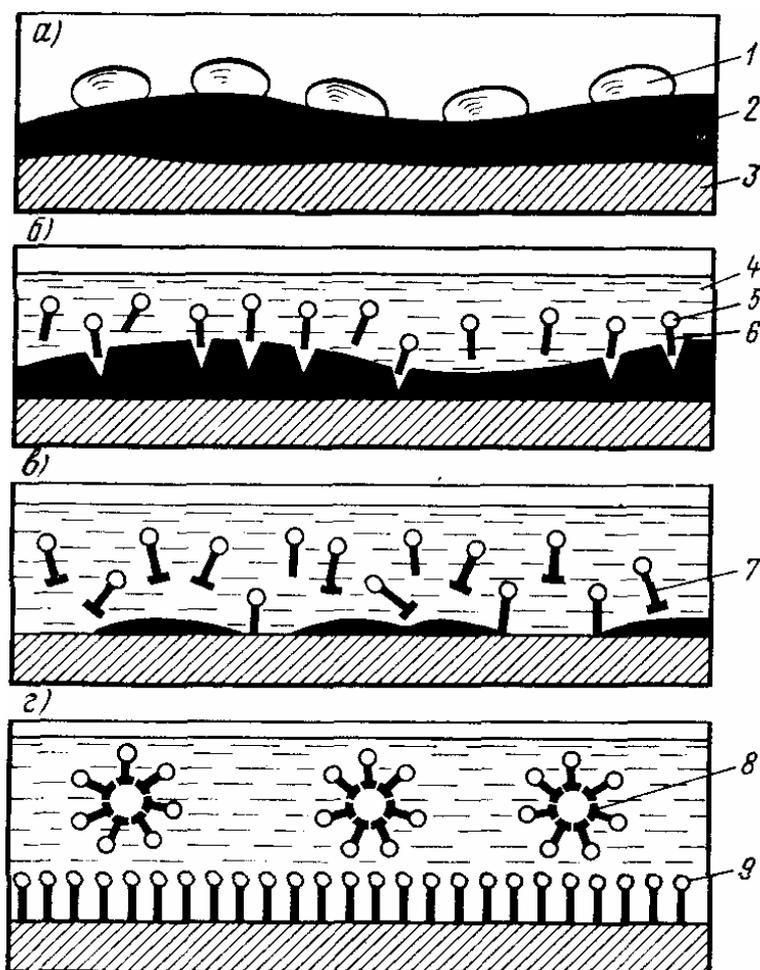


Рис. 2.7. Схема очистного процесса в жидких технологических средах: а, б, в, г – стадии процесса; 1 – капли воды; 2 – загрязнение; 3 – очищаемая деталь; 4 – очистной раствор; 5 – гидрофильная часть молекулы ПАВ; 6 – гидрофобная часть молекулы ПАВ; 7 – частицы загрязнений, перемещаемые в раствор; 8 – частицы загрязнений, стабилизированные в растворе; 9 – адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности

Если приведенные процессы неэффективны при очистке деталей от прочных загрязнений, то такие загрязнения *разрушают* потоком твердых частиц, *срезают* или применяют *огневую обработку*.

2.2.4. Очистные среды

Широко применяют жидкие технологические среды на основе органических растворителей и технических моющих средств. Однако эти среды не могут с необходимой производительностью очистить детали от загрязнений всех видов, поэтому используют и другие вещества.

Органические растворители обладают незначительным поверхностным натяжением, они способны растворять загрязнения с образованием однофазных растворов переменного состава. Полученные растворы содержат не менее двух компонентов. Эти очистные среды обладают высокой растворяющей способностью и нейтральностью по отношению к материалам поверхностей. Их можно регенерировать. Углеводородные растворители принадлежат к слабополярным гидрофобным веществам, их применяют для растворения неполярных и слабополярных загрязнений: масел, жиров, простых эфиров и битумов. Органические растворители по составу делят на две группы (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Органические растворители и их свойства

Растворители	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Температура кипения, °С	Поверхностное натяжение при 20 °С, Н/м
Нехлорированные углеводороды			
Бензин Б-70	680...730	40...180	–
Керосин	790...830	200...310	–
Уайт-спирит	790	165...200	–
Бензол	880	80,1	–
Толуол	870	110,6	28,8
Ксилол	860	137...141	28,5
Метиловый спирт	790	64,5	22,5
Этиловый спирт	789	78,3	–
Изопропиленовый спирт	785	82,4	25...30
Ацетон	790	56,2	23,3
Циклогексанон	950	161,1	33,9
Этилацетат	900	77,1	23,7
Бутилацетат	880	126,1	25,2
Хлорированные углеводороды			
Хлористый метилен	1330	39,9	28,1
Метилхлороформ	1350	73,9	25,7
Перхлорэтилен	1470	87,2	29,5
Трихлорэтилен	1630	121,2	32,9
Четыреххлористый углерод	1605	76,8	25,7
Дихлорэтан	1170	57,3	24,0

Первую группу образуют алифатические углеводороды, полученные из нефти (керосин, уайт-спирит, бензин), ароматические углеводороды, получаемые из каменноугольной смолы (бензол, толуол, ксилол), неароматические кольцевые углеводороды (скипидар), спирты (метиловый, этиловый, изопропиленовый), кетоны (ацетон, циклогексанон) и эфиры (этилацетат, бутилацетат). Все они пожароопасны и умеренно токсичны.

Вторую группу составляют *хлорированные* углеводороды. Почти все они не горючи, но токсичны. При взаимодействии с водой, светом и теплом

нестабилизированные хлорированные растворители разлагаются, а продукты разложения (соляная кислота, хлор, фосген) вызывают коррозию металлов. Хлорированные углеводороды работают при комнатной температуре.

Хлорированные углеводороды обеспечивают высокое качество очистки деталей, но требуют больших затрат на обеспечение безопасных условий труда, обеспечивающих исключение контакта растворителя и продуктов его превращений с организмом оператора. Наибольшее применение при очистке деталей получил четыреххлористый углерод. Замена растворов на слаботоксичные типа хлористого метилена обычно приводит к недопустимому снижению качества очистки.

Растворяющая способность органических растворителей высокая. Для некоторых растворителей показатель имеет такие значения ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$): трихлорэтилен – 3,10; ксилол – 2,20; тетрахлорэтилен – 1,70; бензин – 1,30; уайт-спирит – 0,90; керосин – 0,60.

Применяют смывки для облегчения снятия масляных, нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых покрытий. Они представляют собой смеси органических растворителей, замедлителей испарения, загустителей, эмульгаторов и разрыхлителей.

Некоторые литературные источники рекомендуют в качестве очистных средств фторсодержащие углеводороды. Однако они разрушают озоновый слой атмосферы, поэтому запрещены международными соглашениями к использованию.

При накоплении предельной массы загрязнений в органических растворителях очистка прекращается. *Растворяюще-эмульгирующие* средства (РЭС) способствуют более эффективной очистке.

РЭС состоят из основного и дополнительного растворителей, ПАВ и небольшой добавки воды (табл. 2.5). Основным растворителем служат ксилол, уайт-спирит или хлорированные углеводороды. Дополнительный растворитель обеспечивает однородность и стабильность раствора с эмульгированным (диспергированным) загрязнением. В качестве дополнительного растворителя применяют ализириновое масло, канифоль и трикрезол. Детали после извлечения из РЭС помещают в воду или раствор ПАВ, где происходит эмульгирование загрязнений (рис. 2.8).

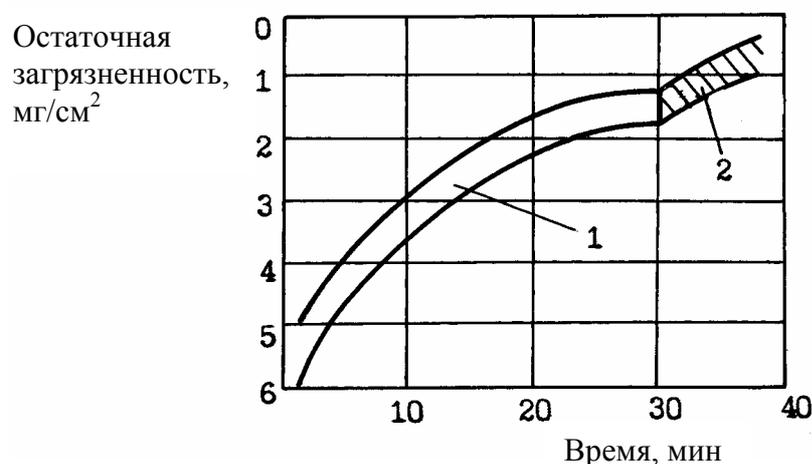


Рис. 2.8. Интенсивность очистки в растворяюще-эмульгирующем средстве АМ-15 (стадия 1) и ТМС Лабомид-101 (стадия 2)

Таблица 2.5

Растворяюще-эмульгирующие средства, их состав и характеристика

Наименование	Состав, % массы	Особенности применения
АМ-15	Ксилол – 72; ализариновое масло – 26; ПАВ ОС-20 – 2	Детали выдерживают в 100 %-ном препарате и ополаскивают в растворах Лабомида или МС
МС-3	Уайт-спирит – 51; канифоль сосновая – 34; едкий натр – 6; вода – 12	Температура раствора 50 °С
Термос	Уайт-спирит – 40; ОП-4 – 10; ОП-7 – 1; сульфанол – 0,2; вода – 2; дизельное топливо – остальное	Детали выдерживают в 100 %-ном препарате и ополаскивают в водном растворе триполифосфата натрия
Лабомид-312	Трихлорэтилен – 60; трикрезол – 30; синтанол ДС-10 – 5; алкилсульфаты – 5	Детали выдерживают в препарате, разведенном водой (1:4), и ополаскивают в щелочном растворе

РЭС применяют при очистке деталей от асфальтосмолистых отложений при температуре 20...50 °С.

Создание *технических моющих средств* (ТМС) на основе щелочных веществ и ПАВ – одно из важнейших достижений в области очистки техники. Щелочные компоненты (щелочи и щелочные соли) в ТМС изменяют химический состав загрязнений и повышают активность ПАВ.

Из щелочей применяют едкий натр, а в качестве щелочных солей – кальцинированную соду, силикаты (метасиликат натрия, жидкое стекло) и фосфаты (тринатрийфосфат, триполифосфат). Степень гидролиза солей возрастает с понижением их концентрации и повышением температуры раствора. Щелочные вещества умягчают воду, нейтрализуют свободные жирные кислоты, омыляют загрязнения и поддерживают необходимую концентрацию водородных ионов (показатель рН).

Значение показателя рН раствора ограничивают во избежание коррозии металлов. При очистке деталей из цинка и алюминия рН составляет 9...10, олова – не выше 11, латуни – не выше 12,0...12,5. Сталь допускает очистку при рН до 14. Детали из цветных металлов можно очищать при значительно больших значениях рН, например, 11,5...12,8, однако в такие растворы необходимо добавлять метасиликат натрия и жидкое стекло.

ТМС являются многокомпонентными смесями химических веществ, каждое из которых выполняет определенные функции в процессе очистки. Состав ТМС подбирают для применения в конкретном технологическом процессе очистки деталей из определенного материала от заданных загрязнений.

Для приготовления ТМС применяют синтетические ионогенные или неионогенные ПАВ. Первые в водных растворах диссоциируют на ионы, вторые ионов не образуют. Неионогенные ПАВ сохраняют моющую способность в жесткой воде и в других средах с различными значениями рН.

Большинство ТМС состоит из смесей щелочных неорганических веществ – кальцинированной соды, силиката натрия, солей фосфорной кислоты с небольшими добавками ПАВ. К таким порошкообразным ТМС относят Лабомид, МС, МЛ, Викал, Темп и другие. ТМС Лабомид, МС, МЛ и Темп практически взаимозаменяемы при очистке деталей.

Средства МС-6 и МС-8 представляют собой смеси неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными солями. МС-6 предназначено для очистки деталей шасси тракторов, автомобилей, комбайнов, их агрегатов и узлов. МС-8 предназначено для очистки деталей двигателей. МЛ-51 и МЛ-52 – смеси ПАВ с щелочными неорганическими солями. Средство МЛ-51 предназначено для очистки деталей от остатков горюче-смазочных материалов, маслогрязевых отложений и консервационных покрытий. МЛ-52 служит для очистки деталей от остатков горюче-смазочных и асфальтосмолистых отложений. МС-15 – смесь неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными веществами. Средство предназначено для очистки машин, агрегатов, узлов и деталей от масляных отложений в различных очистных машинах погружного типа.

Концентрация ТМС в растворах составляет 15...30 г/л, рабочая температура этих растворов равна 80...90 °С.

Необходимость уменьшить коррозионное воздействие на поверхность деталей из цветных металлов и сплавов обусловила применение ТМС на основе неионогенных ПАВ в смеси с растворителями и органическими добавками к ним. Это средства: Вертолин-74, Истра, Импульс, Фокус-74, ТМС-57, Омега и др.

Использование ТМС по сравнению с органическими растворителями обеспечивает снижение стоимости очистных растворов на 40...60 % и сокращение времени очистки в 5...7 раз.

Прочные неомыляемые загрязнения удаляют с поверхности детали путем их механического дробления потоком *твердых частиц* (косточковой крошки фруктовых растений, стеклянными шариками диаметром 0,3...0,8 мм, частицами полиэтилена или полиамида, корундом, чугуновой или стальной сферической дробью, кварцевым песком). Среда переноса этих частиц – сжатый воздух, вода, растворы ТМС.

Перспективно применение гранулированного сухого льда, который полностью испаряется после очистки поверхностей.

Расплав щелочей и солей из едкого натра NaOH, азотнокислого натрия NaNO₃ и хлористого натрия NaCl очищает поверхности деталей практически от всех видов загрязнений.

Водные растворы серной и соляной *кислот* используют для травления, очистки от продуктов коррозии, накали и асфальтосмолистых отложений. Применяют также уксусную, щавелевую, олеиновую, лимонную и нафтенную кислоты. Коррозионная активность кислот уменьшается при введении в очистной раствор ингибирующих добавок.

В установке ОМ-21605 для очистки чугунных деталей применяют 20 %-ный раствор, а для деталей из алюминиевого сплава – 8 %-ный раствор соляной кислоты с добавкой уротропина и сернокислого калия. Ополаскивающая среда – вода, а нейтрализующая – раствор кальцинированной соды.

Растворы каустической соды применяют в выварочных ваннах для снятия старой краски.

2.2.5. Очистное оборудование

Наибольший объем общей очистки техники выполняют в струйных или погружных машинах проходного или тупикового типа, заправленных жидкими технологическими средами.

Основные элементы *струйной машины* проходного типа (рис. 2.9): очистная камера 7, ванна с раствором 6, фильтры 5 и 9, насосный агрегат 11, система гидрантов 8, транспортирующее устройство. Раствор нагревают паровыми или электрическими теплообменниками. При работе машины насос подает очистную среду под давлением 0,2...1,0 МПа в систему гидрантов, которые представляют собой фигурные трубопроводы со множеством сопел. Форма гидрантов, число и направление сопел обеспечивают формирование струй, направленных в наиболее загрязненные места. В некоторых машинах гидранты выполнены подвижными, что позволяет струям раствора взаимодействовать с очищаемой поверхностью с разных направлений со сканирующим эффектом.

В процессе очистки изделия поступательно перемещаются на транспортере или подвесном конвейере относительно гидрантов. Перемещение деталей на подвесном конвейере обеспечивает лучшее качество их очистки, а перемещение на решетчатом транспортере исключает время их завешивания на подвески.

Устройство *погружной машины* крестово-роторного типа приведено на рис. 2.10. Внутри ванны 5 установлен вал 4 с крестовинами на опорах. Вал приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу и редуктор. На шипы крестовины устанавливаются контейнеры 3 с изделиями. Теплообменник 7 нагревает раствор. Маслосборник 6 и устройство для сбора загрязнений 2 с насосом 8 поддерживают чистоту раствора. Дно ванны выполнено с уклоном для облегчения удаления шлама. Производительность очистки повышает ротор-активатор 1.

Машина работает следующим образом. При открытой крышке ванны устанавливаются контейнеры с очищаемыми объектами на шипы крестовин. Закрывают крышку и включают привод вращения вала. Контейнеры с очищаемыми объектами с частотой 3...10 мин⁻¹ погружаются в очистной раствор и извлекаются из него. Частоту вращения вала выбирают из расчета, чтобы раствор успевал заполнять полости деталей и вытекать из них во время нахождения очищаемого объекта в растворе и над ним соответст-

венно. Это обеспечивает высокую скорость и непрерывное обновление раствора вблизи очищаемых поверхностей деталей.

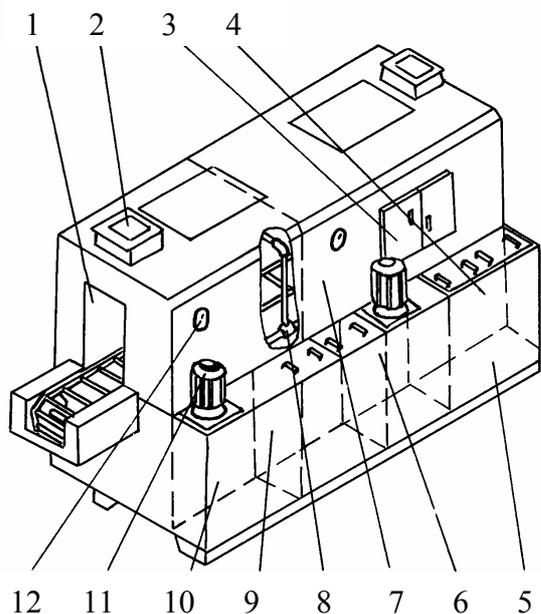


Рис. 2.9. Машина для струйной очистки изделий: 1 – тамбур; 2 – вентиляционный отвод; 3 – люк; 4 – флотационный отсек; 5 и 9 – фильтры напорные; 6 – ванна с раствором и нагревательными элементами; 7 – очистная камера; 8 – система гидрантов; 10 – емкость подачи раствора; 11 – насосный агрегат; 12 – приборы

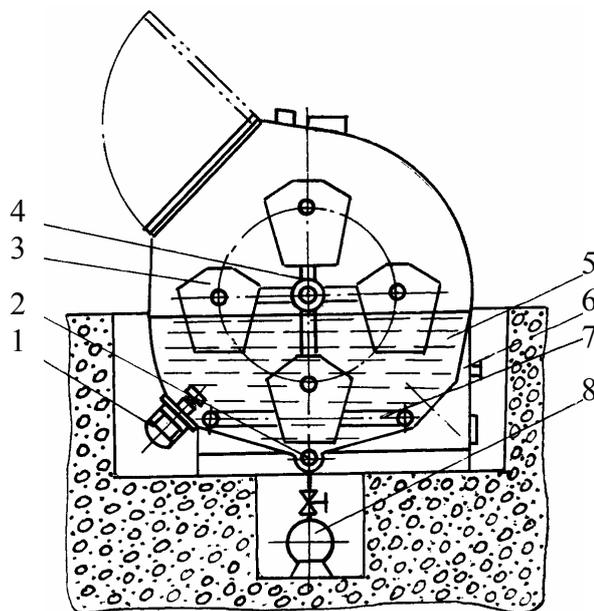


Рис. 2.10. Машина для погружной очистки изделий от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений: 1 – ротор-активатор; 2 – устройство для сбора загрязнений; 3 – контейнер; 4 – вал с крестовинами; 5 – ванна; 6 – маслосборник; 7 – теплообменник; 8 – насос

Производительность и качество погружной очистки увеличивают радиальные роторы-активаторы, осевые винты и ультразвуковые излучатели.

Струйные машины легко приспособляются к конвейерной очистке, они менее металлоемки, у них меньшая мощность механического привода, однако эти машины требуют большего расхода тепловой энергии на нагрев раствора.

Общая поверхность капель, образующихся при струйной очистке деталей, составляет 10...15 тыс. м² на каждый литр раствора. Высокая кратность перекачки очистного раствора (до 20 раз в час) приводит к образованию стабильных эмульсий из загрязнений в растворе, в результате чего растворы быстро истощаются. При этом большая часть молекул ПАВ адсорбируется на отделившихся частицах загрязнения и в процессе дальнейшей очистки не участвует. Такие эмульсии практически не поддаются расслоению, а их слив в канализацию наносит большой ущерб природе. Максимальная активность раствора ТМС начинает проявляться не с момента контакта раствора с загрязнением, а через 0,1...0,2 часа. Это время необходимо для адсорбции молекул ПАВ на частицах загрязнений, следовательно, энергия для механического воздействия на загрязнение в начальный период очистки расходуется неэффективно. Очистке подвергаются только поверхности деталей, имеющие непосредственный контакт со струями, а поверхности, находящиеся в “тени”, не очищаются.

Погружные машины лишены ряда приведенных недостатков, однако требуют больших трудозатрат на загрузку и выгрузку деталей. Общие затраты на создание и эксплуатацию погружных машин меньше, чем струйных. Ряд передовых ремонтных заводов ведет очистку ремонтируемой техники только в погружных машинах. Имеется ряд погружных машин, специализированных по очистке отдельных деталей от прочных загрязнений различных видов.

Детали топливной аппаратуры очищают в установках УЗВ-15М, УЗВ-16М, УЗВ-17М и УЗВ-18М с ультразвуковыми колебаниями очищающей среды. Установки включают ванну и ультразвуковой генератор.

Наиболее часто для ультразвуковой очистки применяют щелочные растворы с ПАВ. Режим очистки: продолжительность 1...5 мин; частота колебаний 20...40 кГц, удельная мощность 1...3 Вт/см², температура раствора 40...60 °С.

Остатки лакокрасочных покрытий снимают с деталей из черных металлов в течение 30...60 мин в роторных погружных машинах, заправленных 1,5...3,0 %-ным раствором каустической соды. Этот способ очистки деталей требует последующего их ополаскивания в растворе ТМС.

Смывки при снятии красок наносят кистью или пульверизатором, спустя 20...40 мин покрытие набухает и его соскабливают скребком или смывают раствором ТМС.

Детали очищают от накипи в 15 %-ном растворе соляной кислоты, подогретом в ванне до температуры 60 °С. Процесс протекает при включенной вентиляции. Для изготовления ванн применяют дорогие кислотостойкие материалы. Несмотря на простоту процесса, следует учитывать, что он требует больших затрат на обеспечение безопасных условий труда. Необходима нейтрализация раствора, как оставшегося на поверхностях очищаемых деталей, так и находящегося в виде паров в вентиляционных каналах.

Очистка деталей из алюминиевого сплава от углеводородных отложений эффективна в расплаве щелочей и солей в четырехсекционных машинах. Непосредственно отделение загрязнений протекает в первой секции с расплавом едкого натра NaOH (65 %), азотнокислого натрия NaNO₃ (30 %) и хлористого натрия NaCl (5 %), нагретого до температуры 300 °С. В остальных секциях ведут нейтрализацию остатков расплава, осветление и промывку поверхностей деталей. Очистка деталей из черных металлов допускает повышение температуры расплава до 400...420 °С. По этой технологии, например, очищают коленчатые валы с прочными загрязнениями во внутренних полостях шатунных шеек.

Широко применяют очистку деталей из алюминиевого сплава от прочных загрязнений потоком косточковой крошки, зернами полиэтилена или полиамида в струе сжатого воздуха. Однако эта очистка сопряжена с большими трудозатратами на непрерывное относительное перемещение

очищаемого изделия и эжекционного пистолета. Кроме того, для установки оборудования требуется яма в полу. Большой расход сжатого воздуха для создания разрежения в эжекционном пистолете сопряжен с большими эксплуатационными расходами.

В производство внедрена очистка деталей *стеклянными шариками* диаметром 0,3...0,8 мм. Этот вид очистки по сравнению с очисткой деталей косточковой крошкой более производительный, здесь меньшая стоимость очистного агента, машина имеет меньшие габариты, а процесс легче механизмуется.

Установка для очистки от нагара поршней двигателей внутреннего сгорания (рис. 2.11) включает корпус 1 с приводом, камеры 7 и сборник-фильтр 10.

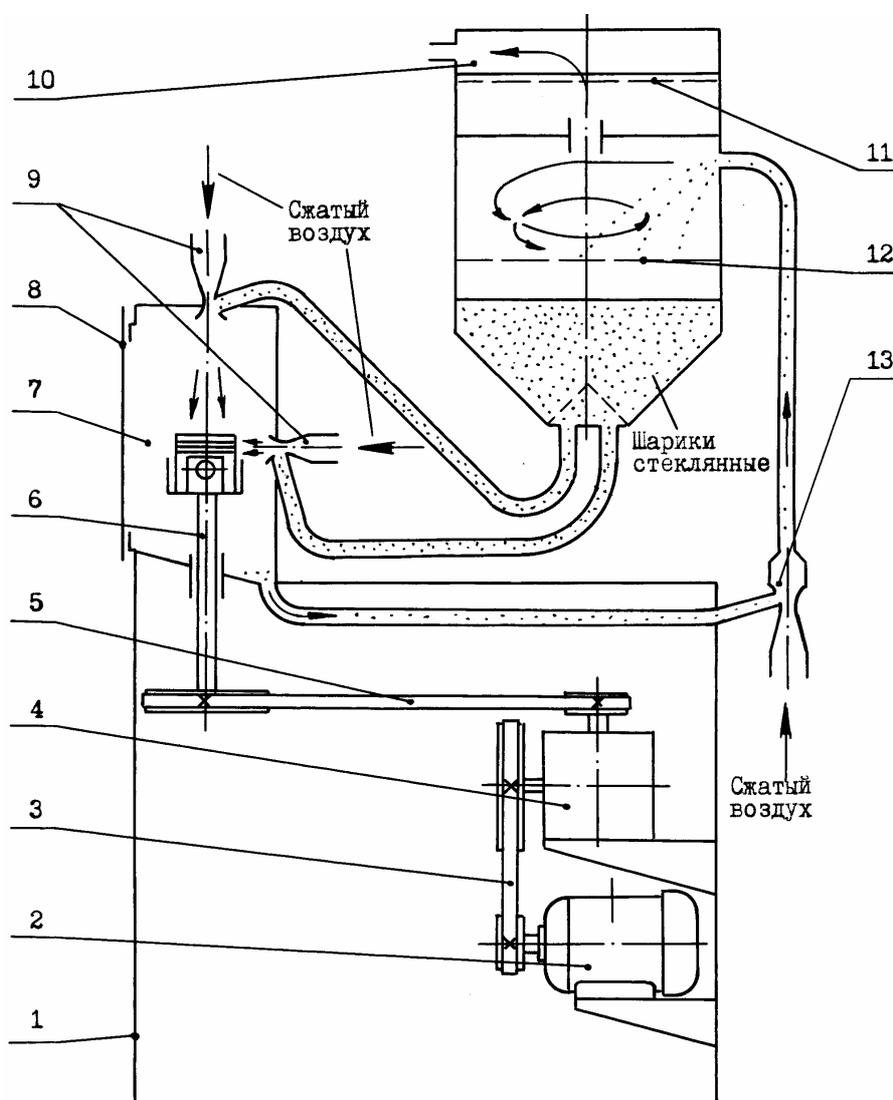


Рис. 2.11. Машина для очистки деталей потоком стеклянных шариков: 1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 и 5 – клиноременные передачи; 4 – редуктор; 6 – вал; 7 – камера; 8 – дверь; 9 – эжекционные форсунки; 10 – сборник-фильтр; 11 – матерчатый фильтр; 12 – сетка; 13 – эжектор

На корпусе 1 установлены все узлы машины. Электродвигатель 2 посредством клиноременной передачи 3 приводит в движение червячный редуктор 4, который, в свою очередь, клиноременной передачей 5 соединен с двумя шкивами, установленными на валах 6. На других концах валов закреплены стаканы, в которые устанавливаются очищаемые детали.

В сборнике-фильтре 10 находится запас стеклянных шариков, матерчатый фильтр 11 и фильтрующая сетка 12. Шланги для подачи шариков к эжекционным форсункам 9 подключены к основанию конусного дна сборника. Патрубок, по которому шарики возвращаются в сборник-фильтр, расположен тангенциально его корпусу.

Очищаемые детали устанавливаются в два стакана на валах 6 и закрывают двери 8. Эжекционные форсунки создают разрежение в подводных шлангах, что приводит к поступлению шариков к форсункам. Шарики из фильтра-отстойника попадают в струю сжатого воздуха и приобретают необходимую энергию для разрушения нагара в момент соударения с загрязнением. Верхние форсунки, установленные в камерах 7, очищают днище поршня, а боковые форсунки – канавки под поршневые кольца.

Шарики после соударения с нагаром попадают вместе с частицами загрязнений на наклонное дно камеры, а затем за счет работы эжектора 13 – в сборник-фильтр. Шарики просыпаются через сетку 12, а частицы загрязнения задерживаются. Отработавший воздух через фильтр 11 выходит в атмосферу в очищенном состоянии.

Для очистки крепежных деталей эффективны технологические машины, в которых дробление загрязнений происходит при соударении деталей во время их перекачивания друг через друга в барабане. Разновидностью таких машин является средство со шнековым барабаном и автоматической выгрузкой метизов. Процесс очистки в нем протекает при непрерывном перекачивании и осевом перемещении деталей в очистном растворе за счет вращения барабана.

Для очистки ремонтируемых машин и их частей ГосНИТИ (Москва) разработал систему очистного оборудования, которая в свое время непрерывно совершенствовалась. Применительно к ремонту агрегатов с восстановлением их деталей эта система включает струйные машины ОМ-21610 и ОМ-1578 для наружной очистки агрегатов. Для очистки подбранных агрегатов и их узлов разработаны погружные машины ОМ-21602, ОМ-22608 и ОМ-22609. Для очистки масляных каналов в блоках цилиндров созданы машины ОМ-3600 и АКТБ-180, для очистки каналов в коленчатых валах – ОМ-22601. Мелкие детали (толкатели, коромысла, клапаны, пружины и др.) очищаются в колокольной машине ОМ-6068А производительностью 400 кг/ч с механизированной выгрузкой очищенных изделий.

Доля тепловой энергии на технологические нужды, затрачиваемой на очистку изделий, достигает до 70 %. Совершенствование этого процесса в направлении уменьшения расхода тепловой энергии актуально до настоящего времени.

2.2.6. Контроль качества очистки деталей

Применяют различные способы контроля остаточной загрязненности поверхностей: смачивание водой, весовой, протирание и люминесцентный.

Способ *смачивания* водой основан на способности металлической поверхности удерживать непрерывную пленку воды, если эта поверхность свободна от гидрофобных загрязнений. Способ применяют для деталей с шероховатостью поверхностей менее Rz 3,2 мкм.

При наличии на поверхности минеральных масел в количестве более 0,1 г/м² водная пленка разрывается мгновенно, при 0,05 г/м² разрыв наступает через 4...7 с. Для смачивания применяют холодную дистиллированную воду.

При использовании *весового* способа загрязнения растворяют (с последующей экстракцией) или соскабливают, затем их взвешивают и относят к площади поверхности.

Протирание ведут фильтровальной бумагой, бумажной салфеткой или ватным тампоном. Количество загрязнений определяют взвешиванием. Способ является основным при контроле качества очистки каналов и внутренних полостей и дополнительным к способу смачивания.

Люминесцентный способ основан на свойстве масел светиться в ультрафиолетовых лучах. Интенсивность свечения характеризует качество очистки. Прибор ПЛКД-2 определяет количество масляных загрязнений в количестве более 0,005 г/м².

В заводских условиях контролируют также температуру очистного раствора и массовую долю ТМС. Последний показатель определяют косвенными методами путем измерения щелочности рН, плотности или электропроводности регламентно разбавленных растворов.

2.2.7. Разборочные средства и меры по сохранности деталей

Для уменьшения трудоемкости процесса и совершенствования организации труда разборку машин делят на *общую* и *узловую*. В таком случае машину последовательно разбирают на агрегаты, а агрегаты – на сборочные единицы на рабочих местах общей разборки, а затем в процессе узловой разборки сборочные единицы разбирают на детали.

При разборке машин, агрегатов и сборочных единиц выполняют транспортные и технологические перемещения и разъединение резьбовых и прессовых соединений.

В качестве установочно-транспортного средства при общей разборке машин и агрегатов применяют конвейер или эстакаду. Тупиковую разборку ведут на стендах. Конвейерное перемещение предмета ремонта между технологическими позициями и применение специального оборудования для разборки резьбовых и прессовых соединений уменьшают трудоемкость разборки.

Агрегат при общей разборке устанавливают на стенд. Разбираемый агрегат имеет технологическое вращение вокруг вертикальной или горизонтальной оси. Стенд (рис. 2.12) включает основание 1, закрепленное с помощью фундаментных болтов на полу, и вращатель, состоящий из электродвигателя 2, редуктора 3 и рамы 4 с прихватами. Рама с помощью ступицы закреплена на ведомом валу редуктора. Если опорно-крепежные элементы допускают закрепление агрегата только за корпусную деталь, то возможно разъединение и снятие всех деталей и сборочных единиц, относящиеся к общей разборке.

Стенд работает следующим образом. Предмет труда базируют с помощью грузоподъемных средств на опорных элементах рамы 4 и крепят резьбовыми прихватами. Включают электродвигатель 2, а предмет труда устанавливают в удобное для разборки положение путем поворота ведомого вала редуктора с рамой.

Вращатель стенда применяют в составе конвейера при поточной разборке. Ось вращения разбираемого агрегата необходимо совместить с центром тяжести вращающихся масс, в этом случае повороты предмета труда требуют наименьших моментов. На ведущем валу редуктора может быть установлен маховик с рукояткой, а конец этого вала выполнен в виде шестигранника. Разбираемый агрегат в этом случае поворачивают за счет вращения ведущего вала редуктора с помощью рукоятки вручную или гайковертом. Корпус редуктора закрепляют на несущей части конвейера.

Наибольшую долю резьборазборочных работ выполняют при общей разборке агрегата.

В единичном производстве применяют универсальные наборы гаечных ключей (рожковых, накидных и в виде головок с воротками) и отверток. В условиях ремонтного завода резьбовые соединения разбирают с помощью гайковертов. Их применение повышает производительность труда в 3...5 раз и уменьшает число повреждений крепежных деталей.

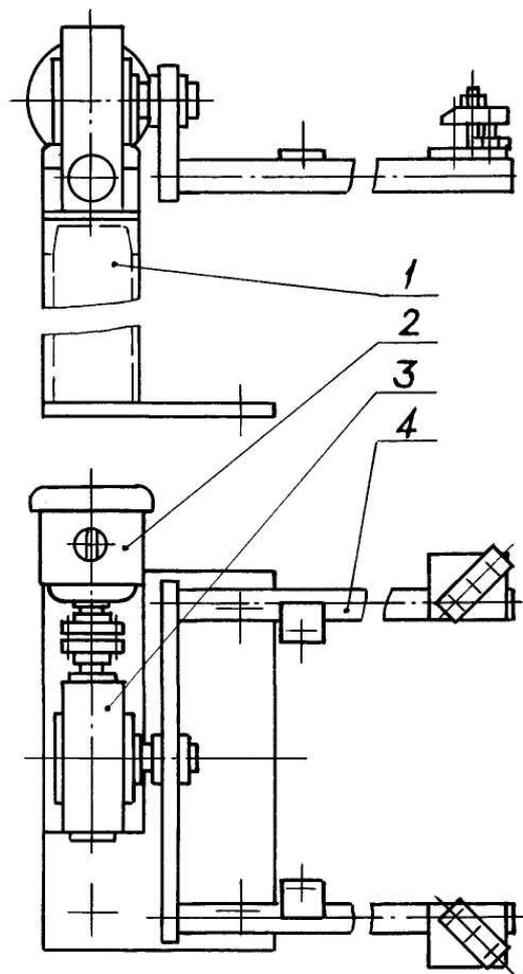


Рис. 2.12. Стенд для разборки агрегатов:
1 – основание; 2 – электродвигатель;
3 – редуктор; 4 – рама

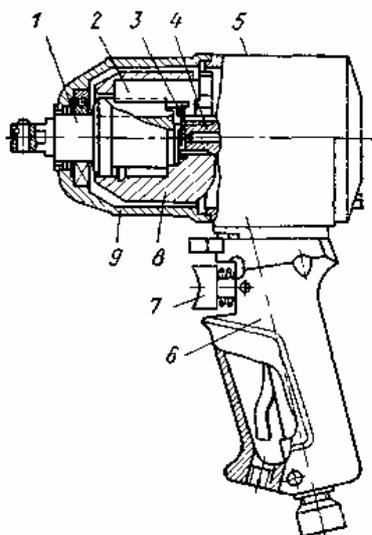


Рис. 2.13. Гайковерт пневматический ударного действия: 1 – шпindelь; 2 – кулачек; 3 – пружина; 4 – ротор; 5 – корпус; 6 – рукоятка; 7 – кнопка; 8 – маховик; 9 – кожух

Пневматические или электрические гайковерты бывают одношпиндельными или многошпиндельными.

Распространенный пневматический гайковерт УПГ-16 позволяет разборку соединений диаметром до 16 мм, развивает максимальный момент на ключе 200 Нм, потребляет сжатый воздух под давлением 0,3...0,6 МПа, обладает массой 3,5 кг.

Электрические гайковерты оснащены высокочастотными электродвигателями, потребляющими ток частотой 200 Гц под напряжением 36 В.

Пневматические гайковерты (рис. 2.13) имеют малый КПД (7...10 %) и издают сильный шум при работе. Электрические гайковерты имеют сравнительно высокий КПД (50...60 %) и требуют меньших эксплуатационных расходов на использование.

В приводах шпинделей гайковертов применяют ударно-импульсные муфты, которые увеличивают момент отворачивания и уменьшают реактивный момент, передаваемый на руки рабочего.

Применение многошпиндельных гайковертов (рис. 2.14) для разборки групп резьбовых соединений повышает производительность труда в 6...8 раз по сравнению с применением ручных гайковертов. Специализированные разборочные посты оснащают стационарными одношпиндельными электрическими гайковертами, установленными на колоннах, или многошпиндельными гайковертами, которые устанавливают на подвеске.

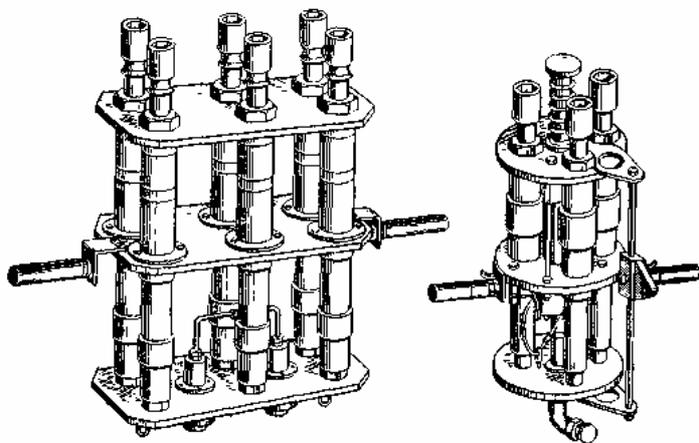


Рис. 2.14. Многошпиндельные пневматические гайковерты, собранные из нормализованных элементов

Прессоразборочные работы выполняют при узловой разборке с помощью ручных винтовых, механизированных пневматических или гидравлических устройств.

При небольших объемах производства прессовые соединения разбирают с помощью ручных винтовых съемников, использующих мускульную энергию, которые развивают усилие до 50 кН.

Для разборки узлов автомобилей применяют, например, комплект съемников ОРГ-8947. Для выпрессовывания шарикового подшипника из торца коленчатого вала двигателя используют съемник 00Б-195-5-00.

Механические станды (рис. 2.15) и съемники повышают производительность труда в 3...5 раз по сравнению с ручными съемниками. Широкое применение получили пневматические (давление сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа) и гидравлические (давление масла 10...25 МПа) приводы.

Устройство для снятия гильзы цилиндра (рис. 2.16) содержит гидроцилиндр 7 с заплечиками, с помощью которых он устанавливается на стенки блока цилиндров, и поршень 6 со штоком 5. На штоке соосно ему установлен клин 3 со штифтом 4. Клин нагружен пружиной 2, которая стремится поднять его. В нижней части штока на осях установлены захваты 1 для гильзы.

При подаче масла под давлением в полость цилиндра 7 над поршнем 6 последний движется вниз. Пружина 2 поднимает клин до упора штифтом 4 в стенку штока, при этом усилие от клина на захваты не передается.

Устройство вводят в отверстие гильзы цилиндра, захваты 1, поворачиваясь на своих осях, этому не препятствуют. Когда цилиндр 7 своими заплечиками касается блока цилиндров, захваты 1 под действием собственного веса располагаются горизонтально и касаются площадок штока.

Затем подают масло под давлением в полость цилиндра под поршнем. Сила давления от поршня 6 передается через захваты 1 к снимаемой гильзе. Штифт 4 клина, после извлечения гильзы из блока, упирается в стенку штока. Остановившийся клин 3 действует на захваты 1, внешние концы которых, поднимаясь, перемещаются к центру и освобождают гильзу. Устройство снимают с блока цилиндров.

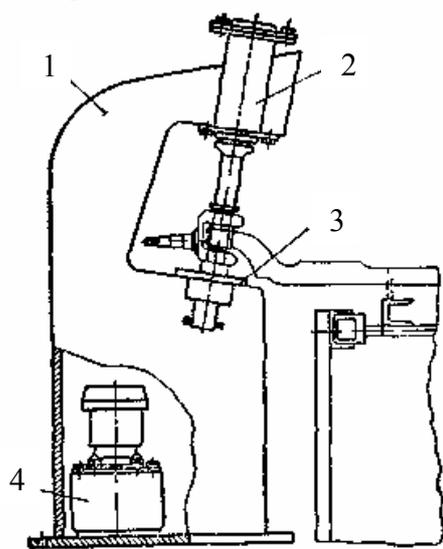


Рис. 2.15. Специальный гидравлический пресс для выпрессовывания шкворней: 1 – станина; 2 – гидроцилиндр; 3 – установочный стол; 4 – насос

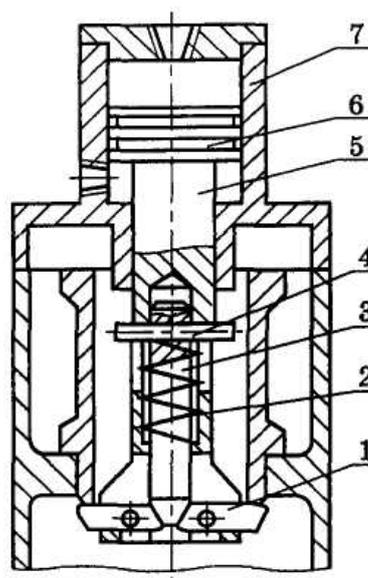


Рис. 2.16. Устройство для снятия гильзы цилиндра: 1 – захват; 2 – пружина; 3 – клин; 4 – штифт; 5 – шток; 6 – поршень; 7 – гидроцилиндр

Приложение вибраций к разбираемым соединениям уменьшает разборочные моменты и усилия.

Специалисты НТЦ “Вега” ИИПЦ НАН Украины разработали оборудование для разрыхления прочных загрязнений, ослабления посадок соединений (резьбовых и прессовых) и их частичной разборки. Принцип работы оборудования основан на использовании высоковольтных разрядов в жидкости, заполняющей внутреннюю полость агрегата. Мощные ударные волны создают колебания в разбираемых объектах, при этом резьбовые соединения, пораженные ржавчиной, легко разбираются.

Сохранность деталей при разборке обеспечивают применением специализированных стендов, учетом деталей и внедрением системы оплаты труда разборщикам за сданные на рабочие места сортировки неразрушенные детали.

Технологические мероприятия, обеспечивающие сохранность деталей, сводятся к исключению ручной или ударной разборки. Последняя разборка приводит к обломам фланцев деталей, трещинам в корпусных деталях, погнутости листовых деталей, разрушению резьбы, забоинам на точных поверхностях, изогнутости длинных деталей и др. Такие повреждения увеличивают расход запасных частей на 15 % и объем восстановительных работ – на 20 %.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое влияние оказывают загрязнения на послеремонтную наработку агрегатов? 2. Как организуют очистные и разборочные процессы во времени? 3. Какое значение имеет изучение загрязнений? 4. Приведите виды загрязнений на поверхностях деталей. 5. Какие способы применяют для очистки деталей? 6. Какие очистные среды применяют для очистки деталей от прочных загрязнений (нагара и накипи)? 7. Приведите параметры, которыми определяют режим очистки? 8. Можно ли контролировать чистоту поверхностей деталей? 9. Какие применяют средства для технологического перемещения разбираемых машин, разборки резьбовых и прессовых соединений? 10. Какие меры обеспечивают сохранность деталей при разборке агрегатов?

2.3. Сортировка деталей ремонтного фонда

Очищенные детали ремонтного фонда сортируют. Для этого измеряют значения ряда установленных параметров и по результатам измерений относят детали к одной из трех групп: годным для дальнейшего применения, подлежащим восстановлению (исходным заготовкам) или утильным. Из исходных заготовок с определенными сочетаниями повреждений образуют партии, которые затем направляют по отдельным маршрутам восстановления. Указанные работы выполняют на сортировочном участке.

2.3.1. Повреждения деталей

Повреждения деталей – это недопустимые, приобретенные в эксплуатации, отклонения значений свойств их материала и геометрических параметров от тех значений, которые установлены для изготовления или восстановления деталей.

В зависимости от природы возникновения повреждения деталей бывают в виде *износов, усталостных изменений, деформаций, изломов, трещин, пробоин, коррозии и старения материала.*

Повреждения по месту возникновения подразделяют на *наружные и внутренние.* Наружные повреждения определяют осмотром или измерениями, а внутренние – проникающими способами.

Повреждения описывают отклонениями размеров, формы и взаимного расположения элементов от нормативных значений, размерами трещин и пробоин, расходом пробного вещества (воды, воздуха) сквозь течи, механическими характеристиками.

2.3.2. Способы и средства определения повреждений

Операции по определению повреждений деталей следующие: простукивание и осмотр; измерение линейных и угловых размеров; измерение параметров формы и расположения поверхностей; обнаружение поверхностных трещин; определение течей; измерение специальных характеристик.

Простукивание с прослушиванием применяют для определения “ослабленных” посадок бандажей, штифтов, заклепок и др., а также контроля резьбовых соединений с натягом. Соединения с малым натягом издадут после удара более высокий звук. Резьбы с натягом разбирают только при необходимости.

Обломы, разрушенные резьбы и большие наружные трещины выявляют *осмотром.* Применяют лупы складные (ЛП-1, ЛАЗ, ЛПК-471) и штативные (ЛШ, ЛПШ-25, ЛПШ-462), микроскопы отсчетные (МИР-1М, МИР-2) и биноккулярные БМИ.

Простукивание соединений и осмотр деталей относятся к субъективным органолептическим способам, использующим слух и зрение человека, остальные способы являются объективными инструментальными.

Линейные размеры элементов деталей измеряют универсальными и специальными средствами. К универсальным средствам измерений относят штангенциркули (ГОСТ 166-89), штангензубомеры, штангенглубиномеры (ГОСТ 162-90), гладкие микрометры (ГОСТ 6507-90), индикаторные нутромеры (ГОСТ 868-82 и 9244-75) и скобы (ГОСТ 11098-75). Для повышения производительности измерений широко применяют специальные средства – непроходные неполные предельные калибры, рабочие размеры которых определены ГОСТ 2015-84.

Диаметры внутренних и наружных цилиндрических поверхностей измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях или в плоскости наибольшего износа. Ответственные резьбовые шейки измеряют резьбовыми калибрами.

Угловые размеры измеряют тригонометрическими устройствами или угломерами с нониусами (ГОСТ 5378-66).

Если деталь признают годной по линейным и угловым размерам, то проверку продолжают для выявления годности по параметрам формы и расположения поверхностей.

Отклонение от *круглости* измеряют кругломерами, от *плоскостности* – с помощью линейек, щупов или оптико-механических приборов.

Отклонения от *взаимного расположения поверхностей* измеряют с помощью специальных средств, оснащенных рычажно-зубчатыми головками (ГОСТ 577-68). Например, в блоке цилиндров в сборе с картером сцепления двигателя внутреннего сгорания измеряют соосность коренных опор между собой и с отверстием под коробку передач в картере сцепления, биение торца картера сцепления относительно оси коренных опор, параллельность торцов первой коренной опоры между собой и перпендикулярность их к оси коренных опор, совпадение и перпендикулярность осей цилиндров и коренных опор, расстояния между осями цилиндров, параллельность осей коренных опор и отверстий под распределительный вал и расстояние между ними, расстояние между осями коренных опор и отверстия под стартер. Большую часть таких средств создают в собственном вспомогательном производстве.

Зрительно неразличимые поверхностные усталостные трещины в деталях ремонтного фонда определяют с помощью магнитных, капиллярных или звуковых способов. Перспективно применение рентгено- и гамма-дефектоскопии.

Сущность *магнитного* способа заключается в том, что магнитный поток, встречая на своем пути повреждение с бóльшим магнитным сопротивлением, чем сопротивление ферромагнитного материала, огибает его. Часть магнитного потока выходит за пределы детали, образуя поток рассеяния. Определение последнего составляет содержание способа.

Магнитные способы применяют для контроля деталей из ферромагнитных материалов. Эти способы просты и надежны, поэтому получили широкое распространение.

Для определения магнитного потока рассеяния применяют магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и другие способы. Наибольшее распространение получил первый способ.

Магнитопорошковый способ включает: намагничивание заготовки, нанесение на проверяемую поверхность магнитного порошка или его взвеси, обнаружение повреждения, очистку и размагничивание заготовки.

Железные порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа $Fe(CO)_5$ или диспергированием железа электрической дугой в керосине, а порошок ферромагнитного оксида железа – окислением магнетита. Наибольшее распространение получили черный или темно-коричневый магнитные порошки, представляющие собой измельченный оксид-закись железа Fe_3O_4 , и буро-красный порошок – оксид железа Fe_2O_3 . Для деталей с темной поверхностью используют светлые порошки (с добавлением алюминиевой пудры) или люминесцирующие порошки, содержащие люмино-

фор-люмоген светло-желтого цвета. Частицы порошка имеют размеры 0,1...60 мкм. Магнитные пасты, предназначенные для получения взвесей в жидкости, содержат различные смачивающие, антикоррозийные и другие добавки. В качестве жидкости применяют смесь керосина и трансформаторного масла в равных количествах. В 1 кг жидкости содержится 30...50 г магнитного порошка.

Скопления порошка над трещинами намагниченных заготовок выявляют форму и размеры этих трещин.

Повреждения обнаруживают при направлении магнитного потока перпендикулярно трещине. Простые заготовки намагничивают в одном направлении, а сложные – в нескольких. Применяют три способа намагничивания: циркуляционное, полюсное и комбинированное.

Циркуляционное (поперечное) намагничивание производят пропусканием тока под напряжением ~ 12 В через проверяемую заготовку (рис. 2.17, а) или через проводник, помещенный в ее отверстие. В этом случае хорошо обнаруживаются продольные трещины.

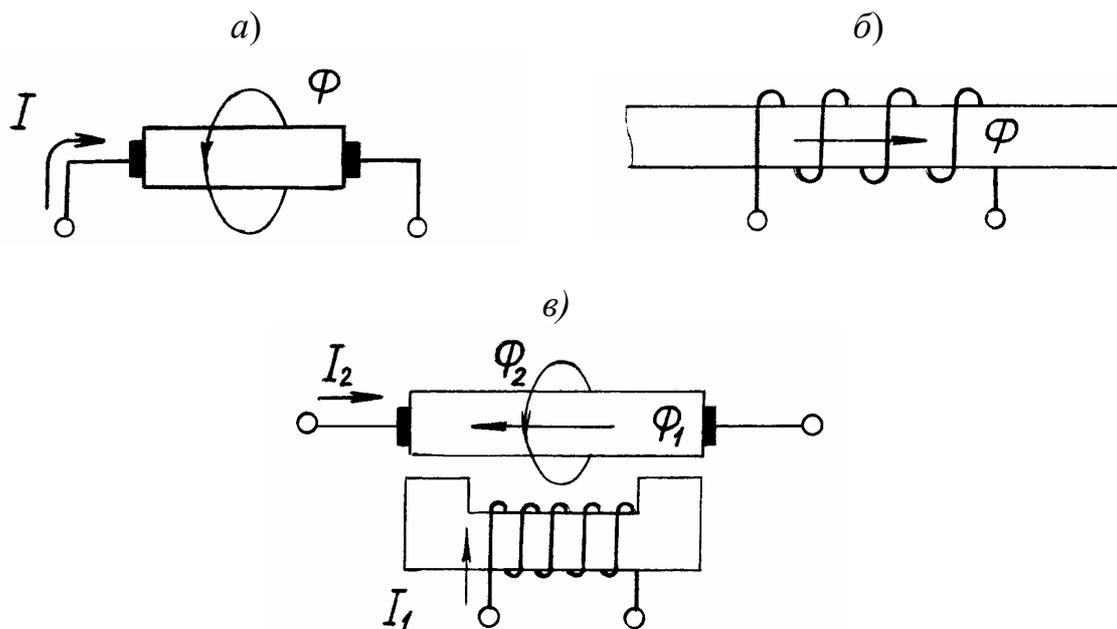


Рис. 2.17. Схемы намагничивания деталей: а – циркуляционного; б – полюсного; в – комбинированного; обозначения: I, I_1, I_2 – токи; Φ, Φ_1, Φ_2 – магнитные потоки

Полюсное (продольное) намагничивание ведут с помощью электромагнитов или соленоидов (рис. 2.17, б), при этом заготовку намагничивают вдоль своего наибольшего размера и на ней обнаруживают трещины, расположенные под углом 65...90 ° к продольной оси заготовки.

Величина тока, пропускаемого через обмотку соленоида при полюсном намагничивании, равна

$$I = \frac{H \sqrt{D_c^2 + l^2}}{1,256n}, \text{ А}, \quad (2.4)$$

где H – необходимая напряженность магнитного поля, А/м; D_c – средний диаметр соленоида, м; l – длина соленоида, м; n – число витков соленоида.

Комбинированное намагничивание (рис. 2.17, в) состоит в одновременном намагничивании заготовки двумя или несколькими магнитными полями разного направления для обнаружения трещин любого направления.

Для обнаружения трещин применяют как постоянный, так и переменный ток. Постоянный ток используют только для выявления поврежденных. Магнитное поле, создаваемое им, однородно и достаточно глубоко проникает в заготовку. Переменный ток служит для выявления трещин и размагничивания заготовок.

Напряженность магнитного поля в приложенном магнитном поле на поверхности заготовки должна иметь значения 1590...3980 А/м, а при использовании остаточной намагниченности – 7960...15920 А/м.

В приложенном магнитном поле определяют повреждения деталей из магнитомягких материалов (Ст. 2, Ст. 3, от стали 10 до стали 40), а в поле остаточной намагниченности – детали, изготовленные из магнито жестких материалов (легированных и высокоуглеродистых сталей).

Величину тока I для определения трещин в приложенном поле при циркуляционном намагничивании определяют по формуле

$$I = (6...8) d, \text{ А}, \quad (2.5)$$

а в поле остаточной намагниченности

$$I = (17...20) d, \text{ А}, \quad (2.6)$$

где d – диаметр заготовки, мм.

В ремонтном производстве применяют переносные и передвижные магнитные дефектоскопы ПМД-68, ПМД-70, ПМД-77, ПМД-3М, М-217 и др.

Магнитографический способ заключается в намагничивании заготовки и записи магнитного потока рассеяния на магнитную ленту, которой покрывают заготовку, и последующей расшифровке полученной информации.

Для обнаружения повреждений *феррозондовым* способом применяют соответствующие преобразователи.

Заготовки из магнито жестких материалов должны быть размагничены в переменном магнитном поле с амплитудой, равномерно уменьшающейся от максимального значения до нуля. Чем больше магнитная проницаемость материала и поперечные размеры заготовки, тем меньше частота магнитного поля. Заготовки с отношением длины к ширине, равным более пяти, размагничивают перемещением их через открытый соленоид. Короткие заготовки с большим поперечным сечением размагничиваются плохо. Поэтому их предварительно собирают в пакет и располагают вдоль оси соленоида. Степень размагниченности проверяют путем осыпания заготовки стальными опилками, на поверхностях размагниченных заготовок опилки

не удерживаются. Для контроля размагниченности применяют феррозондовый полюсоискатель ФП-1 или прибор контроля размагниченности ПКР-1.

Капиллярный способ является основным при работе с заготовками из цветных материалов, а также дополнительным к магнитопорошковому способу. С его помощью также определяют шлифовальные и термические трещины, волосовины, поры и другие дефекты при операционном контроле.

Содержание способа заключается в следующем. На очищенную поверхность с трещинами наносят проникающую жидкость (пенетрант) путем погружения заготовки в ванну с этой жидкостью на 10...15 мин или нанесением ее с помощью пульверизатора или мягкой кисти. Дают выдержку для проникновения жидкости в полости повреждений (пенетрант обладает низким поверхностным натяжением). Затем заготовки очищают раствором ТМС и просушивают подогретым сжатым воздухом, что способствует выходу проникающей жидкости на поверхность заготовки и растеканию ее по краям трещины. Проникающую жидкость дополнительно извлекают из трещины на поверхность заготовки сорбционным или диффузионным способом. В первом случае на поверхность заготовки наносят сухой порошок силикагеля, каолина или мела (сухой способ) или суспензию порошка в воде или в органических растворителях (мокрый способ). Во втором случае наносят покрытие, в которое диффундирует проникающая жидкость из области повреждения. Этот способ обладает большей чувствительностью, чем сорбционный, его применяют для обнаружения мелких трещин. Чем глубже трещина, тем более широкая полоска жидкости будет на поверхности заготовки. В конце операции заготовку протирают ветошью или промывают струей холодной воды под давлением 0,2 МПа с последующей сушкой.

Для лучшего выявления полоски проникающей жидкости над трещиной в ее состав вводят цвето- и (или) светоконтрастные вещества. Если в пенетрант вводят красители, видимые при дневном свете на фоне белого проявителя, то способ называют *капиллярно-цветным*, а если вводят вещества, способные флуоресцировать в ультрафиолетовых лучах, то способ называют *капиллярно-люминесцентным*.

В качестве пенетранта при капиллярно-цветном способе служат составы:

- керосин 800 – мл, норил-А 200 – мл, судан красный 5С – 10 г/л;
- спирт – 90 %, эмульгатор ОП-7 – 10 % и родамин С – 30 г/л;
- керосин – 65 %, трансформаторное масло – 30 %, скипидар – 5 % и судан красный 5С – 5 г/л.

Составы пенетранта для капиллярно-люминесцентного способа следующие:

- керосин – 50 %, бензин – 25 %, трансформаторное масло – 25 %, краситель-дефектоль зелено-золотистый – 0,25 г/л;
- керосин – 75 %, бензол – 10 %, трансформаторное масло – 15 %, краситель-дефектоль зелено-золотистый – 0,25 г/л и эмульгатор ОП-7 – 2...3 г/л.

Люминесцентный контроль ведут с помощью дефектоскопов марок ЛЮМ-1, ЛЮМ-2, ЛДА-3 или ЛД-4. Пенетрант освещают ультрафиолетовыми лучами с помощью ртутно-кварцевых ламп ПРК-2, ПРК-4 или ПРК-7, свет от которых проходит через специальные светофильтры типа УРС-3, УРС-6 и др. Под действием облучения пенетрант ярко светится желто-зеленым цветом.

В конце операции заготовку протирают ветошью или промывают струей холодной воды под давлением 0,2 МПа с последующей сушкой.

Освещенность рабочего места лампами накаливания должна быть не менее 500 лк для выявления цвета судана, а при использовании ультрафиолетового излучения длиной волны 315...400 нм – не менее 50 лк.

Поверхностные трещины на заготовках несложной формы определяют с помощью *ультразвуковых дефектоскопов*, использующих звуковые волны частотой 0,5...15 МГц. Наибольшее применение нашли устройства, работающие по принципу излучения и приема бегущих и стоячих акустических волн (рис. 2.18).



Рис. 2.18. Классификация акустических способов определения трещин

Устройства, в которых применяют бегущие волны, делят на три группы: использующие прохождение, отражение волн и импедансные.

Способы *прохождения* волн подразделяют на теневой и временной. *Теневой* способ учитывает уменьшение амплитуды волны, прошедшей сквозь повреждение (рис. 2.19). *Временной* способ основан на запаздывании импульса, вызванного огибанием повреждения волнами.

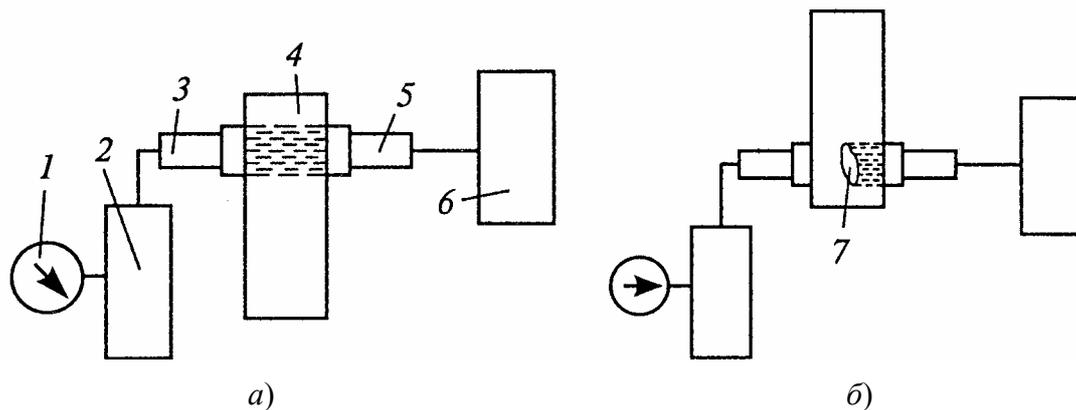


Рис. 2.19. Схемы акустического теневого способа определения повреждений:
 а – повреждения нет; б – повреждение есть

Способ *отражения* волн (эхоспособ) основан на сопоставлении времени перемещения отраженных волн от повреждения и противоположной поверхности изделия (рис. 2.20). Эхоспособ применяют в том случае, когда доступ к поверхности заготовки возможен с одной стороны.

Импедансный способ основан на анализе изменения механического импеданса поврежденного участка поверхности контролируемого объекта, с которым взаимодействует преобразователь. Об изменении импеданса судят по характеристикам колебаний преобразователя: частоте, амплитуде или фазе.

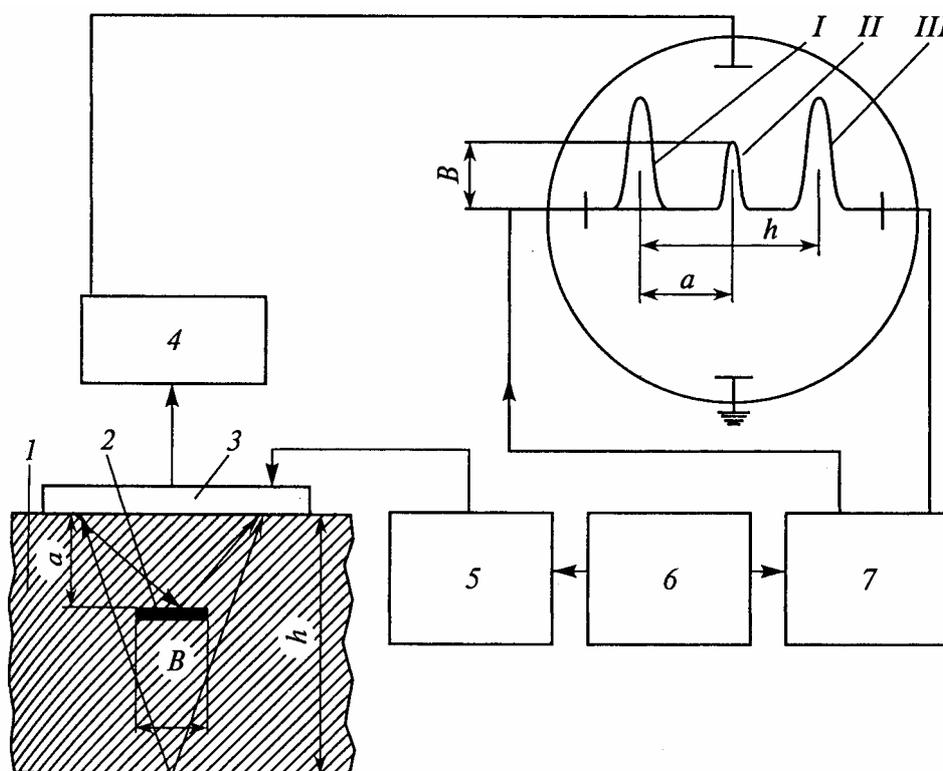


Рис. 2.20. Схема определения повреждения эхоспособом: 1 – заготовка; 2 – повреждение; 3 – преобразователь; 4 – усилитель; 5 – генератор; 6 – синхронизатор; 7 – блок развертки; I, II и III – импульсы (соответственно, зондирующий, от повреждения и донный); B – размер повреждения; h – толщина заготовки, a – глубина расположения повреждения

Способы, основанные на использовании стоячих волн, делятся на сравнительный, резонансный и свободных колебаний.

Сравнительный ультразвуковой способ основан на сопоставлении реальной ультразвуковой характеристики изделия с эталонной. В заготовке с помощью преобразователя возбуждают вибрации в ультразвуковом диапазоне. По мере диссипирования акустической энергии изменяется частота колебаний заготовки. Полученные приемным преобразователем вибрационные сигналы поступают в прибор и после усиления и фильтрации анализируются блоком обработки. Значения амплитуд и частот сигналов, а также некоторые спектральные характеристики (в первую очередь распределения частот) сравнивают с эталонными, хранящимися в блоке памяти прибора, и на основании этого сравнения делают вывод о годности заготовки к восстановлению. Эталонные значения вибрационных сигналов получают с заведомо годной для восстановления детали.

Наличие повреждений или изменение свойств материала при *резонансном* способе определяют по изменению резонансных частот по сравнению с такими частотами для годной детали.

Согласно способу *свободных колебаний* в части изделия ударом возбуждают механические колебания и анализируют спектр возбуждаемых частот. В изделиях с трещинами спектр, как правило, смещается в высокочастотную сторону.

Неразрушающий контроль внутренней структуры радиопрозрачных изделий, а также текстуры материалов ведут с помощью радиоинтроскопов, работающих в режиме сканирования. Информация о внутренней структуре материалов содержится в амплитуде, фазе и характере поляризации отраженной или прошедшей волны. Физико-механические свойства материалов (величина зерна, модуль упругости, твердость, текстура и др.) могут определяться акустическими средствами путем измерения скорости распространения и коэффициента затухания упругих волн, характеристического импеданса и др.

Внутренние полости некоторых деталей или соединения их стыков проверяют на *герметичность*. Это свойство определяет способность конструкции или материала препятствовать проникновению жидкости или газа (ГОСТ 24054-80) через стенки или стыки. В качестве пробного вещества применяют воду, керосин или воздух. Количественная характеристика герметичности выражается расходом газа или жидкости, протекающим через течь, или падением давления в полости от начального значения за единицу времени. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили газовые манометрические способы. С помощью их контролируют блоки, головки и гильзы цилиндров, впускные трубы и газопроводы, корпуса воздухоочистителей и другие изделия.

Герметичность стенок водяной рубашки головки цилиндров проверяют с помощью стенда КИ-12587 (рис. 2.21). Пробным веществом является сжатый воздух под давлением 0,4 МПа. Деталь при испытании помещают в воду. Расположение и размер течи определяют по выходу пузырьков воздуха.

Основные части стенда: ванна 1, заполненная водой, поворотная плита 2 для установки головки цилиндров (угол поворота плиты около 180°) и пневматические приводы.

Стенд работает следующим образом. Сжатый воздух подают в полость под поршнем пневмоцилиндра 7, шток которого вытягивается и поворачивает рычаг 6 по часовой стрелке, а плита 2 перемещается в верхнее положение. Проверяемую головку цилиндров устанавливают на плите, стык между ними уплотняют резиновой прокладкой. В полость водяной рубашки подают сжатый воздух. С помощью пневмоцилиндра 7 рычаг 6 поворачивается против часовой стрелки, а головка цилиндров оказывается в воде. Посредством пневмоцилиндра 5 и зубчатой пары «рейка – сектор» головка цилиндров проворачивается в поле зрения оператора для обнаружения места течи.

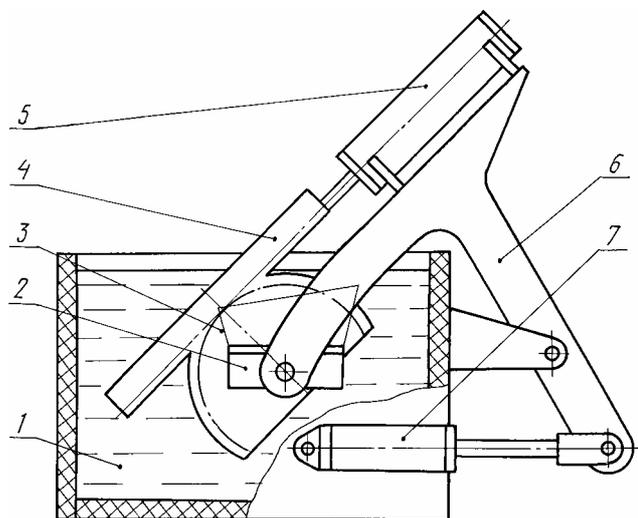


Рис. 2.21. Стенд для контроля герметичности головки цилиндров: 1 – ванна; 2 – плита; 3 – сектор зубчатый; 4 – рейка; 5 и 7 – пневмоцилиндры; 6 – рычаг

Производительную и объективную сортировку винтовых пружин по их жесткости обеспечивает стенд, представленный на рис. 2.22.

Корпус 1 стенда крепят на верстаке. Скалки 2 и 5 установлены со скольжением в соосных втулках, причем в верхнюю скалку 5 ввернут шток пневмокамеры 7, ход которого ограничен гайками 6. В нижней скалке 2 имеется паз, в который входит одним концом поворотный рычаг 3 (соотношение плеч 1:2), напрессованный на ось 4. На другом конце рычага установлена призма 12 с грузом 14, вес которого равен половине необходимого усилия сжатия контролируемой пружины. Нижняя часть рычага взаимодействует с упором 13, а верхняя – с регулировочным болтом 9 и конечным выключателем 10 с нормально разомкнутыми контактами (момент его срабатывания регулируют болтом 11). На корпусе стенда установлен световой индикатор 8 с лампочками зеленого и красного цвета.

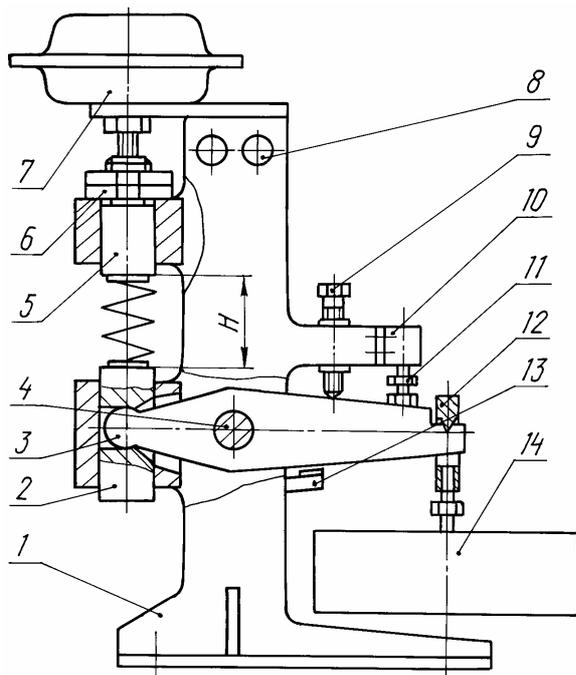


Рис. 2.22. Стенд для контроля жесткости пружин: 1 – корпус; 2, 5 – скалки; 3 – рычаг; 4 – ось; 6 – гайки регулировочные; 7 – пневмокамера; 8 – световой индикатор; 9 и 11 – болты регулировочные; 10 – конечный выключатель; 12 – призма; 13 – упор; 14 – груз

зависимости от размера этих повреждений (значений износов, длин трещин, площади пробоин и др.). В первую очередь находят повреждения, при наличии которых деталь выбраковывают.

При сортировке деталей назначают сплошной контроль, потому что они могут иметь критические повреждения.

Повреждение на детали помечают, а в соответствующем поле ведомости (рис. 2.23) ставят знак “+”. Отсутствие пометки означает годность элемента детали. При технологической подготовке производства определяют организацию учета деталей и способ пометки поврежденных элементов. Возможны такие решения:

1. Поврежденные места помечают краской. Содержание повреждения шифруют цветом краски и характером линий. Типовая технология ГосНИТИ рекомендует помечать детали такими цветами: зеленым – годные детали, желтым – детали, годные только для соединения с новыми или восстановленными до номинальных размеров деталями, белым – детали, подлежащие восстановлению на данном предприятии, синим – детали, подлежащие восстановлению на специализированном предприятии, красным – утиль;

2. Повреждения записывают на бланках установленной формы, а бланки приклеивают к деталям. Детали поступают на рабочие места их восстановления, где рабочие устраняют указанные повреждения. Контро-

Проверяемую пружину устанавливают на опорную поверхность скалки 2 при выключенной пневмокамере 7 и поднятой скалке 5. Включают пневмокамеру. При этом годная пружина передает на рычаг усилие, достаточное для подъема груза 14, с касанием рычагом болта 9 (загорается зеленая лампочка), в противном случае рычаг остается неподвижным (горит красная лампочка) и жесткость пружины должна быть восстановлена.

2.3.3. Организация сортировочных работ

При сортировке деталей применяют, как правило, качественный способ определения повреждений, т.е. устанавливают факт их наличия или отсутствия. Исключение составляет определение повреждений, способ устранения которых назначают в зависимости от размера этих повреждений (значений износов, длин трещин, площади пробоин и др.).

лер на своем посту в конце линии восстановления определяет полноту и качество работ;

3. На деталях выбивают порядковый номер. Повреждения каждой детали шифруют, сведения о них в виде ведомости повреждений вносят в память ПЭВМ. На каждом рабочем месте имеется монитор. Рабочий делает запрос и устраняет повреждения. Контролер определяет полноту и качество восстановления. Такая организация перспективна при необезличенном методе ремонта агрегатов.

Ведомость повреждений детали

(наименование детали, номер по каталогу)					
Номер детали порядковый	Повреждение: номер, наименование, наличие (+)				
	1	2	3	...	<i>n</i>
1					
2					
3					
...					
<i>m</i>					

Сортировщик _____ (Фамилия, и.о.) “__” _____ 200_г.
(подпись)

Рис. 2.23. Форма ведомости учета повреждений деталей

Последние два метода нанесения пометок относятся к указанию повреждений на крупных деталях. Мелкие детали перемещают партиями в нумерованном контейнере.

Учет состояния отдельных крупных деталей и партий мелких деталей служит основой прогноза трудоемкости и продолжительности восстановления этих деталей.

Оснащение рабочих мест сортировки необходимыми средствами и организация дополнительных слесарных работ по устранению несложных повреждений (забоин, погнутости и др.) приводит к значительному уменьшению затрат на ремонт агрегатов. Из деталей ремонтного фонда двигателей в качестве годных можно выбрать: 23 % поршней, 30 % шатунных и 10 % коренных вкладышей, 20 % накладок ведомых дисков сцеплений, 50 % распределительных валов, 40 % толкателей, 15 % поршневых колец и 40 % поршневых пальцев.

2.3.4. Группирование деталей по маршрутам их восстановления

Детали, требующие восстановления, имеют, как правило, устойчивые сочетания повреждений, которые определяются конструкцией деталей и условиями эксплуатации. Технологический процесс восстановления детали, построенный для устранения таких сочетаний повреждений, оказывается более эффективным, чем множество процессов, устраняющих отдельные повреждения.

Таким образом, *подефектную* технологию разрабатывают для устранения отдельных повреждений, а *маршрутную* – для устранения реально существующих сочетаний повреждений по установленным маршрутам.

Проф. К.Т.Кошкин впервые предложил и на 5-ом АРЗ г. Москвы внедрил маршрутную технологию восстановления деталей. При группировании деталей для организации маршрутной технологии их восстановления необходимо учитывать следующие принципы:

1. Сочетание повреждений в каждом маршруте должно быть объективно существующим. Сочетания повреждений устанавливаются исследованиями большого количества деталей;

2. Количество маршрутов восстановления деталей должно быть минимальным. Большое количество маршрутов затрудняет организацию, требует большой площади складов. Количество маршрутов может быть уменьшено путем объединения подобных сочетаний повреждений, отличающихся друг от друга незначительной трудоемкостью устранения, а также исключением маршрутов с редко встречающимися сочетаниями повреждений. Сокращать количество маршрутов можно объединением операций по устранению взаимосвязанных повреждений (восстановление соосных отверстий, ориентированных друг относительно друга плоскостей и др.);

3. Способ восстановления детали должен учитывать требования к точности взаимного расположения поверхностей. Например, в бобышке блока цилиндров под гильзу могут быть изношены поверхности рабочего торца и (или) отверстия. Если принят способ восстановления бобышки установкой дополнительной ремонтной детали, то в процесс восстановления включают устранение обоих повреждений независимо от того, имеется одно из них или оба одновременно;

4. Восстановление детали по каждому отдельному маршруту должно быть экономически целесообразным. В качестве критерия эффективности выступают затраты на восстановление, а сравнительной базой является цена новой детали.

В МАДИ разработана методика формирования маршрутов восстановления деталей и оптимизация их количества путем последовательного перебора и объединения сочетаний повреждений.

По мере образования необходимого количества деталей формируют их партии, которые направляют на соответствующий участок восстановления.

Вопросы для самоконтроля

1. Каково содержание понятия “сортировка деталей ремонтного фонда”? 2. Чем отличаются друг от друга термины “дефект” и “повреждение”? 3. Какие Вы знаете основные повреждения деталей? 4. Приведите органолептические и инструментальные способы определения повреждений. 5. Какие вы знаете способы определения трещин? 6. С какой целью и как группируют детали перед отправкой на участки их восстановления?

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ

Цель работы – приобрести практические навыки по определению технического состояния детали ремонтного фонда (коленчатого вала) и назначению маршрута восстановления.

Оборудование, средства измерений, документация: верстак; коленчатый вал двигателя УМЗ-451М; призмы для установки детали; скобы СР-50 и СР-75 (ГОСТ 11098-75); микрометр МК-125 (ГОСТ 6507-78); индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 868-63); нутромер 18 – 50 (ГОСТ 9244-75); резьбовой калибр М27-НЕ; калибр пластинчатый для контроля шпоночного паза под шестерню; магнитный дефектоскоп МЭД-50; технологическая карта.

Порядок выполнения работы.

- установить вал на призмы дефектоскопа, пропустить ток, нанести на шейки взвесь магнитного порошка и убедиться в отсутствии трещин на шейках и галтелях;
- установить вал крайними коренными шейками на призмы;
- измерить диаметры всех шеек и фланца;
- измерить диаметр отверстия под подшипник;
- проверить годность резьбы под храповик;
- определить годность шпоночного паза под шестерню по ширине;
- измерить биение средней коренной шейки вала относительно крайних;
- принять решение о годности вала или о назначении маршрута восстановления.

Содержание отчета: название и цель работы; наименование и операционный эскиз детали с выделением контролируемых параметров; описание применяемого оборудования и средств измерений; значения измеряемых величин; результаты сравнения полученных значений с данными технологической карты; обоснование принятых решений.

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Современные способы диагностирования агрегатов и машин.
2. Качество очистки деталей и меры по ее совершенствованию.
3. Современные очистные технологические среды.
4. Анализ и направления совершенствования очистного оборудования.
5. Пути снижения трудоемкости разборочных работ.
6. Обеспечение сохранности деталей при разборке агрегатов.
7. Классификация и анализ повреждений деталей, поступающих на восстановление.
8. Оценка запаса усталостной прочности деталей.
9. Развитие капиллярных способов контроля деталей.
10. Современные способы определения технического состояния деталей.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- технологические процессы приемки машин в ремонт, их диагностирования, разборки и очистки, определения технического состояния деталей и их сортировки;
- классификацию диагностических средств и содержание диагностических операций;
- виды и свойства загрязнений;
- взаимодействие разборочных и очистных процессов;
- систему разборочного и очистного оборудования;
- технологические очистные среды;
- ресурсосберегающие мероприятия;
- повреждения деталей ремонтного фонда и причины достижения ими предельного состояния;
- способы и средства определения повреждений деталей;
- принципы маршрутной технологии восстановления деталей.

Студент должен уметь:

- назначать виды и содержание операций по диагностированию агрегатов и машин;
- разрабатывать технологические маршруты разборки и очистки машин и агрегатов;
- выбирать оборудование для разборки и очистки изделий;
- выбирать технологические среды для очистки ремонтируемых объектов;
- выбирать средства для определения повреждений деталей;
- определять сочетания повреждений для организации маршрутной технологии восстановления деталей;
- намечать меры по сохранности деталей при разборке агрегатов.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

В результате опроса студентов выявляется уровень знаний начальных технологических процессов ремонта машин: приемки машин в ремонт, их предремонтного диагностирования, разборки и очистки и сортировки деталей на годные, подлежащие восстановлению и негодные.

Высокой оценки заслуживают те студенты, которые знают приведенные выше процессы, соответствующее оборудование и организацию, уверенно отвечают на вопросы, поставленные в конце изучаемых тем.

3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

3.1. Содержание процесса восстановления детали

3.1.1. Определение восстановления и упрочнения детали

Восстановить (согласно толковому словарю русского языка В.И. Даля) – значит привести в первобытное состояние, возобновить, возновить, обновить.

Восстановление деталей – это технологический процесс возобновления их исправного состояния и ресурса путем возвращения утраченной части материала из-за изнашивания и (или) доведения до нормативных значений свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации.

Детали в результате восстановления переходят в исправное состояние из любого другого.

Восстановленные детали в течение последующей эксплуатации достигают предельного состояния, как правило, в различные моменты времени. Предельное состояние агрегата и необходимость его ремонта обуславливают небольшое число недолговечных деталей. Преждевременные отказы деталей возникают из-за конструктивных или технологических дефектов, которые выявляют во время заводских испытаний и эксплуатации отремонтированных агрегатов. Детали, которые отказывают раньше других и определяют послеремонтную наработку агрегата, подлежат упрочнению.

Упрочнение деталей, лимитирующих наработку отремонтированных агрегатов, – это повышение сопротивляемости элементов этих деталей разрушению, остаточной деформации или изнашиванию.

Операции упрочнения деталей входят составной частью в процессы их восстановления. Детали упрочняют нанесением износостойких покрытий, термической обработкой, пластическим деформированием материала или комбинацией этих способов.

3.1.2. Структура процесса восстановления детали

Деталь ремонтируемого агрегата во время своего превращения в исправную последовательно пребывает в таких состояниях (рис. 3.1): детали ремонтного фонда, исходной и ремонтной заготовок и восстановленной детали. Такое превращение связано с изменением геометрических параметров, химического состава поверхностных слоев, их структуры (в т.ч. дислокационной) и внутренних напряжений. Деталь приобретает совокупность необходимых свойств (см. табл. 1.1) в результате выполнения технологического процесса.

Исходная заготовка – это очищенная деталь ремонтного фонда с устранимыми повреждениями.

Исходная заготовка в общем случае превращается в *ремонтную* заготовку путем создания припусков на восстанавливаемых поверхностях, а ремонтная заготовка – в восстановленную деталь (в результате термической и механической обработки).



Рис. 3.1. Схема технологического процесса восстановления деталей

Чистоту поверхностей деталей восстанавливают путем их очистки от эксплуатационных и технологических загрязнений.

Исходные заготовки выбирают из деталей ремонтного фонда при определении их технического состояния. Эти заготовки делят на группы с одинаковыми сочетаниями устраняемых повреждений и в виде партий направляют на соответствующие участки восстановления.

Предварительная обработка заготовок резанием придает восстанавливаемым элементам правильную геометрическую форму перед нанесением покрытий или установкой дополнительных ремонтных деталей (ДРД).

Ремонтное производство располагает хорошо изученным множеством способов создания припусков на обработку резанием восстанавливаемых поверхностей. Некоторые детали (валы, гильзы, поршни и др.) допускают восстановление их шеек, отверстий и плоскостных элементов обработкой под ремонтные размеры. В таком случае ремонтные заготовки получают из исходных заготовок без нанесения покрытий или перемещения материала.

Если ремонтные размеры детали не предусмотрены или они исчерпаны, то ремонтную заготовку создают нанесением восстановительного покрытия или установкой и закреплением ДРД, или перемещением материала заготовки. Затем следует размерная и структурная стабилизация элементов детали путем отжига.

Износостойкость трущихся поверхностей определяется составом восстановительных покрытий, термической обработкой, обработкой резанием и поверхностным пластическим деформированием.

Прочность детали восстанавливают путем придание ее сечениям первоначальных размеров или установкой и закреплением ДРД. Сплошность и герметичность стенок деталей восстанавливают сваркой, установкой и закреплением ДРД и пропиткой герметизирующими составами.

Взаимное расположение, форму, размеры и шероховатость рабочих поверхностей восстанавливают обработкой резанием этих поверхностей в большинстве случаев после нанесения восстановительных покрытий.

При черновой обработке снимают основную часть операционного припуска. Если условно разделить эту операцию на две части, то в первой ее части обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а во второй – форму ее геометрических элементов. Точность взаимного расположения поверхностей обеспечивают выбором технологических баз и ориентированием детали относительно движущегося инструмента, а точность формы – жесткостью и точностью оборудования, выбором инструмента и режимов обработки. Взаимное расположение поверхностей заготовки может быть восстановлено и пластическим деформированием ее материала путем правки.

В результате чистовой обработки достигают заданную точность размеров. Назначение отделочных операций заключается в снятии разупроченного слоя в результате предыдущей механической обработки и обеспечении требуемой шероховатости поверхностей.

Коррозионную стойкость детали восстанавливают нанесением защитных покрытий (металлических, лакокрасочных или композиционных на полимерной основе).

Усталостную прочность элементов, воспринимающих циклическую нагрузку, и жесткость детали восстанавливают, соответственно, поверхностным и объемным пластическим деформированием материала. Назначение поверхностного пластического деформирования – закрыть микротрещины и создать наклепанный слой с внутренними напряжениями сжатия. Объемное пластическое деформирование создает наклеп в рабочем объеме детали.

Необходимое значение массы детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции достигают установкой уравнивающих грузов необходимой массы в определенных местах детали или соответствующим удалением части ее материала.

На обработанных деталях находятся технологические загрязнения (стружка, зерна абразивного инструмента, остатки СОЖ, полировальные пасты и др.), которые способны в течение нескольких минут работы вызвать отказ системы смазки отремонтированного агрегата или агрегата в целом. Детали, направляемые на сборку, должны быть очищены от этих загрязнений. Особое внимание уделяют очистке масляных каналов и внутренних полостей.

Операция контроля, оснащенная средствами для измерения геометрических параметров, физико-геометрических свойств и других характеристик, заключается в установлении соответствия параметров восстановленной детали требованиям технической документации (чертежа или карты технического контроля). По ее результатам принимают решение о годности детали.

Консервационную защиту деталей до 3...5 дней обеспечивают технические моющие средства, применяемые для очистки деталей от технологических загрязнений. Для более длительного хранения (это относится к деталям, предназначенным для продажи) необходима специальная консервация маслами, промасленной бумагой, парафиносодержащими и другими материалами.

Таким образом, основное содержание процесса восстановления детали составляют операции создания припуска на ее поверхностях, термической и механической обработки.

Технологические операции указанных типов выполняют на любом ремонтном предприятии, однако число освоенных видов каждой операции зависит от мощности и технического уровня отдельного завода.

3.1.3. Понятие о технологической наследственности

Считалось, что качество поверхностей деталей обеспечивают на последней операции. Однако объективно предположить, что свойства детали формируются в течение всего процесса ее восстановления. Но одни из них передаются от операции к операции, а другие не передаются. Это относится как к положительным, так и к отрицательным свойствам восстанавливаемых деталей.

Технологическая наследственность – это сохранение свойств восстанавливаемой детали при переходе от операции к операции.

Очередность технологических операций в процессе восстановления детали подчинена накоплению необходимых ее свойств под влиянием вложенных материалов и энергии в заготовку. Операции, которые формируют наследуемые свойства, выполняют раньше. Например, взаимное расположение поверхностей и их форма наследуются хорошо, поэтому соответствующие операции механической обработки выполняют первыми. Операции, отвечающие за шероховатость поверхности, которая наследуется плохо, выполняют в конце процесса.

Если технологическая операция порождает среди прочих свойств и отрицательные, то после нее выполняют операцию, которая служит технологическим “барьером” для отрицательных свойств. Например, наплавка приводит к росту зерна и увеличению внутренних напряжений материала. Поэтому после нее выполняют отжиг или нормализацию, которые служат технологическим “барьером” для указанных нежелательных свойств.

Однотипные операции (нанесение покрытий, термическую и механическую обработку и др.) при восстановлении различных элементов детали объединяют и выполняют вместе.

3.2. Ремонтные заготовки

Ремонтная заготовка – это восстанавливаемая деталь с припусками на ее поверхностях. Эти припуски необходимы для ее обработки резанием с целью обеспечения необходимых значений физико-механических свойств и геометрических параметров – взаимного расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей.

3.2.1. Классификация способов создания ремонтных заготовок

Припуски на механическую обработку заготовок получают одним из трех способов:

- использованием материала поверхности восстанавливаемого элемента самой детали для его обработки под ремонтный размер;
- перемещением материала детали из ее неизнашиваемого объема в зону будущей обработки путем пластического деформирования;
- нанесением покрытия. Этот способ получил наибольшее распространение.

Два последних способа позволяют восстанавливать элементы деталей до номинальных размеров.

Покрытие – это материал, нанесенный на восстанавливаемую поверхность детали и имеющий с ней механическую или химическую связь.

Толщина покрытия состоит из двух составляющих. Первая соответствует расстоянию от окончательно обработанной поверхности до поверхности, на которую наносят покрытие. Вторая составляющая – это припуск на обработку. Толщину Z покрытия рассчитывают по дополненной формуле В.И. Кована

$$Z = \left[\frac{d_n - d_{uz}}{2} (\text{вал}) \text{ или } \frac{D_{uz} - D_n}{2} (\text{отв}) \right] + \sum_1^n (Rz_i + T_i + \sqrt{\delta_{ni}^2 + \delta_{\delta i}^2 + \delta_{zi}^2 + \delta_{\phi i}^2 + \delta_{npi}^2}), \text{ мм}, \quad (3.1)$$

где d_n и D_n – номинальные размеры элементов, мм; d_{uz} и D_{uz} – размеры изношенных элементов, мм; $i = 1..n$ – операции обработки резанием; Rz_i – высота неровностей слоя перед обработкой на i -той операции, мм; T_i – глубина поврежденного слоя, мм; δ_{ni} – пространственные отклонения поверхности, мм; $\delta_{\delta i}$, δ_{zi} и $\delta_{\phi i}$ – соответственно, погрешности базирования, закрепления и формы детали, мм; δ_{npi} – погрешность приспособления, мм.

Слой – это часть покрытия или основного металла детали, характеризующаяся постоянством химического, структурного или фазового состава.

Пример слоя основного материала восстанавливаемой детали – зона термического влияния после сварки или наплавки.

Изменение химического и фазового состава, твердости и других свойств по толщине покрытия и вглубь материала детали должно происходить не скачкообразно, а плавно по установленному закону. Наружный слой покрытия, участвующий в трении, обеспечивает необходимую износостойкость восстановленного элемента, следующий слой повышает прочность детали, в том числе циклическую, а смежные слои покрытия и основы обеспечивают прочное соединение покрытия с материалом детали.

Предложена новая структура покрытия: металл – оксид – карбид. В этой композиции поверхностный карбидный слой толщиной 5...15 мкм, участвующий в трении, снижает коэффициент трения и износ соединения, оксидный слой толщиной до 300 мкм воспринимает контактные нагрузки, а металл покрытия воспринимает всю нагрузку, приложенную к элементу детали, и передает ее основному металлу.

Необходимый градиент значений свойств по толщине покрытия обеспечивается нанесением слоев покрытия из различных материалов или изменением режимов нанесения покрытия из одного материала.

При создании ремонтной заготовки в основном формируют химический состав и структуру материала рабочих поверхностей детали путем вы-

бора материала покрытия и условий его нанесения, что в значительной мере определяет послеремонтную надежность детали. В дальнейшем структура материала и необходимая совокупность свойств восстанавливаемых поверхностей будут улучшены термической и механической обработкой.

Нанесение покрытий исключает применение дорогих и дефицитных материалов (стали ШХ15, 38ХС, 38ХГН и др.) при изготовлении деталей и допускает применение для этих целей конструкционных сталей (сталь 40 и др.). В условиях абразивного изнашивания срок службы деталей с покрытиями превышает в 2,0...2,5 раза этот показатель деталей с закаленными поверхностями.

В основу классификации способов создания ремонтных заготовок положены признаки получения припусков на восстанавливаемых поверхностях деталей, а также виды потребляемой энергии. Процесс создания ремонтных заготовок с покрытием будет определен, если указаны:

- источник материала (внешний – материал поступает из окружающей среды, внутренний – сама исходная заготовка, без использования материала);
- степень дробления материала (ионы, молекулы, частицы, капли, вся масса покрытия);
- время дробления материала в процессе нанесения покрытия (перед нанесением, при нанесении);
- вид среды переноса материала (жидкий раствор, сжатый воздух, продукты горения газов, плазма, вакуум);
- состояние наносимого материала (твердое, жидкое, парообразное);
- состояние материала поверхности заготовки (твердое, жидкое);
- способ защиты материала и восстанавливаемой поверхности от вредного влияния окружающей среды (без защиты, с местной защитой, в камере с защитной средой, в вакууме);
- вид связи между покрытием и основой (химическая, механическая и др.);
- виды энергии, соответственно, на дробление, перемещение и закрепление материала (механическая, химическая, тепловая, электрическая, магнитная и др.).

В применяемых способах создания ремонтных заготовок используют различные сочетания приведенных признаков. Новые их сочетания определяют патентоохраняемые решения. Изобретения на эту тему включены в МПК В23 Р6/00.

Ремонтные заготовки получают без вложения или с вложением материалов в исходные заготовки (рис. 3.2). В первом случае элементы заготовки обрабатывают под ремонтные размеры и в качестве припусков используют изношенные слои материала заготовки или ее материал перемещают внутри объема заготовки для обработки под номинальные размеры. Во втором случае на восстанавливаемые элементы наносят покрытия и деталь в процессе восстановления приобретает номинальные размеры.

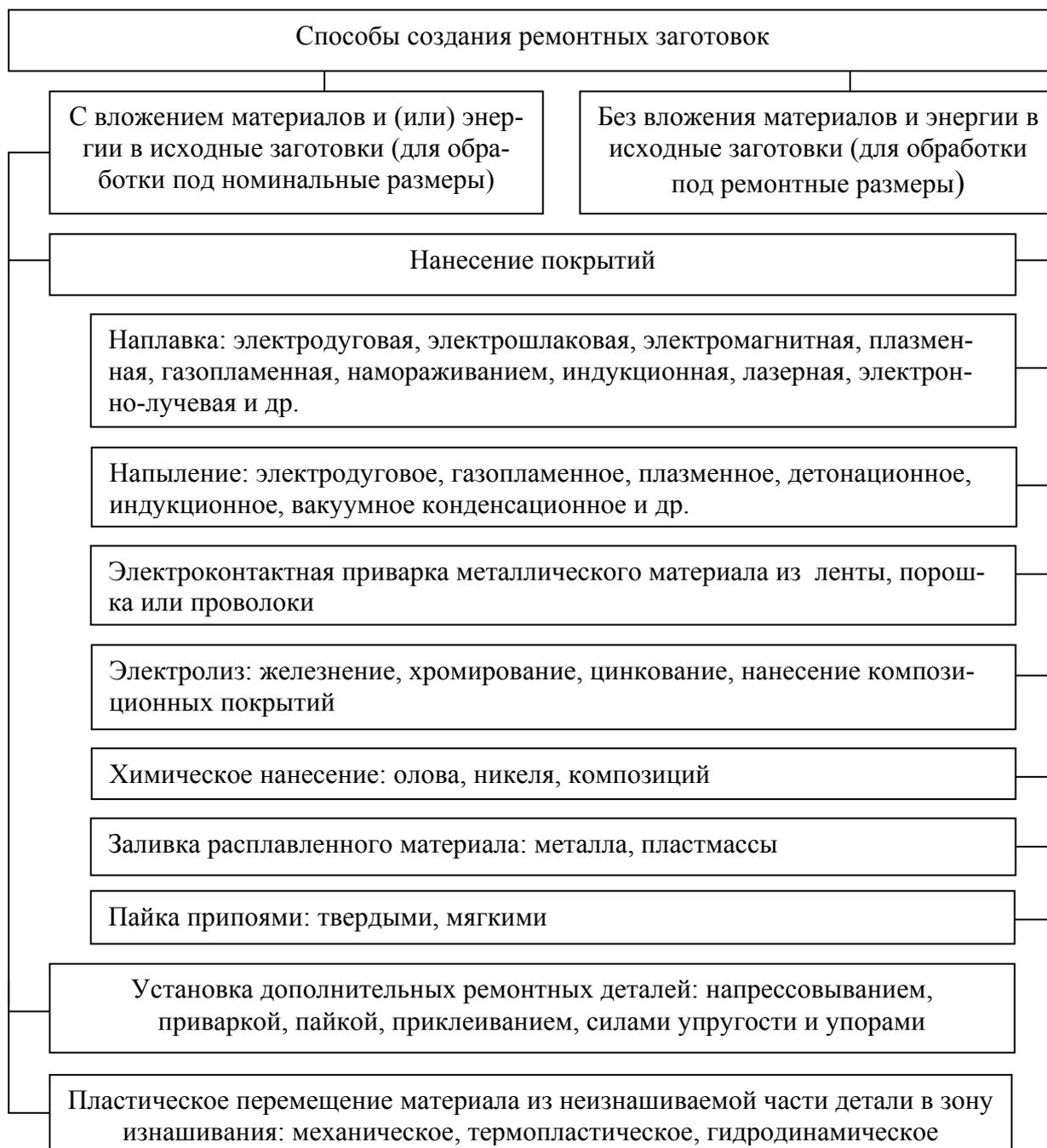


Рис. 3.2. Классификация способов создания ремонтных заготовок

Материал восстанавливаемого элемента детали такой же, как материал основы, в случае принудительного перемещения материала детали в зону изнашивания или при обработке изношенных поверхностей под ремонтные размеры (без нанесения покрытия). В других случаях материал восстанавливаемой поверхности, как правило, отличается от материала основы.

Способ получения соединений деталей с ремонтными размерами бывает основным при освоении ремонта агрегатов, когда ограничены или отсутствуют мощности по нанесению покрытий. Способ обеспечивает наименьшую

трудоемкость восстановления, правильную геометрическую форму восстанавливаемых элементов и возвращает соединению деталей первоначальный зазор. Однако его реализация сопряжена с большими затратами на приобретение одной из заменяемых деталей, а при эксплуатации возможно повышенное изнашивание деталей пары из-за снятия при обработке одной из них износостойкого слоя материала. Снижается также усталостная прочность валов.

Износ коренных шеек коленчатых валов увеличивается на 15...20 %, начиная с третьего ремонтного размера, а усталостная прочность снижается до 25 % при достижении последнего ремонтного размера. Распределительные валы с кулачками, у которых шлифованием снят слой толщиной 1 мм, снижают мощность двигателя на 20 % и на столько же увеличивают удельный расход топлива. Результат объясняется ухудшением наполнения цилиндров за счет уменьшения “времени-сечения” открытия клапанов. Приведенные примеры подчеркивают важность восстановления номинальных размеров деталей.

Покрывают наностройкой, напылением, приваркой, электролизом, химическим осаждением из растворов и другими способами.

Ведущее место в процессах создания ремонтных заготовок занимает наплавка, в свою очередь до 80 % ее объема приходится на механизированные виды. При наплавке применяют различные источники тепла для нагрева наносимых материалов и заготовки.

Получает развитие напыление материала. В зависимости от вида энергии, расходуемой на дробление, нагрев и перенос материала различают основные виды газотермического напыления: электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное.

Электроконтактной приваркой закрепляют на восстанавливаемых поверхностях ленту, проволоку и порошки с малыми затратами энергии, не причиняя вреда окружающей среде.

Электрохимические и химические покрытия наносят на детали с небольшими износами.

Для получения ремонтных заготовок в небольшом объеме применяют пайку, заливку металлов и пластмасс.

Процессы создания припусков с применением ДРД подразделяют в зависимости от способа закрепления ДРД и используемой при этом энергии.

Процессы перемещения материала заготовки пластическим деформированием подразделяются в зависимости от вида источника энергии и соотношения направлений сил и деформаций.

3.3. Источники тепла в процессах нанесения покрытий

3.3.1. Распределение источников тепла по удельной тепловой мощности

При создании ремонтных заготовок материал покрытий и поверхностей восстанавливаемых деталей в большинстве случаев нагревают (часто до плавления) различными источниками тепла.

Источник тепла – это преобразователь какой-либо энергии в тепловую.

Источники тепла подразделяются в зависимости от вида первичной энергии и способа ее преобразования. Например, в газовой и термитной сварке в тепловую энергию преобразуется химическая энергия исходных материалов, в электродуговой – электрическая энергия движущихся заряженных частиц, в электронно-лучевой – кинетическая энергия движущихся электронов, в кузнечной – химическая энергия топлива и потенциальная энергия давления среды, в сварке трением – механическая энергия движущихся тел.

Характеристика наиболее распространенных источников тепла представлена в табл. 3.1. *Тепловая мощность*, передаваемая нагреваемому телу и отнесенная к единице площади нагреваемого участка, определяет техническое совершенство теплового источника.

Таблица 3.1

Характеристика источников тепла

Источник	Удельная тепловая мощность, кВт/см ²	Область применения
Газовое пламя	0,1...3	Резка, сварка, наплавка, напыление, оплавление
Индукционный нагрев	0,1...10	Нагрев материала перед деформированием, закалка, наплавка
Процессы трения	1...30	Сварка
Электроконтактный нагрев	1...50	Сварка, приварка
Электрическая дуга	1...10 ⁴	Сварка, наплавка, напыление
Плазменная струя	10 ³ ...10 ⁴	Резка, сварка, наплавка, напыление
Искровой разряд	5·10 ³ ...8·10 ⁵	Разрушение материала, наплавка
Электронный луч	1...8·10 ⁵	Наплавка
Лазерное облучение: – непрерывное – импульсное	5...10 ⁶ 10 ⁴ ...10 ¹¹	Наплавка, закалка

3.3.2. Газовое пламя

Газовое пламя от сгорания горючих газов или паров в кислороде широко применяют для сварки стальных листовых деталей толщиной до 2,5 мм, деталей из серого чугуна и алюминиевых сплавов, для пайки чугуна, а также для наплавки порошков. В качестве топлива используют ацетилен, пропан-бутан, природный газ, пары керосина и бензина. В производство внедрен аналог ацетилена – газ МАФ (метилацетилен алленовой фракции).

Склонность к обратному удару газа МАФ незначительная. Газ перемещают как в баллонах, так и в автоцистернах. Область применения газа МАФ – сварка стальных листов малой толщины, сварка цветных металлов и резка листов. По сравнению с ацетиленом газ МАФ вдвое дешевле и оказывает намного меньшее отрицательное влияние на окружающую среду. Германия, Канада, США полностью отказались от использования ацетилена и применяют для сварочных работ газ МАФ.

В пламени различают три зоны: ядро, восстановительную зону и факел (рис. 3.3).

Ядро имеет резко очерченную бочкообразную форму с закругленным концом. Оболочка ядра ярко светится, так как состоит из раскаленных частиц углерода. Температура ядра около $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, длина его зависит от скорости истечения и расхода горючей смеси, а диаметр – от диаметра канала мундштука.

Восстановительная зона пламени имеет темный цвет. Она состоит из продуктов неполного сгорания горючего газа: оксида углерода и водорода. Эти вещества восстанавливают металл из оксидов. Если в процессе сварки расплавленный металл находится в восстановительной зоне, то он получается без пор и оксидных включений. Восстановительная зона обладает наиболее высокой температурой в точке, отстоящей на $3\dots 6\text{ мм}$ от ядра. Наибольшую температуру дает горение ацетилена в кислороде – $3150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура горения ($^{\circ}\text{C}$) газа МАФ в кислороде – 2930 , пропан-бутана – 2043 , природного газа – $1850\dots 2000$, метана – около 2000 , паров бензина – 2600 и керосина – 2450 .

Факел (оксидная зона) расположен за восстановительной зоной. Он состоит из диоксида углерода, паров воды и азота. Азот поступает из воздуха, а остальные составляющие образуются за счет взаимодействия оксида углерода и водорода с кислородом воздуха. Температура факела значительно ниже температуры восстановительной зоны и изменяется в пределах $1200\dots 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В зависимости от соотношения α фактического и теоретически необходимого расхода кислорода различают три вида пламени: восстановительное ($\alpha < 1$), нейтральное ($\alpha = 1,00\dots 1,25$) и окислительное ($\alpha > 1,25$). Для получения нейтрального пламени на единицу объема ацетилена требуется $2,5$ объема кислорода. В зону сварки из кислородного баллона подается $1,15$ требуемого объема, а остальной кислород поступает из воздуха.

Нейтральное пламя применяют для сварки деталей из алюминиевых сплавов, меди, бронзы и стали с содержанием углерода менее $0,5\%$.

Восстановительное пламя содержит свободный углерод, который переходит в расплавленный металл и науглероживает его. Такое пламя применяют при сварке чугуна, высокоуглероди-

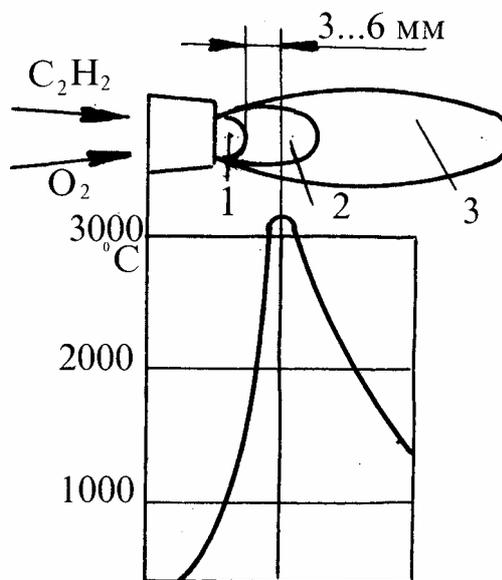


Рис. 3.3. Строение ацетилено-кислородного пламени и распределение в нем температуры: 1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел

стых сталей с содержанием углерода более 0,5 %, для наплавки деталей твердыми сплавами.

Окислительное пламя имеет укороченное заостренное ядро с расплывчатыми очертаниями бледного цвета. Температура окислительного пламени выше температуры нейтрального пламени, однако оно интенсивно окисляет свариваемый металл и способствует получению крупнозернистого шва. Окислительным пламенем режут металлы, а также нагревают заготовки перед закалкой.

Сварщик держит газовую горелку правой рукой, а пруток – левой. Если при сварке указанные предметы движутся направо, то способ сварки называют правым, в другом случае – левым. При *правом* способе пламя перемещается впереди прутка и направлено на формирующийся шов. В этом случае сварочная ванна защищена от воздействия атмосферного воздуха, а шов охлаждается медленно. При *левом* способе сварки пламя направлено на подготовленные кромки заготовки и подогревает их. Снижается опасность пережога металла, внешний вид шва лучше.

3.3.3. Выделение тепла при трении

Выделение тепловой энергии происходит при соприкосновении поверхностей заготовок, приложении к образовавшемуся контакту давления и относительном перемещении поверхностей. Работа *сил трения* превращается в тепловую энергию. Количество выделившегося тепла q равно

$$q = F_{тр} \cdot l, \text{ Дж (для поступательного перемещения),} \quad (3.2)$$

$$q = M_{тр} \cdot \varphi, \text{ Дж (для вращательного перемещения),} \quad (3.3)$$

где $F_{тр}$ и $M_{тр}$ – соответственно, сила и момент трения, Н и Нм; l – путь трения, м; φ – угол относительного перемещения заготовок.

3.3.4. Электрическая дуга

Открыта в 1802 г. проф. В.В. Петровым.

Электрическая дуга (рис. 3.4) представляет собой установившийся свободный электрический разряд в ионизированной смеси газов и паров веществ, входящих в состав электрода, электродного покрытия и флюса. Ток в межэлектродном промежутке обусловлен движением заряженных частиц – электронов и ионов. При этом электронная составляющая тока в сотни раз больше ионной. Заряженные частицы в дуговом промежутке возникают за счет эмиссии (испускания) электронов с поверхности электродов и ионизации газа. Непременным условием электрического дугового разряда является генерация заряженных частиц в количестве, достаточном для существования дуги.

Электрическая дуга состоит из трех частей: катодной и анодной областей и столба.

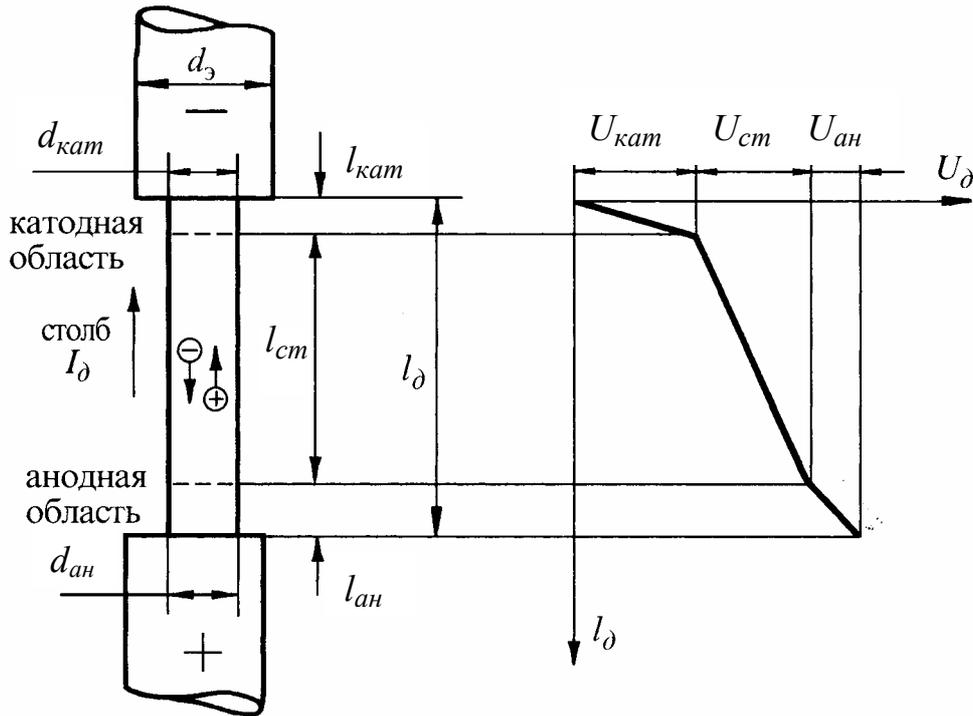


Рис. 3.4. Модель электрической дуги и распределение потенциала по ее длине:
 d_3 – диаметр электрода; $U_д$ и $I_д$ – напряжение и ток дуги;
 $d_{кат}$ и $d_{ан}$ – диаметры катодной и анодной областей

Длина катодной области очень мала и сопоставима с длиной свободного пробега иона $l_{кат} = 10^{-5} \dots 10^{-4}$ см. Катод эмитирует электроны как за счет нагрева его поверхности (термоэлектронная эмиссия), так и за счет создания у его поверхности электрического поля высокой напряженности (автоэлектронная эмиссия). Кроме того, электроны и ионы образуются в самой катодной зоне благодаря термической ионизации нейтрального газа. У поверхности катода создается объемный положительный заряд. Катодное падение напряжения $U_{кат} = 5 \dots 25$ В на небольшой длине катодной области обуславливает значение градиента потенциала в ней 10^5 В/см.

Протяженность анодной области сопоставима с длиной свободного пробега электрона $l_{ан} = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ см, поэтому при анодном падении $U_{ан} = 2 \dots 10$ В градиент напряжения составляет 10^4 В/см, т.е. ниже, чем в катодной области. У поверхности анода наблюдается объемный отрицательный заряд.

Длина столба дуги $l_{ст}$ составляет $0,1 \dots 4$ см, падение напряжения $U_{ст}$ достигает 40 В, напряженность поля в нем – $10 \dots 400$ В/см.

Резкие изменения потенциалов при переходе из зоны в зону объясняются различиями физических процессов, протекающих в приэлектродных областях и в столбе дуги. Поскольку протяженность приэлектродных зон мала по сравнению с длиной столба, то длину дуги считают равной длине столба

$$l_д = l_{кат} + l_{ан} + l_{ст} \approx l_{ст}. \quad (3.4)$$

Температура плазмы в столбе дуги достигает 6000...7000 °С, поэтому процесс сварки начинается сразу, как только возбуждается дуга. Это обуславливает высокую скорость плавления электрода и основного металла и, как следствие, высокую производительность сварки и наплавки.

Баланс выделяющейся теплоты следующий: на аноде около 43 %, на катоде 36 % и в сварочной дуге 21 %. На электроде-анode выделяется энергии на 20 % больше, чем на электроде-катоде. Поэтому, если при сварке необходимо увеличить количество расплавленного металла и глубину проплавления, то сварку ведут на прямой полярности, подключая заготовку к аноду.

Статическая вольт-амперная характеристика электрической дуги в координатах $U_d - I_d$ (рис. 3.5) имеет криволинейную зависимость, следовательно, активное сопротивление дуги меняется с изменением тока. Дифференциальное сопротивление дуги $\rho = dU/dI$ соответствует тангенсу угла наклона α_d между касательной, проведенной к кривой в точке A , и осью тока. На характеристике выделяют три участка: падающий (I), жесткий (II) и возрастающий (III). Дифференциальное сопротивление дуги на ее падающем участке отрицательное (меньше нуля), на жестком – равно нулю и на возрастающем – положительное (больше нуля).

В маломощных дугах (участок I) с ростом тока увеличивается площадь сечения столба дуги, что приводит к снижению плотности тока, а следовательно, и к снижению общего напряжения дуги. Такая падающая характеристика наблюдается при сварке неплавящимся электродом и ручной сварке покрытым электродом.

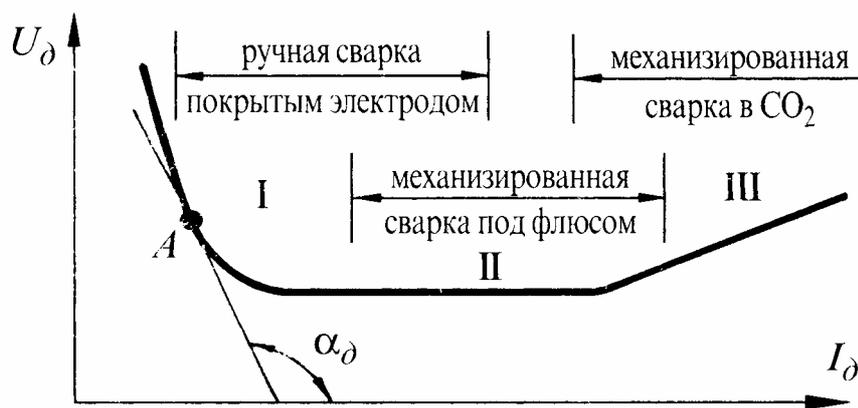


Рис. 3.5. Статическая вольт-амперная характеристика электрической дуги:
 U_d и I_d – напряжение и ток дуги

При дальнейшем росте тока пропорционально увеличивается и площадь столба. Плотность тока при этом остается примерно постоянной, поэтому напряжение дуги не меняется с ростом тока. Характеристика на уча-

стке II жесткая, она наблюдается при сварке покрытым электродом и механизированной наплавке под слоем флюса. Граница между участками I и II при различных способах и условиях сварки соответствует значению силы тока около 100 А.

Возрастающий участок III наблюдают при таком токе, когда дуга уже заняла всю торцовую площадь электрода. Поэтому с ростом тока пропорционально увеличивается его плотность и напряжение. Возрастающая характеристика наблюдается при механизированной наплавке под слоем флюса и особенно при наплавке в диоксиде углерода. Граница между участками II и III соответствует плотности тока 100 А/мм².

При увеличении длины дуги график зависимости смещается вверх, а при увеличении диаметра электрода граница между жестким и возрастающим участками – вправо.

3.3.5. Нагрев от прохождения электрического тока

Этот вид нагрева имеет место при стыковой и шовной сварке, электрошлаковой наплавке и электроконтактной приварке металлического материала. Заготовки нагревают посредством прохождения через них электрического тока. Количество выделенного тепла q равно

$$q = \eta_m U I t, \text{ Дж}, \quad (3.5)$$

где η_m – термический КПД, t – время действия тока, с.

3.3.6. Индукционный нагрев

Индукционный нагрев происходит при прохождении вихревых токов высокой частоты (токов Фуко) через электропроводный материал заготовки. Глубину Δ проникновения вихревых токов в материал заготовки определяют по формуле

$$\Delta \approx \frac{350}{K \cos \varphi} \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \text{ м}, \quad (3.6)$$

где K и φ – коэффициенты; ρ – плотность материала, кг/м³; f – частота тока, Гц.

Скорости индукционного нагрева и охлаждения материала струями воды достигают сотен и тысяч °С/с. Зазор между индуктором и обрабатываемой поверхностью равен 0,3...3,0 мм.

3.3.7. Искровой разряд

Искровой разряд (в отличие от дугового) представляет собой неустановившийся электрический разряд при недостатке мощности источника энергии для поддержания стационарного дугового или тлеющего разряда.

Искровой разряд имеет вид прерывистых ярких зигзагообразных разветвляющихся струй ионизированного газа, которые пронизывают разрядный промежуток и исчезают, сменяясь новыми. Искровой разряд сопровождается выделением большого количества тепла и ярким свече-

нием газа. Разряд вызывают электронные и ионные лавины в искровых каналах, где давление увеличивается до десятков МПа, а температура повышается до 10^5 °С.

Примером искрового разряда в природе является молния.

3.3.8. Плазма

Плазменная струя представляет собой движущийся газ, в котором значительная часть атомов ионизирована, а концентрация электронов и отрицательных ионов равна концентрации положительных ионов.

Плазменную струю получают продуванием газа через электрическую дугу и его сжатием водоохлаждаемым соплом или магнитным полем. Молекулы плазмообразующего газа при нагреве диссоциируют (распадаются на атомы), а атомы ионизируются (теряют электроны). Такой процесс (табл. 3.2) требует затрат энергии. Ионизация плазмы обуславливает ее высокую электропроводность и температуру порядка 12...20 тыс. °С. Плазма перемещается со скоростью, превышающей скорость звука. При последующем расширении газа наблюдается обратный процесс рекомбинации молекул с выделением энергии, равной энергии их диссоциации и ионизации атомов. Совокупность этих процессов принципиально отличает плазменный нагрев от других видов нагрева. В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот, аммиак, водород и гелий. Двухатомарные газы (например, азот) обладают большей энтальпией при одинаковой температуре, чем одноатомарные (например, аргон).

Таблица 3.2

Энергия диссоциации молекул и ионизации атомов различных газов

Элемент	Энергия диссоциации молекулы, эВ	Энергия ионизации атома, эВ ^{*)}	
		I	II
Аргон	–	15,755	27,620
Водород	4,777	13,595	–
Гелий	–	24,580	54,400
Азот	9,760	14,54	29,605

^{*)} В столбце I приведены значения энергии, необходимой для отрыва одного электрона, в столбце II – то же для отрыва двух электронов.

Удельная плотность энергии в плазменной струе в 10...50 раз больше, чем в электрической дуге. Скорость ввода тепла в заготовку превышает скорость дальнейшей теплопередачи в ее массу, поэтому поверхность заготовки быстро расплавляется.

Схема плазменного генератора, применяемого для наплавки металлов, приведена на рис. 3.6. Между вольфрамовым катодом и заготовкой возникает дуга, через которую продувают плазмообразующий газ. Напряжение может быть приложено и к медному охлаждаемому водой аноду.

Плазменный источник тепла применяют для сварки, наплавки, резки, пайки и термообработки как металлических, так и неметаллических (стекла, керамики и др.) материалов. Применение плазменного нагрева в различных процессах обусловлено использованием большой мощности дуги при небольшом количестве наносимого материала или без него, например, в случае плазменного упрочнения – закалки.

Значение удельного теплового потока $q(r)$ в зависимости от радиуса нагреваемой поверхности определяют по формуле

$$q(r) = q_{max} \cdot \exp(-kr^2), \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (3.7)$$

где q_{max} – наибольший удельный тепловой поток в центре пятна нагрева, Дж/м²·с; k – коэффициент сосредоточенности удельного потока тепла, м²; r – расстояние от оси теплового источника до рассматриваемого участка, м.

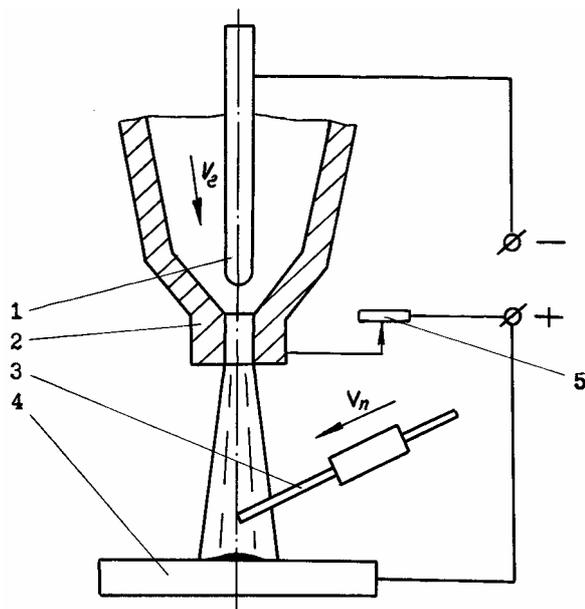


Рис. 3.6. Схема плазменного генератора: 1 – электрод-катод; 2 – сопло; 3 – проволоочный или прутковый материал; 4 – восстанавливаемая деталь; 5 – сопротивление; v_2 – скорость подачи газа; v_n – скорость подачи материала

3.3.9. Электронный луч

Электронный луч – это поток электронов, которые эмитируют с раскаленного катода “электронной пушки” и разгоняются электрическим полем. При напряжении поля 20...200 кВ этот поток разгоняется до 0,05...0,70 скорости света и взаимодействует с обрабатываемой поверхностью.

В нагреваемом материале поток электронов тормозится в течение $10^{-11} \dots 10^{-9}$ с. При этом температура материала достигает 10000...15000 °С (ее достаточно для локального испарения металла). Обработку ведут в герметичной камере при давлении среды $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па.

Особенность обработки электронным лучом заключается в том, что нагрев идет не с поверхности металла, а из поверхностного слоя толщиной, равной длине свободного пробега электрона. Глубина зоны нагрева в зависимости от степени фокусирования может изменяться в пределах 0,05...5 мм. Электронный луч позволяет выполнять сварку материалов с большой глубиной проплавления и зоной термического влияния до 0,2 мм.

Электронный луч применяют для сварки ответственных деталей с высокой точностью, сварки тугоплавких металлов, сварки разнородных материалов со значительной разницей в толщине и различными свойствами, наплавки покрытий, прожигания отверстий и испарения металла.

3.3.10. Лазерное излучение

Лазерное излучение – это поток квантов энергии в оптическом диапазоне, возникший в результате перехода системы микрочастиц на более низкий энергетический уровень. Излучение возникает в результате взаимодействия электромагнитного поля с атомами. Частота этого взаимодействия зависит от положения линий спектра поглощения света атомными системами.

Лазерное излучение позволяет сконцентрировать на поверхности обрабатываемого материала наибольшую плотность энергии (по сравнению с ранее рассмотренными источниками тепла). Энергию лазера можно передавать материалу бесконтактно, быстро и строго дозированно. Локальность тепловых процессов в поверхностных слоях при таких условиях облучения обеспечивает высокие скорости ($10^6 \dots 10^8$ °C/c) нагрева и охлаждения.

С помощью лазерного нагрева устраняют трещины в высоконагруженных деталях, в том числе в керамических изделиях, выполняют наплавку, оплавление напыленных покрытий, поверхностное легирование, поверхностную закалку и аморфизацию материала.

3.4. Материалы для нанесения покрытий с использованием источников тепла

3.4.1. Определения и виды материалов

Материал – это металл, сплав, полимер, керамика или другие вещества, потребляемые для переноса на восстанавливаемую поверхность и закрепления на ней. Материал делят на основной и вспомогательный.

Основной материал – это тот материал, масса которого в основном определяет массу покрытия (например, наплавочный электрод, напыляемый порошок). При нанесении покрытий основной материал претерпевает существенные изменения – изменяются его свойства, а в ряде случаев и химический состав.

Вспомогательный материал расходуют вместе с основным. Это флюсы и защитные среды при наплавке (например, диоксид углерода, аргон), охлаждающие среды при закалке и другие.

Материалы для восстановления деталей обладают технологическими и эксплуатационными свойствами. *Технологические* свойства (температура плавления, флюсуемость, жидкотекучесть, смачиваемость расплавом подложки и др.) проявляются при нанесении покрытий и их обработке. *Эксплуатационные* свойства (твердость, износостойкость и др.) нанесенного материала определяют работоспособность и долговечность восстановленной детали и проявляются при ее использовании.

Материалы делят на группы по следующим основным признакам: виду и назначению, химическому составу, структуре и др. При восстанов-

лении деталей с использованием источников тепла применяют электроды и прутки, проволоку и ленты, порошки и шнуры.

3.4.2. Штучные электроды и прутки

Электроды применяют для дуговой сварки и наплавки заготовок.

Электрод *сварочный (наплавочный)* – это электропроводный стержень, включаемый в цепь нагрузки источника питания и взаимодействующий с заготовкой. Электроды бывают неплавящиеся и плавящиеся, однако только последние выступают в качестве материала. Основой плавящегося (расходуемого) электрода является сварочная проволока.

Электроды для сварки и наплавки стальных заготовок подразделяют по назначению (ГОСТ 9466-75), типам (ГОСТ 9467-75, 10051-75 и 10052-75), маркам, толщине и видам покрытий на них (ГОСТ 9466-75) и группам.

Электроды для сварки обозначают буквой Э с двухцифровым числом через дефис. Число показывает прочность сварного шва при растяжении. Электроды для наплавки обозначают буквами ЭН и числом, которое указывает гарантированную твердость наплавленного материала. Тип электрода характеризует свойства наплавленного металла. Каждому типу электродов соответствует несколько их марок, различающихся видом и составом покрытий. По ГОСТ 10051-75 электроды по химическому составу и твердости наплавленного металла разделены на 44 типа (например, электроды типа Э-16Г2ХМ, Э-110Х14В13Ф2, Э-13Х16Н8М5С5Г4).

Наносить покрытие на электрод предложил шведский ученый О.Кельберг в 1907 г.

По толщине покрытий (в зависимости от отношения их наружного диаметра D к диаметру стального стержня d) электроды бывают с тонким – М ($D/d \leq 1,20$), средним – С ($D/d = 1,20 \dots 1,45$), толстым – Д ($D/d = 1,45 \dots 1,80$) и особо толстым Г ($D/d \geq 1,80$) покрытиями.

Тонкие (стабилизирующие) покрытия электродов служат только для обеспечения устойчивого горения дуги. Их толщина равна 0,10...0,25 мм, а масса составляет 1...2 % от массы металлического стержня. Толстые (качественные) покрытия в отличие от стабилизирующих не только повышают устойчивость горения дуги, но и улучшают качество сварного шва.

Толстые покрытия защитно-легирующего типа включают в себя вещества:

- стабилизирующие горение дуги (сода, поташ, диоксид титана, мел, мрамор и др.);
- газообразующие (крахмал, муку пищевую или древесную, декстрин), которые защищают расплавленный металл от влияния атмосферы;
- шлакообразующие (титановый концентрат, марганцевую руду, полевой шпат, плавиковый шпат, кварц, гранит, мрамор, каолин и др.), которые очищают расплавленный металл и защищают его от вредного влияния кислорода и азота воздуха;

- раскисляющие, которые включают элементы (Ca, Al, Ti, Si, V, Mn, Cr), имеющие большее, чем железо, сродство к кислороду;
- легирующие (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, алюминий и др.);
- связующие (жидкое стекло, декстрин и др.).

Вид *электродного покрытия* обозначают индексом:

А – кислотное покрытие, обычно рудного происхождения, содержащее оксиды железа, марганца, кремния, иногда титана;

Б – основное покрытие, содержащее фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мрамор, мел);

Ц – целлюлозное покрытие;

Р – рутиловое покрытие на основе диоксида титана. В покрытие входит 2...8 % органических веществ;

АЦ, РБ и др. – смешанные покрытия;

П – прочие покрытия.

В зависимости от вида свариваемых материалов электроды делят на группы: У – для сварки углеродистых сталей; Л – легированных конструкционных сталей; Т – легированных теплоустойчивых сталей; В – высоколегированных сталей с особыми свойствами; Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

По допустимым пространственным положениям сварного шва электроды обозначают: 1 – для всех положений; 2 – для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; 3 – для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх; 4 – для нижнего.

По роду и полярности тока, а также по номинальному напряжению холостого тока источника питания переменного тока электроды маркируют: 0 – только для постоянного тока обратной полярности; 1, 2 и 3 – для напряжения холостого хода переменного тока 50 ± 5 В; 4, 5 и 6 – то же для напряжения 70 ± 10 В; 7, 8 и 9 – то же для напряжения 90 ± 5 В.

Обозначение электрода

$$\frac{\text{Э-46А-УОНИ-13/45-3,0-УД2}}{\text{Е432(5)-Б10}}$$

расшифровывается следующим образом: Э-46А – тип (Э – электрод сварочный, 46 – минимальный гарантируемый предел прочности металла шва при растяжении, 460 МПа, А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва); УОНИ-13/45 – марка; 3,0 – диаметр стальной проволоки, мм; У – электроды для сварки углеродистых сталей; Д2 – с толстым покрытием второй группы; Е432(5) – характеризует наплавленный металл шва, где 43 – временное сопротивление разрыву не менее 430 МПа, относительное удлинение не менее 2 % и (5) – ударная вязкость не менее 34,5 Дж/см² при температуре минус 40 °С; Б – основное покрытие; 1 – для сварки во всех пространственных положениях; 0 – для сварки на постоянном токе обратной полярности.

Наплавочные покрытые электроды представляют собой электродные стержни с толстым покрытием. Как правило, для электродного стержня применяют низкоуглеродистую сварочную проволоку, а требуемый химический состав покрытий получают за счет легирующих порошков, вводимых в электродное покрытие. Значительно реже легированную проволоку для электродного стержня применяют при получении высоколегированных покрытий, когда традиционное легирование через электродное покрытие неэффективно.

Электроды для сварки и наплавки *чугуна* предназначены для получения металла шва или покрытия с заданными свойствами в виде стали (ЦЧ-4), сплавов на основе меди (ОЗЧ-2, ОЗЧ-6), никеля (ОЗЧ-3, ОЗЧ-4), железоникелевого (ОЗЖН-1, ОЗЖН-2) и медноникелевого (МНЧ-2) сплавов.

В табл. 3.3 представлены электроды, которые применяют для сварки и наплавки заготовок из *алюминиевых, медных и никелевых* сплавов.

Таблица 3.3

Электроды для сварки и наплавки алюминиевых, медных и никелевых сплавов

Марка электрода	Химический состав наплавленного покрытия (% по массе)
Электроды для сварки и наплавки алюминия и его сплавов	
ОЗА-1	0,4 Si; 0,2 Ti; Cu – следы; 0,1 Fe; Al – основа
ОЗА-2	5,0 Si; 0,2 Ti; 0,1 Fe; Al – основа
ОЗАНА-1	≤0,5 Si; ≤0,2 Fe; Al – основа
ОЗАНА-2	≤5,0 Si; ≤0,2 Fe; Al – основа
Электроды для сварки и наплавки меди и ее сплавов	
АНЦ/ОЗМ-2	0,16 Mn; 0,06 Si; ≤0,005 Ti; 0,19 Al; ≤0,15 Fe; Cu – основа
АНЦ/ОЗМ-3	≤0,4 Mn; ≤0,15 Si; ≤0,15 Al; ≤0,15 Fe; ≤0,03 B; Cu – основа
АНЦ/ОЗМ-4	≤0,2 Mn; ≤0,05 Si; ≤0,2 Al; ≤0,3 Fe; ≤0,02 B; Cu – основа
ОЗБ-2М	1,0 Mn; 0,8 Ni; 0,5 Fe; 6,0 Sn; 0,35 P; Cu – основа
ОЗБ-3	0,7 Si; 2,5 Ni; 1,0 Cr; Cu – основа
Электроды для сварки и наплавки никелевых сплавов	
ОЗЛ-32	0,07 C; 1,8 Mn; 1,2 Si; 65 Ni; 1,1 Ti; 0,3 Al; 1,8 Fe
В-56У	0,03 C; 4,1 Mn; 0,3 Si; 65 Ni; 0,2 Ti; 0,2 Al; 0,9 Fe

Наплавочные прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Чаще прутки получают литьем. Их диаметр 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16 мм, а длина – 250, 300, 350, 400, 450 и 500 мм.

Прутки для износостойкой наплавки стальных заготовок подразделяют на четыре группы: сормайтты (сплавы на железо-хромовой основе с марганцем и никелем); стеллиты (сплавы на основе кобальта); релиты (литые карбиды вольфрама); сталиниты (сплавы на железо-углеродной основе, содержащие 24...26 % хрома, 6...9 % марганца, до 3 % кремния и 7...10 % графита).

Прутки применяют также для изготовления электродов с покрытиями для ручной дуговой наплавки (табл. 3.4), например, марки ГН-1 со стержнем из сплава “сормайт” и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК.

Таблица 3.4

Химический состав литых прутков для наплавки

Марка сплава	Содержание, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Co	Fe
Сормайт прутковый	2,5...3,3	2,8...3,5	1,5	25...31	3...5	–	–	основа
ВХН-1	0,5...1,2	1,5...2,5	0,5	35...40	50...60	–	–	< 5
В2К	1,7...2,2	1...2	–	28...32	< 2	14...17	48...53	< 3
ВЗК	0,9...1,3	1,7...2,7	–	28...32	< 2	4...5	58...63	< 3

Прутки, которые используют для наплавки чугуна в зависимости от назначения (ГОСТ 2671-70), имеют марки Пр-Ч1, Пр-Ч2, Пр-ЧН1, Пр-ЧН2, Пр-ЧИ и Пр-ЧВ.

Применяют также прутки из керамических материалов. Для наплавки заготовок из легированных сталей используют керамические стержни ЦСК-3-Х13, ЦСН-80ЧГС в сочетании с электродной проволокой, например, Св-08А.

3.4.3. Проволока и ленты

Проволоку используют при электроконтактной приварке, газотермическом напылении, механизированной и автоматической наплавке. Поставляют ее в бухтах, катушках или барабанах.

Стальную *сварочную проволоку* согласно ГОСТ 2246-70 делят на углеродистую, легированную и высоколегированную. Предусмотрено 77 марок проволоки диаметром от 0,3 мм до 12 мм.

Выпускают *наплавочную проволоку* по ГОСТ 10543-98 диаметром от 0,3 до 8,0 мм. Наплавочную проволоку изготавливают из углеродистых (Нп-30, Нп-45, Нп-50 и др.), легированных (Нп-65Г, Нп-30ХГСА, Нп-40Х3Г2МФ и др.) и высоколегированных (Нп-40Х13, Нп-45Х4В3ГФ, Нп-Г13А и др.) сталей. При наплавке применяют также сварочную проволоку и проволоку по ГОСТ 9389-75, предназначенную для изготовления пружин.

Условное обозначение марки проволоки включает в себя последовательно:

- число, указывающее ее диаметр в мм;
- индекс Св (сварочная) или Нп (наплавочная);
- следующее за индексом через дефис число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента;
- буквенно-цифровое обозначение легирующих элементов, степень чистоты материала и другие сведения. При содержании легирующих эле-

ментов менее 1 % ставят только букву этого элемента, а при их содержании более 1 % после буквенного обозначения приводят цифру, указывающую содержание в целых единицах процентов. Приняты обозначения: А – азот (только в высоколегированных сплавах), Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, М – молибден, Н – никель, К – кобальт, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ю – алюминий. Буква А после обозначения низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту материала по содержанию серы и фосфора, буквы АА показывают пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой А;

– через дефис – способ плавления материала проволоки при ее изготовлении (Ш – полученная из стали электрошлаковым переплавом, ВД – выплавленная вакуумно-дуговым переплавом, ВИ – выплавленная в вакуумно-индукционной печи), покрытие и назначение (О – омедненная, Э – для изготовления электродов);

– через дефис: Д – холоднодеформированная (тянутая); Г – горячедеформированная, КР – круглого сечения, БТ – мотки, бухты, КТ – катушки, БР – барабаны.

Обозначение сварочной проволоки 2,5Св-08Х3Г2СМФА-ВИ-Э-О содержит следующие сведения. Стальная сварочная проволока диаметром 2,5 мм содержит углерода 0,08 %, хрома – 3 %, марганца – 2 %, кремния, молибдена и ванадия – до 1 % каждого, характеризуется повышенной чистотой по содержанию серы и фосфора, выплавлена в вакуумно-индукционной печи, предназначена для изготовления электродов, омедненная.

Для сварки алюминия и его сплавов предусмотрено 25 различных видов проволоки по ГОСТ 7871-75 диаметром 0,8...12,5 мм. Для сварки меди и ее сплавов служит проволока по ГОСТ 16130-80 из меди (М1, М1р, М2р, Мср1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2 и др.), бронзы (БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМЦ9-2 и др.) и латуни (Л63, ЛО60-1, ЛК62-05, ЛМц58-2, ЛОК52-1-0,3 и др.).

Проволока для напыления. Для газотермических покрытий применяют как сварочную (Св-08Г2С, Св-07Х19Н9ТЮ и др.), так и наплавочную (Нп-65Г, Нп-40Х13 и др.) проволоку.

За рубежом ряд фирм выпускают специальную проволоку для газотермических покрытий. Например, фирма Sulzer Metco длительное время занимается разработкой технологий и проволочных материалов для таких покрытий.

Стальная наплавочная лента представляет собой полосу толщиной 0,4...0,6 мм и шириной 30...100 мм. Применение ленты обеспечивает широкослойную наплавку с большой производительностью и небольшой глубиной проплавления основного материала. Материалом холоднокатанной ленты служат конструкционные, инструментальные, пружинные или коррозионно-стойкие стали с невысоким содержанием углерода. Такую ленту

применяют, как правило, при наплавке под слоем флюса. Однако покрытие, полученное из компактной ленты, не удовлетворяет разнообразным требованиям.

Идея создания “трубчатого электрода с сердцевиной из разного типа порошков” принадлежит изобретателю дуговой сварки Н.Н. Бенардосу.

В настоящее время выпускают сотни марок различных порошковых проволок и лент. Важнейшими преимуществами этих материалов являются равномерное распределение элементов в наплавленном металле, отсутствие сегрегации порошковых компонентов и широкие возможности легирования наплавленного или напыленного покрытия.

Порошковая проволока состоит из мягкой тонколистовой металлической оболочки и сердцевины, которая представляет собой смесь порошков чистых металлов, ферросплавов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразующих и стабилизирующих горение дуги веществ (рис. 3.7). Распространенный диаметр порошковой проволоки 2,6...3,6 мм, однако для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром до 8 мм.

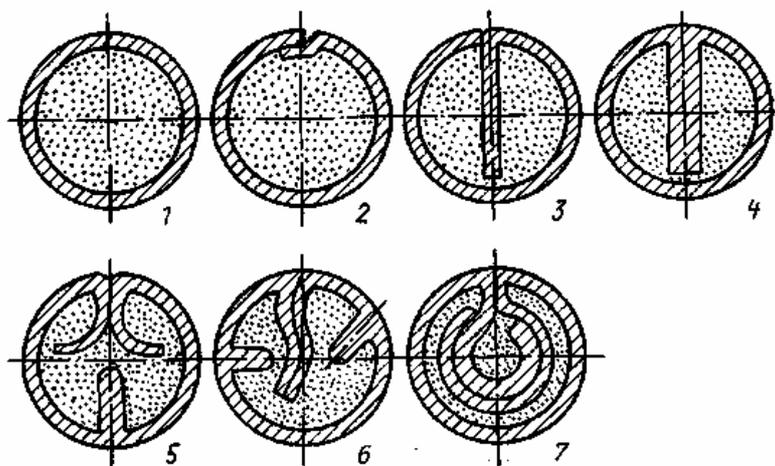


Рис. 3.7. Сечения порошковой проволоки: 1 – с плотным стыком; 2 – со стыком внахлестку; 3 – с одним загибом оболочки; 4 – с двумя загибами оболочки; 5 и 6 – сложное; 7 – двухслойное

Порошковую проволоку выпускают четырех типов: для наплавки под флюсом, в среде защитных газов, в атмосфере воздуха и универсальную.

Материал покрытия из самозащитной порошковой проволоки ПП-АН105 соответствует материалу стали 110Г13.

В институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины разработаны порошковые проволоки серии АМОТЕК. Эти материалы предназначены для нанесения износо- и коррозионно-стойких покрытий способами газопламенного, электродугового и плазменного напыления. Особенностью материалов является наличие аморфной составляющей в структуре покрытий, которая обеспечивает комплекс повышенных служебных свойств (износо- и коррозионностойкости, прочности соединения с основой).

Холоднокатаную ленту можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготавливают также порошковую и спеченную ленты. *Порошковую ленту* (рис. 3.8) получают из малоуглеродистой тонколистовой стальной оболочки и шихты из молотых порошков. В отличие от порошковой проволоки ее не подвергают волочению. *Спеченную металлокерамическую ленту* на железной основе изготавливают из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси с последующим спеканием в восстановительной среде.

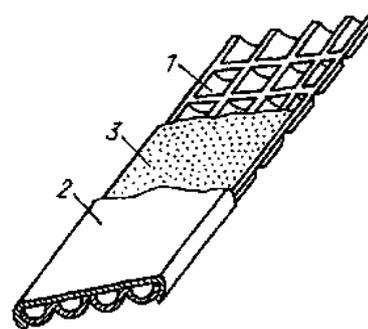


Рис. 3.8. Конструкция порошковой ленты: 1 – гофрированная часть оболочки; 2 – плоская часть оболочки; 3 – шихта

Различные порошковые проволоки и ленты служат для износо- и коррозионно-стойкой наплавки.

3.4.4. Порошки

Множество порошковых материалов для наплавки и напыления покрытий весьма разнообразно. Оно включает в себя порошки чистых металлов и сплавов, тугоплавких соединений, композиционных материалов и порошковые смеси.

Порошки *чистых металлов* – алюминия, меди, железа, никеля, кобальта, хрома, вольфрама, молибдена и других – в процессах восстановления деталей находят ограниченное применение. Как правило, эти порошки обладают удовлетворительными технологическими свойствами и высокой стоимостью.

Распространенным материалом являются порошки *сплавов*, полученные распылением расплава в защитной атмосфере. Это порошки износостойких чугунов, конструкционных, инструментальных и коррозионно-стойких сталей и медных сплавов.

В табл. 3.5 представлены марки порошков высокоуглеродистых легированных сплавов. Температура их плавления 1280...1320 °С. Покрытия из них обладают высокой износостойкостью при абразивном изнашивании.

Таблица 3.5

Порошки на основе высокоуглеродистых легированных сплавов

Марка	Состав, % по массе (Fe – основа)	HRC
ПГ-С27	3,9 C; 26 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 0,3 W	59
ПГ-С1	2,9 C; 29 Cr; 3,5 Si; 4,2 Mn; 4 Ni	51
ПГ-УС25	4,9 C; 38 Cr; 2,1 Si; 2,5 Mn; 1,4 Ni	55
ПГ-ФБХ6-2	4,5 C; 34 Cr; 1,7 Si; 2,7 Mn; 1,6 В	52

Порошки конструкционных и инструментальных сталей применяют при восстановлении режущего инструмента, штампового инструмента горячего и холодного деформирования, валков горячей прокатки, плунжеров, роликов, ножей блюмингов, рабочих органов землеройного оборудования.

Порошки коррозионно-стойких сталей и сплавов применяют для нанесения на восстанавливаемые детали двигателей внутреннего сгорания и вентиляторов, валов и подшипников скольжения энергетического и химического оборудования. Они обеспечивают высокую износо- и коррозионностойкость в воде и агрессивных жидкостях, стойкость к кавитации, хорошую сопротивляемость изнашиванию потоком абразивных частиц при температуре 500...550 °С.

Самофлюсующиеся порошки из сплавов получили наибольшее распространение. Преимущество материалов этого вида состоит в том, что покрытия из них оплавливают без дополнительных флюсов или защитных сред. Химический состав сплавов обеспечивает пониженную температуру плавления. Расплав хорошо смачивает наплавляемую поверхность, удаляет оксидные пленки, частично растворяет подложку, что приводит к формированию качественного покрытия с минимальной пористостью, высокой прочностью соединения с основой и гладкой поверхностью. Основными элементами, обеспечивающими самофлюсование сплава, являются бор и кремний, имеющие высокое сродство к кислороду. При взаимодействии с оксидами они ведут себя как энергичные восстановители, образуя B_2O_3 и SiO_2 в виде стекловидного шлака на поверхности. Помимо флюсования В и Si улучшают жидкотекучесть и уменьшают поверхностное натяжение расплава.

Наибольшая доля самофлюсующихся порошков создана на основе никеля (табл. 3.6). По американской спецификации эти сплавы имеют торговое название колмоной, а сплавы подобного вида в Японии называются фукудалои. Покрытия из этих сплавов превосходят по износостойкости в 3...5 раз закаленные инструментальные стали.

Таблица 3.6

Самофлюсующиеся порошки на никелевой основе

Марка порошка	Химический состав, % по массе	Твердость покрытий, HRC	Температура плавления, °С
ПР-Н80Х13С2Р	0,3 С; 13,0 Cr; 2,4 Si; 1,5 В; до 5 Fe	29...34	1070
ПР-Н73Х16С3Р3	0,7 С; 16,0 Cr; 3,2 Si; 2,7 В; до 5 Fe	47...52	1050
ПР-Н70Х17С4Р4	1,0 С; 17,0 Cr; 4,1 Si; 3,6 В; до 5 Fe	55...59	990
ПР-Н65Х25С3Р3	1,2 С; 25 Cr; 2,7 Si; 2,5 В; 0,2 Mn; до 5 Fe	45...51	1000
ПР-НХГС4Р3	0,4 С; 6,8 Cr; 4,1 Si; 3,0 В; до 3 Fe	58...62	980

Ограниченно выпускают самофлюсующиеся порошки на основе кобальта и железа.

Находят применение два вида самофлюсующихся порошков на железной основе: объемно-легированные, полученные распылением распла-

ва; поверхностно-легированные, полученные методом химико-термической обработки стального или чугунного порошка.

Материал частиц *объемно-легированных* самофлюсующихся порошков имеет гетерогенную структуру с равномерным распределением легирующих элементов. Частицы *поверхностно-легированных* порошков состоят из металлического ядра и наружного боро-силицидного слоя. Повышенное содержание бора и кремния в поверхностном слое частиц порошка способствует эффективному раскислению наплавленного металла.

Специфические свойства имеют *порошки тугоплавких соединений*, которые наносят напылением. К таким соединениям относят оксиды, карбиды, бориды, нитриды, интерметаллиды и их комбинации.

Сочетание положительных свойств реализуют в *композиционных* порошках. Частицы таких порошков, в зависимости от строения, бывают плакированные и конгломератные (рис. 3.9). Плакированная частица состоит из сравнительно крупной частицы одного из материалов, на поверхности которой расположены один или несколько слоев частиц из других материалов. Конгломератная частица сформирована из множества частиц нескольких материалов.

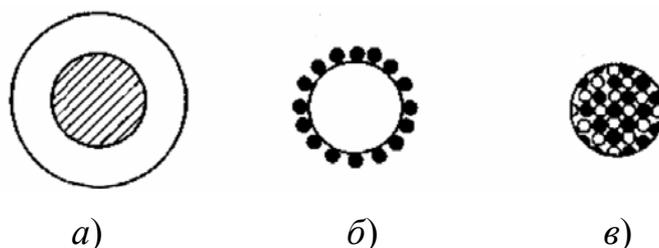


Рис. 3.9. Строение частиц композиционных порошков: *a* – плакированных; *б* и *в* – конгломератных

Композиционные *термореагирующие* порошки предназначены для напыления подслоев и получения износостойких покрытий. Их нанесение сопровождается химической реакцией образования сложных соединений (например, Al с Ni) и выделением тепла.

Композиционный термореагирующий порошок ПТ-19Н-01 получен методом конгломерирования. Каждая частица состоит из ядра самофлюсующегося никелевого сплава, покрытого слоем частиц алюминия. Применяется для восстановления поршней гидравлических машин, шпинделей станков, шеек валов и др.

Необходимое сочетание положительных свойств материалов достигается приготовлением *механических смесей* из порошков.

Смесь ПС-12НВК-01 состоит из 65 % самофлюсующегося материала ПГ-10Н-01 и 35 % карбида вольфрама. Вначале напыляют подслоя ПГ-10Н-01, затем указанную смесь, а в заключение покрытие оплавливают. Твердость его составляет 57...64 HRC, толщина до 2 мм. Применяют при восстановлении шнеков, скребков мешалок, режущих инструментов и др.

Шликеры представляют собой порошки со связующим. Их применяют, например, при лазерной или индукционной наплавке.

3.4.5. Шнуры

Гибкие порошковые шнуры “Сфекорд” созданы в 70-х годах прошлого века французской фирмой “Сфек”. Они представляют собой полученный экструзией композиционный материал, по внешнему виду похожий на проволоку. Шнур состоит из порошкового наполнителя и органического связующего. Связующее вещество полностью сублимирует при нагреве свыше 400 °С. Шнур диаметром 1,50...6,35 мм намотан на бобину.

Выпускают четыре вида шнуровых материалов.

Шнуры “Сфекорд-керамика” из оксидов алюминия, хрома, титана, кремния обеспечивают покрытиям высокую твердость, износ- и коррозионностойкость и диэлектрическую прочность.

Шнуры “Сфекорд-экзо” из порошковых сплавов, включающих железо, медь, интерметаллиды и терморреагирующие материалы (алюминий и никель, которые обеспечивают экзотермическую реакцию), применяют для нанесения покрытий без последующего оплавления.

Композиционный материал “Ниаид-экзо бонд” применяют для напыления подслоя толщиной 0,05...0,15 мм для последующего нанесения других износостойких материалов. Может быть использован для защиты изделий от окисления и получения на деталях пар трения мягких покрытий, легко обрабатываемых лезвийным инструментом.

Шнуры типа “Рокдюр” содержат самофлюсующиеся сплавы с различными сплавами и оксидами. Нанесение покрытий включает их последующее оплавление.

Шнуровой материал “Рокдюр 47” состоит из никелевого самофлюсующегося порошка. Покрытия из него имеют твердость 35...40 HRC и температуру плавления 1000 °С. Их обрабатывают резцами из твердых сплавов. Они обладают высокими износостойкостью и коррозионной стойкостью при температуре до 650 °С.

Применяют также сплавы (например, титан – никель) или их смеси с керамическими порошками, карбидами и др. Такие смеси известны под названием “керметы”. Им присущи пластичность и механическую прочность металлов, а также твердость и высокая температура плавления оксидов.

3.5. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок

Сварку неплавящимся электродом в 1882 г. предложил Н.Н. Бенардос, а плавящимся в 1888 г. – Н.Г. Славянов.

3.5.1. Общие сведения о сварке и сварных швах

Сварка в ремонте машин служит для соединения между собой деталей или их частей, закрепления ДРД или накладок и устранения трещин.

В зависимости от вида используемой энергии сварочные процессы разделяют на три класса: термические, механические и термомеханические. Сварка *термического* класса (электродуговая, электрошлаковая, газовая, индукционная, плазменная, термитная, электронно-лучевая и др.) основана на использовании тепловой энергии. Сварка *механического* класса (сварка

трением, ультразвуковая и др.) использует механическую энергию. Сварка *термомеханического* класса (контактная, диффузионная, газопрессовая, взрывом и др.) основана на применении тепловой и потенциальной энергии давления. Технические признаки сварки (ГОСТ 19521-81) определяют способ защиты зоны сварки, непрерывность процесса и степень механизации, а технологические признаки, в свою очередь, уточняют технические.

Наибольшее применение нашла термическая сварка с плавлением материала кромок заготовок, образованием сварочной ванны, подачей в нее жидкого присадочного металла, кристаллизацией металла и получением сварного шва. В ремонтном производстве распространены такие ее виды, как: электродуговая ручная электродами с толстым покрытием и прутками; электродуговая полуавтоматическая сплошной и порошковой проволоками; газопламенная прутками.

Сварной шов (рис. 3.10) состоит из наплавленного металла и слоя переменного состава наплавленного и основного металла. К сварному шву примыкает зона термического влияния (ЗТВ), металл которой нагревался и охлаждался вследствие теплопередачи. В сварных швах и ЗТВ при их образовании появляются наружные и внутренние дефекты (рис. 3.11).

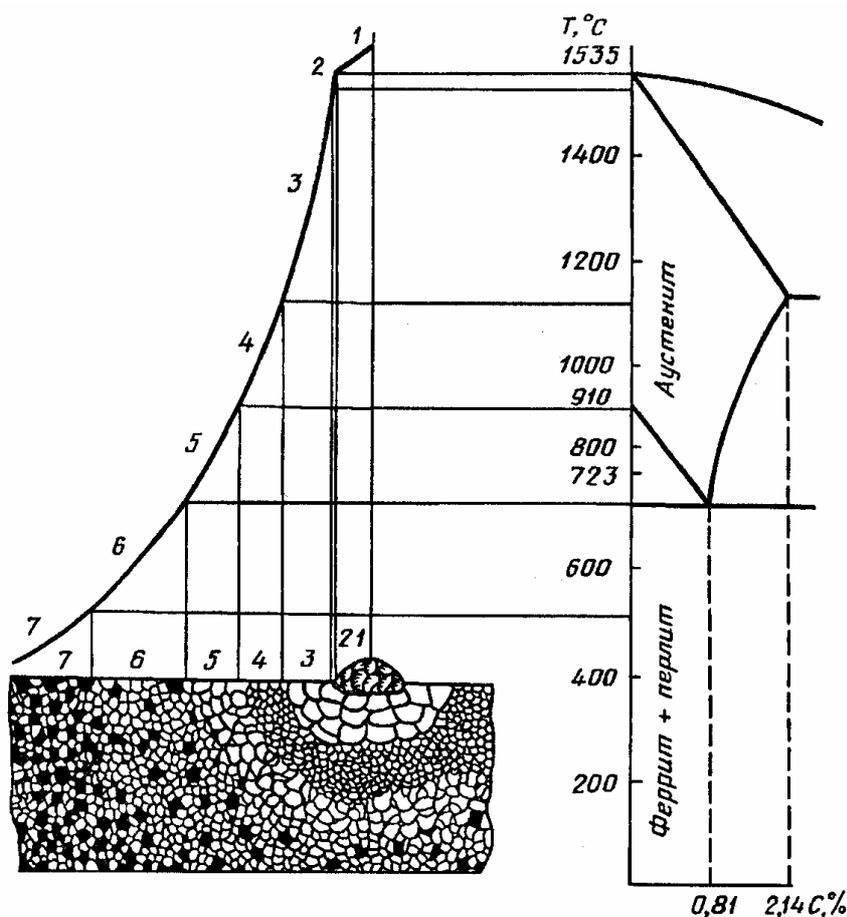


Рис. 3.10. Строение сварного шва и ЗТВ. Участки: 1 – жидкого состояния металла; 2 – твердожидкого состояния; 3 – перегрева; 4 – нормализации; 5 – полной рекристаллизации; 6 – неполной рекристаллизации; 7 – старения

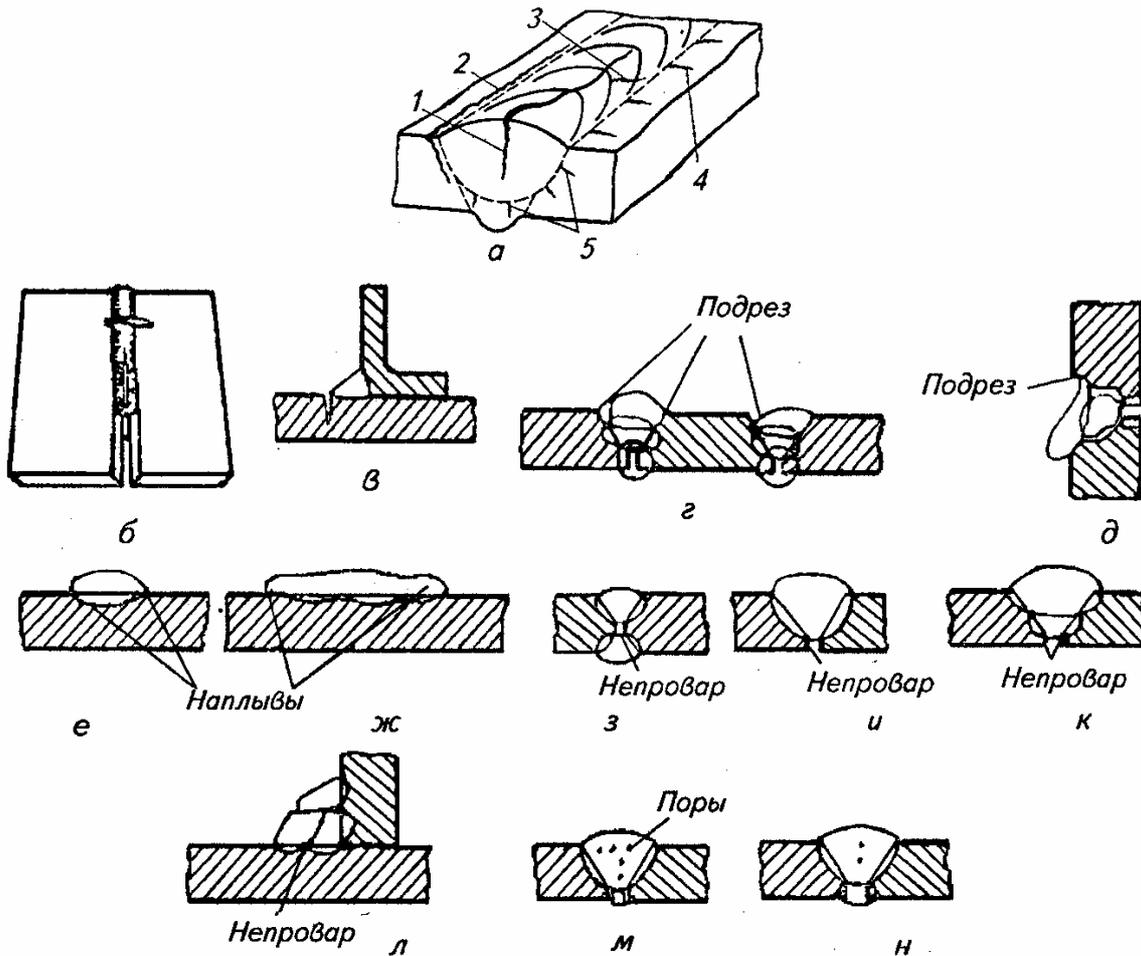


Рис. 3.11. Дефекты сварных швов и ЗТВ: *а* – горячие трещины; *б* и *в* – холодные трещины; *г* и *д* – подрезы; *е* и *ж* – наплывы; *з*, *и*, *к* и *л* – непровары; *м* – поры; *н* – шлаковые включения; 1 и 2 – продольные трещины в шве и ЗТВ; 3 и 4 – поперечные трещины в шве и ЗТВ; 5 – продольные трещины по толщине свариваемого металла

К наружным дефектам относятся горячие и холодные трещины, подрезы, наплывы и непровары.

Горячие трещины во время сварки углеродистых сталей возникают при температуре 1200...1350 °С во время кристаллизации наплавленного металла. Если в это время на границе зерен имеется сравнительно легкоплавкая эвтектика, то она может разрушиться под влиянием растягивающих напряжений. Этим дефектам подвержены широкие швы. Для оценки склонности металла к горячим трещинам рассчитывают показатель *HCS* с учетом массовых долей элементов

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + Ni/100)}{3Mn + Cr + Mo + V} 10^3. \quad (3.8)$$

При $HCS < 1,7$ горячие трещины не возникают, однако они интенсивно развиваются при значениях этого показателя > 2 . Повышение, например, содержания углерода, кремния, серы и фосфора повышает склон-

ность к горячим трещинам, а повышение содержания марганца и хрома – снижает ее. Предварительный до 150...700 °С и сопутствующий подогрев заготовки во время сварки уменьшают вероятность появления горячих трещин. Этой цели служат также удаление с поверхности заготовки слоя повышенной твердости или содержащего дефекты, замедленное охлаждение наплавленного металла, проковка шва для снятия внутренних напряжений и уменьшение числа слоев металла при многослойной сварке.

Холодные трещины образуются при температуре ниже 400 °С. Этим дефектам подвержены мартенситные и перлитные стали при их быстром охлаждении. Трещины распространяются из наплавленного в основной металл.

Подрез – это канавка у края шва. Он получается при сварке током большой силы или горелкой большой мощности.

Наплыв происходит при быстром плавлении электрода или прутка и недостаточном нагреве свариваемого металла.

Непровар характеризуется плохой связью или ее отсутствием между наплавленным и основным металлами. Возникает при недостаточном нагреве свариваемого металла, малом угле разделки кромок, небольшом токе или малой мощности горелки, а также из-за большой скорости сварки.

К внутренним дефектам относят пережоги, шлаковые включения и газовые поры.

Пережог – это неисправимый дефект сварного шва, образующийся при пребывании металла в окислительной среде в жидком состоянии или при температуре, близкой к температуре плавления. Характеризуется появлением на границах зерен сплошных оксидных пленок.

Шлаковые включения образуются при сварке длинной дугой или окислительным пламенем.

Газовые поры – это пузырьки CO, CO₂, H₂ и других газов. Они возникают при использовании влажных электродов, неправильной регулировке горелки и плохой очистке поверхностей.

3.5.2. Сварка стали

Стали перлитного и мартенситного классов относятся к материалам с большим объемом полиморфного превращения. Они допускают исправление крупнозернистой структуры металла шва и основного металла путем последующей термической обработки. Сварку стальных заготовок по особенностям процесса разделяют на четыре группы.

Малоуглеродистые (сталь 10 и 20, Ст 3 и др.) и низколегированные (15Х, 15ХГ, 12ХН2 и др.) стали твердостью до 200 НВ применяются после прокатки. Они хорошо свариваются всеми видами сварки, не подвержены существенной закалке при сварке, поэтому после нее не проходят термическую обработку. Применяют электроды типа Э-42. Тонколистовые панели сваривают электродуговой сваркой током обратной полярности проволокой Св-08ГСА или Св-08Г2С в среде диоксида углерода или газовой свар-

кой. Газовая сварка нашла наибольшее применение при заварке трещин, закреплении листовых накладок, приварке обломов и сварке тонколистового металла при ремонте кузовов, кабин, кожухов, баков, оперения.

Среднеуглеродистые (сталь 30, 35 и др.) и низколегированные стали с содержанием углерода 0,3...0,4 % твердостью до 250 НВ относятся к удовлетворительно свариваемым материалам. Для сварки применяют электроды типа Э-42 и Э-50. Заготовки сложной формы и с толщиной стенок более 15 мм сваривают с предварительным подогревом до 200 °С. После сварки производят отпуск при 650 °С. Газовую сварку выполняют только при положительной температуре окружающей среды.

Ограниченно свариваются углеродистые стали 45 и 50 и низколегированные стали с содержанием углерода до 0,45 %. Заготовки из них сваривают электродами типа Э-50А. Для заготовок из марганцовистых сталей с толщиной стенок до 4 мм применяют сварку газовую, ручную дуговую, под флюсом и в среде диоксида углерода. Заготовки после сварки проходят нормализацию.

Плохо свариваются стали с содержанием углерода > 0,55 % и малоуглеродистые стали с цементированными рабочими поверхностями. Их следует сваривать электродами марок 12АН-ЛИИВТ, Т-590 или ЭН-400. Для предупреждения образования трещин на границе сварного шва с цементованным слоем заготовки необходимо ее подогреть до температуры 150...200 °С.

При ручной сварке шов образуется в основном за счет металла электрода, а при автоматической – в значительной степени за счет расплавления основного металла.

3.5.3. Сварка чугуна

Сварка чугуна затруднена из-за его низкой пластичности и склонности к отбеливанию. Последнее объясняется большим содержанием углерода, выгоранием кремния и быстрым охлаждением металла. Углерод не успевает выделиться в виде графита и остается в составе цементита Fe₃C. При усадке чугуна возникают значительные внутренние напряжения. Кроме того, образующиеся при сварке чугуна тугоплавкие оксиды создают на поверхности сварочной ванны твердую корку, которая препятствует свободному выходу газов из расплавленного металла, что приводит к образованию пор.

Для получения мягкой перлитно-ферритной структуры необходимо, чтобы процесс графитизации происходил более полно. Этому способствует присутствие С, Si, Al, Ti, Ni и Cu. Введение в состав наплавочных материалов кислородсодержащих компонентов способствует максимальному удалению остаточного углерода. Карбидообразующие элементы W, Cr, V и Mo связывают углерод в труднорастворимые карбиды.

Чугун сваривают электродуговой, газовой или аргонодуговой сваркой. При электродуговой сварке возможно применение порошковой проволоки.

Применяют два основных вида сварки чугуна: горячую (с подогревом заготовки) и холодную (без подогрева).

При *горячей* сварке кромки чугунной заготовки предварительно разделяют, а затем заготовку нагревают до температуры 600...650 °С. Сварку ведут с использованием газового пламени. Применяют чугунные прутки марки А с повышенным содержанием кремния (до 3,0...3,5 %) или латунную проволоку Л63. Для первого материала необходим флюс ФСЧ-1, для второго – флюс, состоящий из смеси буры и углекислого натрия в равных массовых долях. За сваркой следует низкотемпературный отжиг, т.е. нагрев заготовки до 650...700 °С и ее охлаждение вместе с печью.

Горячая сварка обеспечивает высокое качество шва, однако она энерго- и трудоемкая, сопряжена с тяжелыми условиями труда, поэтому ограниченно применяется при восстановлении корпусных деталей.

Холодная сварка чугуна проще горячей. Применяют следующие ее виды: газовую, ручную стальными электродами и электродами из цветных металлов и сплавов и полуавтоматическую проволокой.

Газовую сварку тонкостенных заготовок выполняют прутками Пр-ЧН1, а толстостенных – Пр-ЧН2 (табл. 3.7). В качестве прутков используют также изношенные чугунные поршневые кольца. Применяют флюсы ФЧН-1 и ФЧН-2 (табл. 3.8). В качестве флюсов также служат техническая бура или смесь из 50 % буры и 50 % двууглекислого натрия.

Таблица 3.7

Состав прутков для холодной сварки чугуна

Марка прутка	Химический состав, % массы						
	C	Si	Mn	P	Ni	Ti	S
Пр-ЧН1	3,0...3,5	3,0...3,4	0,5...0,8	0,2...0,4	0,4...0,6	0,03...0,06	0,05
Пр-ЧН2		3,5...4,0					

Таблица 3.8

Флюсы для холодной сварки чугуна

Марка флюса	Состав, % массы			
	Бура плавная техническая	Углекислый натрий	Азотнокислый натрий	Углекислый литий
ФЧН-1	23	27	50	–
ФЧН-2	18	25	56,5	0,5

Газовую сварку-пайку ведут прутками ЛЮМНА-49-05-10-04, ЛОК-59-1-03 или Л-63 (температура их плавления до 950 °С) с флюсами.

Для сварки заготовок из серого и высокопрочного чугуна и их соединений со сталью применяют стальные электроды ЦЧ-4, изготовленные

из проволоки Св-08 или Св-08А с толстым фтористо-кальциевым покрытием. Покрытие включает титан или ванадий, содержание которых в наплавленном металле доходит до 9,5 %. Сварку ведут электродами диаметром 3...4 мм на постоянном токе силой 120...150 А обратной полярности при напряжении 20 В. Перед сваркой заготовку рекомендуется подогреть до температуры 150...200 °С, а после наплавки валиков их сразу же проковать. Electrodes ЦЧ-3А представляют собой проволоку Св-07Н50 с фтористо-кальциевым покрытием, содержащим до 5,5 % кремния.

Сварка чугуна электродами из цветных металлов более дорогая, но обеспечивающая достаточные прочность, пластичность и плотность шва. Широко применяют медные электроды ОЗЧ-1 с фтористо-кальциевым покрытием, содержащим железный порошок, и электроды МНЧ-1 диаметром 3...4 мм из монель-металла (63 % никеля и 37 % меди) с фтористо-кальциевым покрытием УОНИ-13/55. Режим сварки: постоянный ток силой 150...160 А обратной полярности и напряжением 20 В, короткая дуга. После сварки каждый участок шва проковывают в течение времени, пока температура шва не достигнет 50...60 °С. Вместо медно-никелевых электродов можно использовать железо-никелевые электроды типа ЖНБ.

Особенности полуавтоматической сварки чугуна следующие. Электродную проволоку марки Св-08Г2С диаметром 1,0...1,2 мм используют для сварки в среде диоксида углерода, при этом сила тока 80...100 А обратной полярности, напряжение 20...22 В, расход газа 1,0...1,5 л/с. Применяют аргонодуговую сварку проволокой МНЖКТ-5-1-02-02 диаметром 1,0...1,2 мм при постоянном токе 80...120 А обратной полярности и напряжении 20...25 В. Скорость подачи проволоки составляет 7...11 м/мин, а расход аргона – 1,0...1,5 л/с. Хорошие результаты дает применение проволоки ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12 диаметром 1,4 мм (табл. 3.9). Режимы сварки: ток 100...140 А, напряжение 14...18 В, скорость сварки 0,09...0,15 м/мин.

Таблица 3.9

Состав сварочных проволок ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12, % массы

Компонент	ПАНЧ-11	ПАНЧ-12
Никель	80	Остальное
Медь	2...3	2...3
Марганец	1...4	1..4
Редкоземельные элементы	0,1...0,5	0,1...0,5
Железо	Остальное	25...28

Уменьшение твердости материала шва при сварке чугуна достигают способом отжигающих валиков, когда предыдущие участки швов нагреваются теплом от последующих участков. Твердость шва при этом снижается на 20...25 %.

3.5.4. Сварка цветных металлов

Алюминиевые сплавы характеризуются плохой свариваемостью. На поверхности нагреваемой заготовки образуется пленка плотного, химически стойкого и тугоплавкого оксида. Температура его плавления $2160\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как самого алюминия – $659\text{ }^{\circ}\text{C}$. При нагреве до $400\text{...}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ сплав теряет свою прочность и заготовка может разрушиться даже под собственным весом. Коэффициент линейного расширения материала в 2 раза, а теплопроводность в 3 раза больше, чем у стали, что способствует появлению значительных остаточных напряжений в свариваемых деталях. Большая растворимость водорода в расплавленном металле способствует образованию пор.

Поверхности заготовок перед сваркой очищают от загрязнений, а за $2\text{...}4$ часа до сварки их обезжиривают растворителями.

Алюминий и его сплавы сваривают одним из следующих способов: ручной дуговой сваркой плавящимся или неплавящимся электродом; газовой сваркой с применением флюсов или без них; аргонодуговой сваркой. Оксидную пленку удаляют шабрением, флюсами или катодным распылением.

Сварку плавящимся электродом ведут короткой дугой прямой полярности. Силу тока выбирают из расчета 40 A на 1 мм диаметра электрода. Скорость наплавки составляет $0,4\text{...}0,6\text{ м/мин}$, а напряжение холостого хода – $60\text{...}70\text{ В}$. Перед заваркой трещины по всей ее длине вырубают канавку.

В качестве флюсов при сварке заготовок из алюминиевого сплава подбирают вещества из группы галогенов, которые восстанавливают алюминий из его оксидов. Галогены, используемые в качестве сварочного флюса, должны иметь невысокую температуру плавления ($600\text{...}700\text{ }^{\circ}\text{C}$). Этим требованиям удовлетворяют хлористые и фтористые соли щелочных и щелочно-земельных металлов (NaF , NaCl , KCl , Na_3AlFe_6 , BaCl_2 , CaF_2 и др.). Флюсы нельзя применить в вертикальном и потолочном положениях сварки. Из-за высокой коррозионной активности флюсы после сварки должны быть тщательно удалены с заготовки.

При дуговой сварке алюминиевых сплавов А6, АД0, АД1, АД2 применяют электроды ОЗА-1 и флюс АФ-4А, сплавов АМц и АЛ9 – электроды А-2, силуминов АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9П и АЛ11 – электроды ОЗА-2. Диаметр электродов $4\text{...}6\text{ мм}$. Участок заготовки под сварку предварительно подогревают в термической печи или пламенем газовой горелки.

Сварку угольными электродами ведут на постоянном токе прямой полярности. Угольные электроды диаметром $10\text{...}18\text{ мм}$ имеют длину $200\text{...}700\text{ мм}$. Заготовки толщиной до 2 мм сваривают без присадочного материала и разделки кромок, а свыше 2 мм – с зазором $0,5\text{...}0,7$ толщины стенки или с разделкой кромок. Заготовки перед сваркой нагревают до температуры $250\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оксидную пленку удаляют с помощью флюса АФ-4А. Во время сварки электрод перемещают только вдоль шва без по-

перечных колебаний, он располагается перпендикулярно к свариваемой поверхности. Дуга должна быть как можно короче.

Сварку алюминиевых сплавов постоянным током обратной полярности силой до 150 А применяют редко из-за сильного нагрева электрода.

Газовую сварку без флюса ведут горелкой с восстановительным пламенем. Разогревают место сварки и присадочный материал до плавления, затем прутком из коррозионно-стойкой стали удаляют оксиды и перемешивают основной и присадочный материалы.

Газовую сварку ацетилено-кислородным пламенем выполняют также с использованием флюсов АФ-4А, АН-4А и др. Флюс насыпают у кромки разделки и в процессе сварки его подвигают прутком в сварочную ванну.

Широкое распространение получила аргонодуговая сварка на переменном токе. В этом процессе кромки заготовки и присадочный материал расплавляются теплом электрической дуги, образующейся между вольфрамовым неплавящимся электродом и заготовкой. При этом из сопла горелки непрерывно подается аргон, который окружает дугу, создает сосредоточенный нагрев и предохраняет расплавленный металл шва от вредного влияния кислорода и азота воздуха.

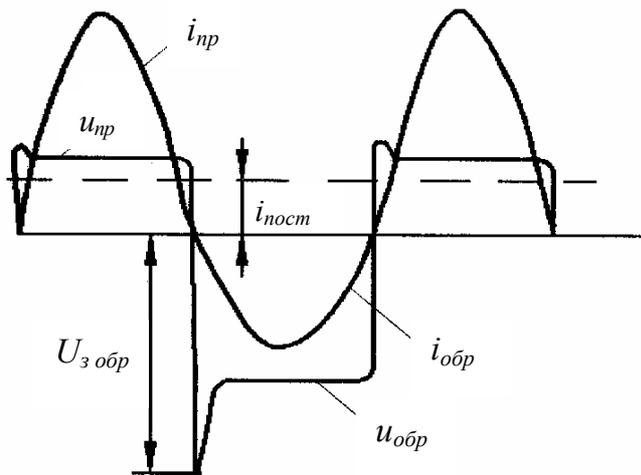


Рис. 3.12. Осциллограмма напряжения и тока источника питания аргонодуговой сварки: $i_{пр}$ и $i_{обр}$ – текущие значения прямого и обратного тока; $i_{норм}$ – эффективное значение тока; $u_{пр}$ и $u_{обр}$ – текущие значения напряжения прямого и обратного тока; $U_{з\ обр}$ – напряжения зажигания дуги в обратном полупериоде

алюминиевого катода ничтожно мала. Для зажигания дуги за счет автоэлектронной эмиссии требуется напряжение около 200 В. Необходимое значение напряжения создает импульсный источник. Важно то, что в этом полупериоде идет очень полезный процесс – интенсивное катодное распыление пленки оксида алюминия после ее разрушения положительными ионами.

Осциллограмма напряжения источника питания имеет специальную характеристику (рис. 3.12).

В полупериоде прямой полярности, когда катодом является нагретый свыше 3700 °С вольфрамовый электрод, мощная термоэлектронная эмиссия обеспечивает значительный ток дуги и интенсивное плавление основного металла. Напряжение зажигания почти равно напряжению дуги и при короткой дуге в аргоне составляет всего 10 В. В конце полупериода дуга гаснет.

В полупериоде обратной полярности термоэлектронная эмиссия сравнительно холодного

В качестве присадочного материала применяют прутки того же состава, что и основной металл, а также проволоку Св-АК5 или Св-АК10.

Диаметр электрода и силу тока выбирают в зависимости от толщины свариваемых стенок. Материал подают в дугу под углом 90° к оси вольфрамового электрода. Размеры сварочной ванны должны быть минимальными. Сварку стенок толщиной до 10 мм ведут левым способом. Дуга должна быть как можно короче.

Режим аргонодуговой сварки при толщине стенки 4...6 мм следующий. Диаметр присадочного прутка 3...4 мм, сила тока 150...270 А, напряжение 18...20 В, расход аргона 7...10 л/мин. При добавлении к аргону 10...12 % (по объему) диоксида углерода и 2...3 % кислорода повышается устойчивость горения дуги и улучшается формирование шва.

Для аргонодуговой сварки применяют водоохлаждаемые горелки ГРАД-200 и -400, которые подключают к источникам питания переменного тока УГД-301 или УДГ-501.

Аргонодуговая сварка обеспечивает повышение производительности труда в 3...4 раза по сравнению с ацетилено-кислородной сваркой. При этом не применяют электродные покрытия и флюсы, химический состав металла изменяется только за счет некоторого испарения элементов, сварной шов получается плотным без оксидных пленок, возможна сварка стенок толщиной 0,5 мм, а интенсивность излучения дуги снижена в 4...8 раз. Качество шва получается высоким, а коробление детали почти отсутствует. Однако этот вид сварки требует использования дефицитного газа, связан с вредными условиями труда, а сварщики должны обладать высокой квалификацией.

Сварка *свинца* также сопровождается образованием сравнительно тугоплавких оксидов с температурой плавления 888°C (температура плавления свинца 327°C). Сварку ведут нейтральным ацетилено-кислородным пламенем или с применением газов – заменителей ацетилена. Присадочным материалом служит свинцовая проволока или полоса. В качестве флюса применяют стеарин или состав из равных частей стеарина с канифолью, которыми натирают присадочный материал.

Медные сплавы хорошо свариваются. Однако расплав незначительно окисляется с образованием закиси меди, которая способствует образованию трещин и газовых включений.

Применяют электродуговую сварку током прямой полярности при его плотности на электроде $200...400\text{ А/см}^2$ под флюсом (94...96 % буры и 4...6 % магнезия), в защитных газах и плазменную. Электроды могут быть угольные, медные МСр-1, М0 и М1 (диаметром 0,5...0,7 толщины свариваемого металла) или комбинированные АНЦ-1 и АНЦ-2. После сварки шов проковывают. Далее для придания сварному соединению более высокой вязкости металл нагревают до $550...600^\circ\text{C}$ и быстро охлаждают в воде. В качестве защитной среды используют инертные газы, азот и водород.

3.5.5. Оборудование для сварки

Технологическое оборудование для сварки включает источники питания, ацетиленовые генераторы, вращатели и столы.

Для дуговой сварки применяют ток силой 50...5000 А и напряжением 8...140 В. В зависимости от вида используемой энергии и характера ее преобразования различают следующие типы источников питания для сварки:

- трансформаторы, понижающие переменное напряжение до необходимого при сварке;
- выпрямители, преобразующие энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока;
- генераторы, преобразующие механическую энергию вращения в электрическую энергию постоянного тока;
- преобразователи, которые являются комбинацией трехфазных асинхронных двигателей и сварочных генераторов и, следовательно, преобразуют сетевую электрическую энергию в электрическую энергию постоянного тока;
- агрегаты, каждый из которых состоит из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока.

Различают источники питания общепромышленного и специального назначения. К первым относятся источники для ручной сварки покрытыми электродами и механизированной сварки в диоксиде углерода и под слоем флюса. Они предназначены для сварки углеродистых и легированных сталей средней толщины. Вторые источники служат для сварки тонколистовой стали и цветных металлов, а также для выполнения процессов, родственных сварке – наплавки, напыления, резки. Эти источники относительно сложны, оснащены элементами автоматики, но обеспечивают высокое качество покрытий.

При полуавтоматической сварке электродную проволоку подают в зону сварки с помощью *сварочного полуавтомата*, который состоит из выпрямителя и механизма подачи проволоки (А-580М, ОКС-1252М, А-765, А-1197 и др.), выполненных в одном корпусе или отдельно.

Экономия электроэнергии за счет снижения напряжения холостого хода источников питания достигается применением блоков БСНТ-010. Масса устройства составляет 7 кг, время его срабатывания 0,04 с, время выдержки после прекращения сварки 0,64 с, номинальный сварочный ток 500 А при продолжительности включения 35 %.

Технологическое перемещение заготовок выполняют механическим путем на вращателях или вручную на столах. В качестве вращателей применяют специальные установки (УД-133, УД-140, УД-143, УД-144, УД-209, УД-233, УД-299, УД-302, У-651, ОКС-11200, ОКС-11236, ОКС-11238, ОКС-14408, ОКС-27432, 011-1-00 “Ремдеталь”) или переоборудованные списанные токарные станки.

Ацетиленовые генераторы вырабатывают ацетилен из карбида кальция и воды.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях применяют сварку ремонтных заготовок? 2. Как предотвратить горячие и холодные трещины в сварном шве и ЗТВ? 3. Особенности сварки стальных заготовок. 4. Приведите анализ холодной и горячей сварки чугуна. 5. В чем заключаются особенности сварки заготовок из алюминиевого сплава? 6. Какое оборудование применяют для сварки заготовок? 7. Приведите порядок выбора оборудования для различных видов электродуговой сварки.

3.6. Наплавка покрытий

3.6.1. Определение и общая характеристика способа

Наплавка покрытий – это нанесение расплавленного металла на разогретую до температуры плавления поверхность восстанавливаемой детали.

Наплавленные покрытия являются беспористыми, они обладают высокими значениями прочности при растяжении и модуля упругости. Прочность соединения этих покрытий с основой соизмерима с прочностью материала заготовки.

Наплавка покрытий необходима для последующих работ по восстановлению расположения, формы, размеров, шероховатости и износостойкости изношенных элементов. Состав и структура материалов покрытий обеспечивают также получение новых свойств, таких, как износо-, коррозионно-, эрозионно-, кавитационно- и жаростойкость поверхностей.

Наибольшее распространение получили различные виды электродуговой наплавки (под слоем флюса, в среде защитных газов, вибродуговая, самозащитной проволокой) и плазменная. Им уступают по применимости электрошлаковая, индукционная и лазерная наплавки. Перспективными видами являются наплавки электромагнитная и намораживанием.

3.6.2. Виды электродуговой наплавки

Электродуговая наплавка позволяет получать покрытия с высокой производительностью, практически любой толщины, различного химического состава и высокими значениями физико-механических свойств. Покрытия наносят на цилиндрические поверхности диаметром более 12 мм.

Электродуговая наплавка имеет большое число видов. Для ее классификации используют такие признаки:

- уровень механизации (ручная, полуавтоматическая, автоматическая);
- вид применяемого тока (постоянный, переменный, специальной характеристики);
- полярность электрода при постоянном токе (прямая (+ на электроде), обратная);
- вид электрода (плавящийся, неплавящийся);
- вид материала (компактная или порошковая проволока, лента, электромагнитная шихта, порошок);

- расположение сварочного валика относительно оси заготовки (поперечно, продольно);
- способ защиты расплавленного металла от кислорода и азота воздуха (в среде защитных газов, в жидкости, под слоем флюса, самозащитной проволокой, комбинированный);
- способ легирования наплавляемого металла (материалами электрода или покрытия, флюсом, комбинированный).

Технологические особенности электродуговой наплавки учитывают с целью ослабления нежелательных явлений, таких, как окисление металла, поглощение азота, выгорание легирующих примесей и нагрев материала заготовки выше температуры фазовых превращений. Окисление металла (рис. 3.13, *а*) приводит к снижению механических свойств сварочного шва. Поглощение азота (рис. 3.13, *б*) вызывает образование нитридов железа, марганца и других элементов, что увеличивает прочность шва, но резко уменьшает ударную вязкость. Свойства покрытия ухудшаются также при перемешивании нанесенного материала с материалом заготовки.

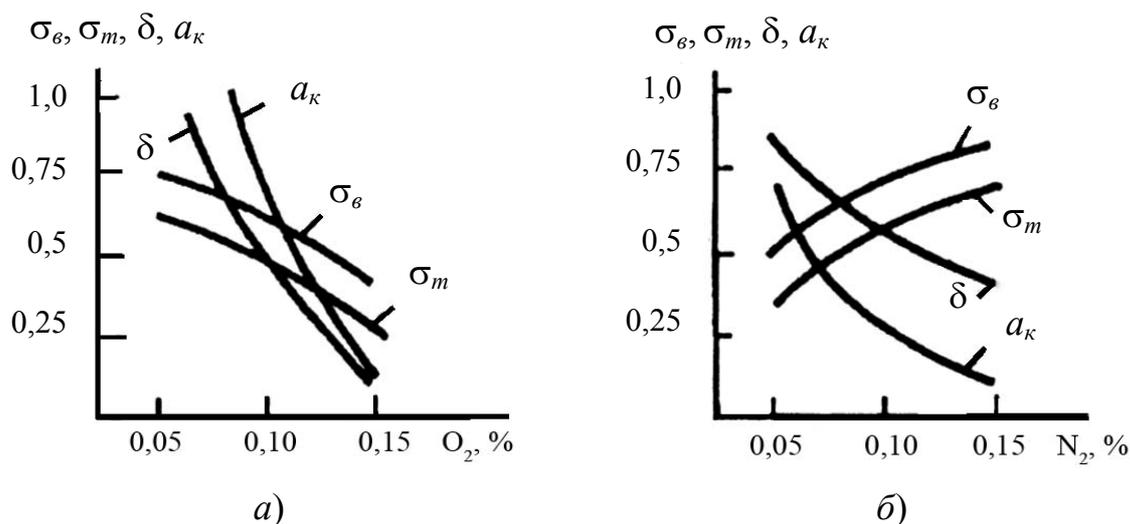


Рис. 3.13. Изменение механических свойств сварного шва в зависимости от содержания в нем: *а*) кислорода O_2 ; *б*) азота N_2 ; σ_b – предел прочности; σ_m – предел текучести; δ – относительное удлинение; a_k – ударная вязкость

Если максимальная твердость в зоне термического влияния выше 325HV, то рекомендуется предварительный подогрев заготовки до 250 °С (при твердости 250...325 HV рекомендуемый подогрев – около 150 °С, а при твердости 200...250 HV поверхность подогревают только в случае необходимости).

3.6.3. Ручная электродуговая наплавка

Ручную электродуговую наплавку выполняют электродами с покрытием и в тех случаях, когда применение механизированных способов невозможно или нецелесообразно.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в направлении наплавки (рис. 3.14). Наплавку выполняют электродами диаметром 2...6 мм на постоянном токе обратной полярности силой 80...300 А с производительностью 0,8...3,0 кг/ч. Высокая квалификация сварщиков необходима для того, чтобы вести наплавку на минимально возможной силе тока с целью уменьшения доли основного металла в наплавленном покрытии.

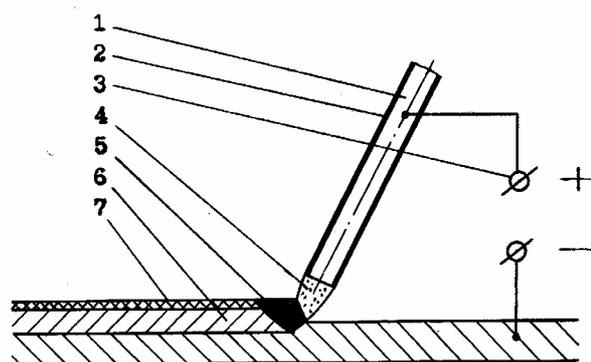


Рис. 3.14. Схема ручной электродуговой наплавки: 1 – электрод; 2 – электродное покрытие; 3 – источник питания; 4 – электрическая дуга; 5 – ванна расплавленного металла; 6 – покрытие; 7 – шлак

Процесс применяют для нанесения износостойких материалов на поверхности заготовок в единичном производстве.

3.6.4. Электродуговая наплавка под слоем флюса

Предложил способ и создал установку в 1929 г. Д.А. Дульчевский. Промышленную разработку процесса выполнил коллектив Института электросварки (Киев) под руководством акад. Е.О. Патона в 1938 – 1939 гг.

Наплавка под слоем флюса является развитием ручной наплавки электродами с толстыми покрытиями.

Сущность электродуговой наплавки *под слоем флюса* заключается в том, что сварочная дуга горит между голым электродом и заготовкой под слоем толщиной 10...40 мм сухого гранулированного флюса с размерами зерен 0,5 ...3,5 мм.

В зону наплавки подают сплошную или порошковую электродную проволоку (ленту) и флюс (рис. 3.15). К заготовке и электроду прикладывают постоянное электрическое напряжение обратной полярности. При наплавке цилиндрических поверхностей электрод смещают с зенита в сторону, противоположную вращению. Смещение составляет ~ 10 % от диаметра наплаваемой заготовки. Электрод наклоняют в сторону, обратную вращению заготовки под углом 6...8 ° к нормали. Флюс в зону наплавки подают из бункера. Расход флюса и, соответственно, толщину его слоя на поверхности заготовки регулируют открытием шиберов.

После зажигания дуги одновременно плавятся электродная проволока, поверхность заготовки и флюс. Массы расплавленного флюса и электродного металла примерно одинаковы. Сварочная дуга с каплями жидкого металла и ванна расплавленного металла на поверхности заготовки оказываются в объеме газов и паров, ограниченном жидким пузырем из расплавленного флюса. Этот пузырь изолирует расплавленный металл от ки-

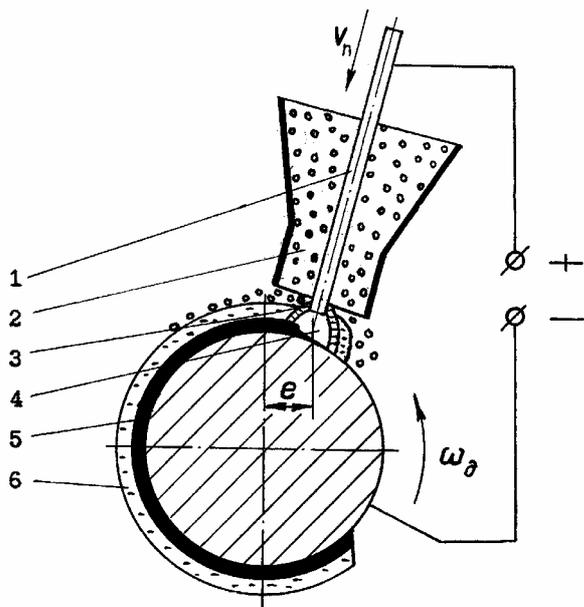


Рис. 3.15. Схема наплавки под слоем флюса: 1 – электрод; 2 – бункер с флюсом; 3 – оболочка расплавленного флюса; 4 – газопаровой пузырь; 5 – покрытие; 6 – шлаковая корка; e – смещение электрода с зенита; v_n – скорость подачи проволоки; ω_d – угловая частота вращения детали

димых свойств получаемого покрытия. Их применяют как в виде сухих зерен, так и в виде пасты из зерен со связующим. Элементы флюса выполняют свои функции в результате расплавления, сгорания или разложения. Расплавленный флюс должен быть жидкотекучим, температура его плавления должна быть меньше на 100...150 °С температуры плавления электрода. Однако флюс не должен кипеть при рабочей температуре. Затвердевший флюс в виде корки увеличивает время кристаллизации металла.

Флюсы, подобно толстым электродным покрытиям, содержат стабилизирующие, газо- и шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие вещества.

Расплавленные флюсы взаимодействуют с оксидными пленками как химические реагенты или физические растворители.

В первом случае они образуют с оксидами легкие химические соединения с низкой температурой плавления, которые всплывают на поверхность сварочной ванны. Флюсы бывают кислотными (борная кислота H_3BO_3 , бора $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, кварцевый песок SiO_2 и др.) или основными (CaO , MgO , FeO , CuO и др.). Если оксиды в ванне расплавленного металла кислотные, то применяют основные флюсы, для взаимодействия с основными оксидами применяют кислотные флюсы.

Во втором случае флюсы растворяют оксиды металлов и образуют шлаки, также всплывающие на поверхность расплавленного металла.

слорода и азота воздуха. Металл в сварочной ванне состоит на 1/3 из материала электрода и на 2/3 из материала заготовки, которые постоянно движутся и перемешиваются.

Механизированную наплавку под слоем флюса применяют при восстановлении деталей диаметром более 50 мм из углеродистых и низколегированных сталей, требующих нанесения покрытий толщиной более 2 мм с высокими требованиями к их физико-механическим свойствам. Наплавляют шейки валов, поверхности катков и роликов, направляющие станин и другие элементы.

Флюсы вместе с материалом проволоки или ленты играют важную роль в обеспечении необходи-

В результате выполнения флюсом своих функций создаются условия для выхода газов из покрытия, более полного протекания диффузионных процессов, формирования равновесных структур и достижения высокого термического КПД наплавки. Валики под флюсом получаются с гладкой поверхностью и плавным переходом от одного к другому. По сравнению с ручной наплавкой покрытыми электродами при наплавке под слоем флюса применяют токи большей плотности, исключаются разбрызгивание и угар металла, отсутствует открытая дуга.

Флюсы по составу и способу приготовления делятся на плавленные, керамические (неплавленные) и смеси.

Плавленные флюсы получают плавлением исходных материалов (марганцевой руды, кварцевого песка, известняка, плавикового шпата, магнетита, диоксида титана и др.) в электрических или пламенных печах с последующей грануляцией. При этом расплавленную массу выливают в воду и получают стекловидные или пемзовидные гранулы сферической формы. Плавленные флюсы содержат стабилизирующие, газо- и шлакообразующие компоненты и раскислители (оксиды кремния и марганца). Они подразделяются на виды в зависимости от массовой доли оксидов кремния и марганца. Марганцовистые флюсы содержат более 12 % MnO. Низкокремнистые флюсы содержат менее 30 %, а высококремнистые – более 30 % SiO₂.

Широко применяют при восстановлении деталей флюсы марок АН-348А и ОСЦ-45, которые содержат в своем составе 38...44 % оксида кремния, обеспечивают устойчивое горение дуги, хорошее формирование сварочных валиков и небольшое число пор в наплавленном металле. Флюсы марок АН-20 и АН-30 уменьшают возможность появления пор и горячих трещин в наплавленном слое. Флюсы АН-348А, ОСЦ-45 и АН-10 применяют для наплавки заготовок из углеродистых сталей, а флюсы АН-20 и АН-26 – для наплавки заготовок из легированных сталей.

Химический состав некоторых плавленных флюсов приведен в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Содержание веществ в плавленных флюсах (% массы)

Марка флюса	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O ₄ и Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	S	P	FeO
АН-10	20 ...23	29 ...34	19 ...21	3 ...5	до 1,2	0,4 ...0,6	1,2	18 ...24	0,15	0,20	–
АН-20	22	до 0,5	30	5	11	2,7	–	29	0,08	0,05	1
АН-30	3	> 0,5	41,5	18	14,5	–	–	21	0,08	0,05	1
АН-348А	41 ...44	34 ...38	>4,5	>6,5	5,75	–	–	4 ...5,5	0,15	0,12	–
ОСЦ-45	38 ...44	38 ...47	4,5	6,5	2,5	–	2	6 ...9	0,15	0,15	–

Плавленные флюсы хорошо защищают сварочную ванну, обеспечивают малую склонность покрытия к образованию трещин и удовлетворительное отделение шлаковой корки, но не содержат легирующих элементов.

Керамические флюсы представляют собой механическую смесь легирующих, модифицирующих и шлакообразующих составляющих, соединенных жидким стеклом (17...18 % от массы сухих компонентов). Во время их приготовления смешивают порошки исходных материалов, добавляют связующее вещество, затем массу дробят на гранулы размером 2...3 мм и сушат в течение 20 мин при температуре 200 °С.

Легирующие свойства флюсам придают ферросплавы (феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан). При этом отдельные легирующие вещества выполняют и функцию раскислителей. Эти флюсы содержат до 50 % неокисленных элементов, что позволяет активно воздействовать на металлургические процессы и получать покрытия с необходимыми механическими свойствами. Однако легирующие элементы распределены в объеме материала флюса неравномерно, что приводит к химической и структурной неоднородности наплавленных покрытий.

Наиболее распространены керамические флюсы АНК-18, АНК-19, АНК-30 и ЖСН-1.

Состав флюса АНК-18 (% массы) следующий: CaCO_3 – 6...7, CaF_2 – 26...28, MgO – 26...30, Al_2O_3 – 17...18, SiO_2 – 7...11, Na_2SO_4 или K_2O – 2,0...2,5, Cr – 5,2...6,5, Mn – 2,0...2,5, C – 0,12...0,20, Ti – 0,2...0,3, Al – 1,9...2,0, Si – 0,2...0,3, Fe – 3...4, S и P – до 0,15.

Флюсы-смеси получают смешиванием плавленных и керамических флюсов или плавленных флюсов с ферросплавами и графитом. Такие флюсы обеспечивают получение закалочной структуры материала без последующей термообработки.

Например, к плавленому флюсу АН-348А добавляют легирующие вещества в виде серебристого графита из электродов сталеплавильных печей, ферромарганца (70...80 % Mn и 1,5...2,0 % C), ферросилиция (70...80 % Si), феррохрома (70...80 % Cr) и алюминиевого порошка.

При наплавке часть легирующих элементов выгорает, их пополнение идет из материала электродной проволоки и (или) флюса.

При легировании наплаваемого металла через проволоку используют высокоуглеродистую или легированную проволоку под плавленным флюсом. Марку электродного материала и флюса выбирают с учетом требуемых физико-механических свойств покрытия. При этом обеспечивают высокую точность легирования и стабильность химического состава наплавленного металла по глубине покрытия.

Легирование наплавленного металла через флюс ведут наплавкой малоуглеродистой проволокой под слоем керамического флюса. Высокая твердость покрытий исключает последующую поверхностную закалку. Однако этот способ легирования не получил широкого применения из-за

большого количества наплавочных трещин в покрытии и неравномерности химического состава по его объему.

Комбинированный способ легирования одновременно через проволоку и флюс получил наибольшее применение.

Примерные режимы наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Режимы наплавки под слоем флюса

D , мм	I , А		U , В	v_n , м/мин	v_n , м/мин	e , мм	S , мм	h , мм
	$d_3 = 1,2$...1,6 мм	$d_3 = 2,0$...2,5 мм						
50...60	120...140	140...160	26...28	16...20	77	3	3,0	1,5...2,5
65...75	150...170	180...220	26...28	16...28	87	4	3,5...4,0	1,5...2,5
80...100	180...200	230...280	28...30	16...30	104	6	4,0	1,5...2,5
150...200	230...250	300...350	30...32	16...32	140	12	5,0	2,0...3,0
250...300	270...300	350...380	30...32	16...35	200	18	6,0	2,0...3,0

Обозначения: D – диаметр заготовки; h – толщина наплавленного покрытия; I и U – сила и напряжение тока; v_n и v_n – скорость наплавки и подачи электродного материала; S – шаг наплавки, d_3 и e – диаметр и смещение электрода с зенита

Повышение производительности процесса и меньшее выгорание легирующих элементов в исходных материалах обеспечивает *многоэлектродная* наплавка под слоем флюса (рис. 3.16). Этим способом наплавляют детали со значительными износами на большой площади. Блуждающая дуга горит между заготовкой и ближайшим к ней электродом.

Механизированная наплавка под слоем флюса обладает такими преимуществами:

- повышенной в 6...8 раз производительностью труда по сравнению с ручной электродуговой наплавкой и уменьшенным в 2 раза расходом электроэнергии за счет более высокого термического КПД;

- высоким качеством наплавленного металла за счет его легирования необходимыми элементами и рациональной организации тепловых процессов;

- меньшими потерями электродного материала;

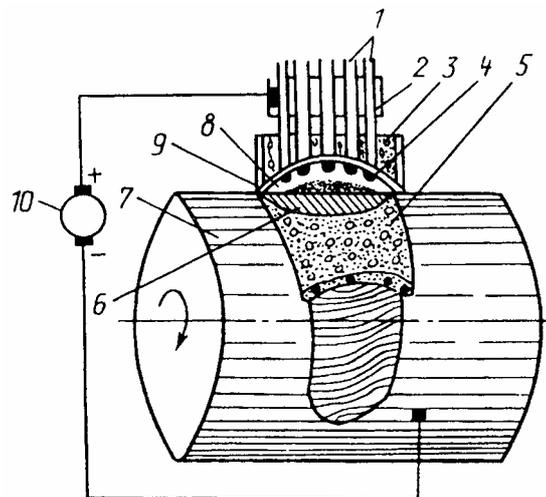


Рис. 3.16. Многоэлектродная наплавка под слоем флюса: 1 – электроды; 2 – токоподводящий контакт; 3 – флюс; 4 – электрическая дуга; 5 – шлаковая корка; 6 – наплавленный металл; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – газопаровой пузырь; 9 – оболочка расплавленного флюса; 10 – источник питания

– лучшими условиями труда наплавщиков за счет механизации процесса и отсутствия открытой дуги.

Недостатки процесса:

– большое вложение тепла в материал заготовки, что увеличивает ЗТВ и изменяет результаты предыдущей термической обработки. После наплавки обычно требуется последующая термическая обработка, хотя применение керамического флюса ее исключает;

– трудности удержания ванны расплавленного металла на поверхности цилиндрической заготовки. По этой причине детали диаметром менее 50 мм под слоем флюса не наплавляют;

– необходимость непрерывного удаления шлаковой корки;

– уменьшение усталостной прочности деталей до 20...40 % за счет остаточных напряжений, пористости и структурной неоднородности;

– вредное влияние на организм человека силикатной пыли, которая образуется при загрузке флюса в бункер и просеивании его после использования.

3.6.5. Электрошлаковая наплавка

Разработана в 1974 году в Институте электросварки им. Е.О. Патона.

Электрошлаковая наплавка отличается тем, что на нагретой поверхности заготовки формируют ванну расплавленного флюса, в которую вводят электрод, а к заготовке и электроду прикладывают напряжение (рис. 3.17). Ток, проходящий от электрода через жидкий флюс к заготовке, выделяет тепло в количестве, достаточном для плавления флюса, электродного металла и поверхности заготовки.

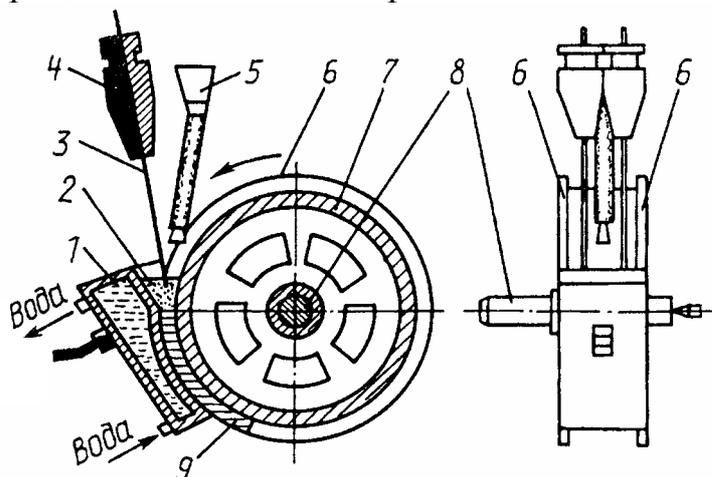


Рис. 3.17. Схема электрошлаковой наплавки:

- 1 – кристаллизатор;
- 2 – флюсовая ванна;
- 3 – электрод;
- 4 – мундштук;
- 5 – дозатор легирующих добавок;
- 6 – габаритные диски;
- 7 – восстанавливаемая деталь;
- 8 – оправка;
- 9 – покрытие

Температура флюсовой ванны выше, чем температура плавления металлов, поэтому флюс оплавляет поверхность заготовки и электрода. Зона наплавки на поверхности восстанавливаемой детали ограничена водоохлаждаемым кристаллизатором и технологической стальной пластиной. Кристаллизатор изготавливают из меди, графита или керамики. Присадоч-

ный металл после расплавления оседает и образует с помощью кристаллизатора покрытие толщиной $\leq 12 \dots 14$ мм.

Электрошлаковую наплавку применяют для получения биметаллических изделий и при восстановлении поверхностей деталей с износами более 10 мм. Восстанавливают опорные катки гусеничных машин, звенья гусениц, инструмент, шестерни коробок передач и другие детали. Процесс целесообразно применять при больших партиях заготовок и значительных объемах наплавочных работ.

Электрошлаковая наплавка дает наибольшую производительность (до 150 кг/ч) среди всех видов наплавки. Количество электродного металла, расплавленного при использовании одного и того же количества энергии, в 2...4 раза больше, чем при ручной сварке, и в 1,5 раза больше, чем при наплавке под слоем флюса. Наблюдается небольшой расход флюса, незначительный угар легирующих элементов и высокая стойкость к образованию трещин. Хорошо удаляются вредные вещества. Из-за отсутствия дугового разряда практически исключено разбрызгивание флюса и электродного материала.

Режим электрошлаковой наплавки опорных катков тракторов: напряжение 36...40 В, сила тока 800...900 А, скорость подачи проволоки 3,0...3,5 м/мин, глубина флюсовой ванны 80 мм, "сухой" вылет электродов 150 мм, количество электродов 2, диаметр проволоки 3 мм. Электродная проволока Св-08, флюс АН-348А или АН-8. Скорость подачи легирующих добавок (сормайта) 50...85 г/мин. Относительная износостойкость катков (по сравнению с новыми) равна 1,5...1,9.

Наплавку ведут специальными сварочными аппаратами или применяют источники питания постоянного или переменного тока с жесткой внешней характеристикой. Для электрошлаковой наплавки разработана установка ОКС-7755 ГосНИТИ.

Недостатки процесса: снижение пластичности материала вследствие высокой скорости охлаждения; невозможность получения покрытий толщиной менее 12 мм; высокое содержание основного металла в покрытии.

3.6.6. Наплавка в среде защитного газа

Разработана в ЦНИИТМаше коллективом под руководством проф. К.В. Любковского в 1952 г.

Сущность наплавки *в среде защитных газов* состоит в том, что в зону электрической дуги через кольцевое сопло подают под давлением защитный газ, в результате чего столб дуги и сварочную ванну изолируют от кислорода и азота воздуха (рис. 3.18).

Электродную проволоку диаметром 0,8...2,0 мм подают с постоянной скоростью 50...200 м/мин. Ток обратной полярности проходит через электродную проволоку и заготовку. Защитный газ под избыточным давлением 0,05...0,20 МПа подают в сопло, расположенное концентрично электроду. Расход газа составляет 0,6...1,0 м³/ч.

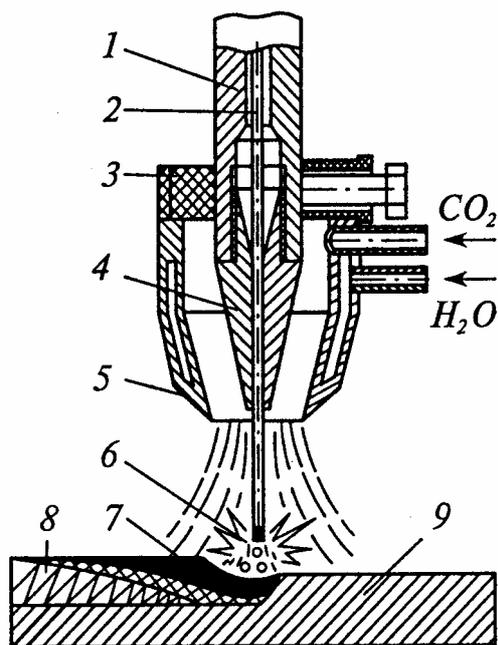


Рис. 3.18. Схема наплавки в среде диоксида углерода: 1 – мундштук; 2 – электродная проволока; 3 – горелка; 4 – наконечник; 5 – сопло горелки; 6 – электрическая дуга; 7 – сварочная ванна; 8 – покрытие; 9 – восстанавливаемая деталь

Механизированная наплавка в среде диоксида углерода применяется при восстановлении стальных и чугунных деталей диаметром более 12 мм, работающих в различных условиях. Восстанавливают как гладкие, так и шлицевые валы. Применяют токи большой плотности ($\sim 200 \text{ А/мм}^2$). Кроме того, наплавку ведут короткой дугой. Способ обеспечивает формирование плотного шва с небольшой ЗТВ, что позволяет восстанавливать нежесткие детали малого диаметра. По сравнению с автоматической наплавкой под слоем флюса процесс имеет такие преимущества:

- меньший нагрев заготовки;
- возможна наплавка заготовок меньшего диаметра и в любых пространственных положениях;
- более высокая производительность (в 1,2...1,5 раза по массе и на 30...40 % по площади покрытий);
- нет необходимости в отделении шлаковой корки и зачистке швов;
- в 1,2...1,5 раза экономичнее.

При наплавке в среде диоксида углерода образуется атомарный кислород при диссоциации CO_2 и CO



В качестве защитной среды используют инертные газы (аргон, гелий и их смеси), активные газы (диоксид углерода, азот, водород, водяной пар и их смеси) и смеси инертных и активных газов. Применяют также продукты сгорания горючих газов или жидкого углеводородного топлива. Наилучшую защиту металла при наплавке обеспечивают инертные газы, однако их применение ограничено высокой стоимостью. *Аргонодуговую* наплавку применяют для нанесения покрытий на детали из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей. Чаще применяют сварочный диоксид углерода, пищевую углекислоту или водяной пар.

Периферийная часть электрической дуги интенсивно охлаждается газом, поступающим из сопла, поэтому падение напряжения на единицу длины столба дуги будет в несколько раз больше, чем при дуговой сварке без подачи газа.

Атомарный кислород высокоактивен и способен окислять все элементы, входящие в состав материала проволоки и заготовки, в том числе и железо. Газообразные оксиды являются причиной образования пор. Это объясняет необходимость применения при сварке восстановителей в составе проволоки, в качестве которых выступают Si, Mn, Cr, Ti. Приведенные элементы восстанавливают железо из его оксидов:



Присутствие в металле шва более 0,2 % Si и более 0,4 % Mn препятствует образованию пор. Применяют наплавочные проволоки Св-08Г2С, Св-10Г2С, Св-12ГС, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА и др. диаметром 0,5...2,0 мм и порошковые проволоки ПП-Р18Т, ПП-Р9Т, ПП-Х2В8Т и др.

Ответственные детали с твердостью рабочих поверхностей 45...55 НRC наплавляют проволокой Нп-30ХГСФ диаметром 1,2...1,8 мм с последующей закалкой ТВЧ.

Наблюдается повышенное разбрызгивание металла (5...10 %) и потери защитного газа, ограниченное легирование наплавленного металла и снижение износостойкости и усталостной прочности на 10...20 %.

3.6.7. Наплавка самозащитных материалов

Применение флюсов или защитных газов при дуговой наплавке связано с затратами вспомогательных материалов и технологическими трудностями. Использование порошковой проволоки или ленты с необходимым составом сердечника позволяет отказаться от флюсов и защитных газов.

В состав порошковых электродных материалов, кроме порошков из легирующих материалов, вводят газо- и шлакообразующие вещества, которые защищают жидкий металл от воздействия кислорода и азота воздуха и повышают стабильность горения дуги.

Сплошные (компактные) проволоки в своем составе содержат легирующие и редкоземельные материалы. Например, проволока 15ГСТЮЦА содержит (%): 0,12...0,18 С, 0,45...0,85 Si, 0,6...1,0 Mn, < 0,3 Cr; < 0,4 Ni, 0,05...0,20 Ti, < 0,025 S, < 0,025 P, 0,20...0,50 Al, 0,05...0,15 Zr, \geq 0,04 Cs.

Для наплавки самозащитными проволоками и лентами характерны повышенные световое излучение дуги, газовыделение и разбрызгивание, что приводит к снижению полезного использования тепла и материала.

3.6.8. Вибродуговая наплавка

Процесс разработал Г.П. Клековкин в ЧИМЭСХ в 1950 – 1952 гг.

Вибродуговая наплавка (рис. 3.19) отличается тремя особенностями. Во-первых, в цепь нагрузки источника питания включена индуктивность L , во-вторых, его напряжение и мощность недостаточны для поддержания непрерывного дугового разряда и, в-третьих, электродная проволока совершает колебания относительно заготовки с частотой 50...100 Гц и амплитудой 1...3 мм с периодическим касанием наплавляемой поверхности. Вве-

дение индуктивности $0,4 \dots 0,7$ мГн в цепь дуги обеспечивает накопление электрической энергии в индуктивности во время холостого хода источника питания. Эта энергия расходуется на зажигание дуги после разрыва сварочной цепи и на ее горение в течение расчетного времени.

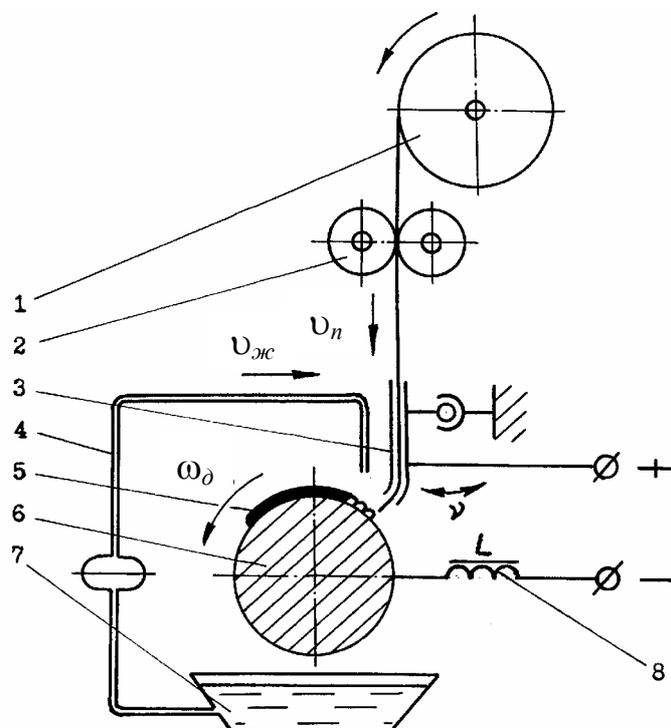


Рис. 3.19. Схема вибродуговой наплавки:

- 1 – кассета для проволоки;
- 2 – ролики подающие;
- 3 – мундштук качающийся;
- 4 – система подачи раствора;
- 5 – наплавленный слой;
- 6 – восстанавливаемая деталь;
- 7 – емкость;
- 8 – индуктивное сопротивление;
- v_n – скорость подачи проволоки;
- $v_{ж}$ – скорость подачи раствора;
- ω_d – угловая частота вращения детали;
- ν – частота качаний мундштука;
- L – индуктивность

Вибрация электродной проволоки и индуктивность формируют цикл наплавки, который состоит (рис. 3.20) из короткого замыкания, первого холостого хода t_{xx}' , дугового разряда и второго холостого хода t_{xx}'' . В завершение первого холостого хода за счет использования накопленной энергии в индуктивности зажигается электрическая дуга. Электрод и заготовка оплавляются во время дугового разряда, при этом на конце электрода образуется капля металла. Длительность существования дуги составляет примерно 20 % от времени цикла, поэтому проплавление основного металла неглубокое с небольшой ЗТВ. Энергия, запасенная индуктивностью, иссякает, дуга гаснет и наступает второй холостой ход. Мелкокапельный перенос металла на заготовку происходит преимущественно во время короткого замыкания.

Вибродуговую наплавку ведут под флюсом, в различных газовых средах или в водных растворах. Последний вид наплавки применяют чаще, при этом в зону наплавки подают 3...5 %-ный раствор кальцинированной соды или 10...20 %-ный раствор глицерина в воде. Если применяют закаливающийся электродный материал, то происходит закалка наплавленного покрытия. Жидкость и ее пары защищают расплавленный материал от кислорода и азота воздуха. Расход раствора составляет 0,5...1,0 л/мин, его подают в точку на расстоянии 15...30 мм от катодного пятна.

Вибродуговая наплавка позволяет получать покрытия высокой твердости и износостойкости без последующей термической обработки за счет применения электродной проволоки нужного состава. Заготовка нагревается до температуры не выше 100 °С. Наплавленный металл имеет равномерную толщину и гладкую поверхность.

Марку электродной проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств наплавленного металла. При наплавке стальных и чугунных заготовок для получения покрытия твердости 51...56 HRC применяют проволоку Нп-65, Нп-80, твердости 37...41 HRC – проволоку Нп-30ХГСА, а твердости 180...240 НВ – проволоку Св-08. Для наплавки покрытия толщиной до 1 мм применяют проволоку диаметром 1,0...1,6 мм, толщиной до 2 мм – 1,6...2,0 мм. При наплавке заготовок из серого чугуна ведут двухслойную наплавку проволокой Св-08, при этом расход жидкости составляет 0,02 л/мин.

Примерные режимы наплавки: ток обратной полярности силой 70...75 А, напряжение 12...30 В, диаметр проволоки 1,6 мм, шаг наплавки 2,3...2,7 мм/об (мм/дв. ход), угол подвода проволоки к заготовке 15...30 °, скорость подачи проволоки не более 1,65 м/мин, скорость наплавки 0,50...0,65 м/мин.

Процесс широко применяют при восстановлении стальных деталей (осей, толкателей), работающих в условиях изнашивания при невысоких требованиях к циклической прочности.

Свойства покрытий могут быть улучшены применением защитных сред (диоксида углерода, флюсов, водяного пара, пены), порошковых проволок, последующей термической обработки заготовок, обкаткой роликами или ультразвуковым упрочнением.

Для вибродуговой наплавки применяют источники питания с жесткой внешней характеристикой и дроссели.

Преимущества процесса:

- геометрическую точность детали достигают меньшими припусками на обработку;

- высокую твердость и износостойкость покрытий получают без отдельной термической обработки;

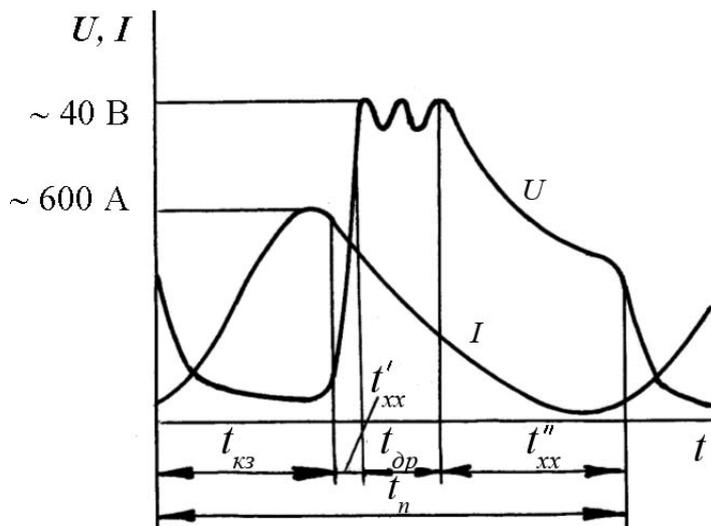


Рис. 3.20. Осциллограмма тока I и напряжения U при вибродуговой наплавке: $t_{кз}$ – время короткого замыкания; t_{dp} – время дугового разряда; t'_{xx} , t''_{xx} – время холостого хода; t_n – время цикла; t – текущее время

- заготовка при наплавке не деформируется;
- производительность в 4...5 раз выше, чем при ручной дуговой наплавке;
- увеличивается безопасность работ благодаря низкому напряжению холостого хода источника питания.

Недостатки процесса:

- снижение усталостной прочности до 60 % из-за образования закалочных структур в материале, вызывающих растягивающие напряжения;
- неоднородность твердости (в местах перекрытия точек сварки в результате отпуска твердость снижается);
- наличие пор в покрытии по причине быстрого перехода металла из жидкого состояния в твердое.

3.6.9. Плазменная наплавка

Плазменная наплавка – это процесс нанесения покрытий плазменной струей, когда заготовка включена в цепь нагрузки.

Различают наплавку по винтовой линии с непрерывной подачей плазмотрона и широкослойную наплавку с его колебаниями вдоль оси вращающейся заготовки. Для нанесения покрытий толщиной более 4 мм применяют многослойную наплавку.

В качестве плазмообразующего газа чаще применяют аргон. Наплавка с заменой аргона воздухом (до 90 %) значительно сокращает стоимость процесса. Для плазменной наплавки в воздушной среде разработаны порошковые сплавы на железной основе, в состав которых входят сильные восстановители и нитридообразующие элементы.

Процесс протекает с малым проплавлением заготовки. При плазменной наплавке получают покрытия толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1...45 мм. Если наносят легкоплавкий материал, то возможно нанесение покрытия с плавлением очень тонких поверхностных слоев.

Термический КПД наплавки в 2...3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса составляет 0,4...5,5 кг/ч, а при плазменно-порошковой наплавке аустенитных коррозионно-стойких сталей она не уступает производительности электродуговой наплавки этих материалов.

Для плазменной наплавки применяют железоуглеродистые высоколегированные сплавы, калмонои, стеллиты и инструментальные (в т.ч. быстрорежущие) стали в виде прутков, проволоки, порошков и комбинации материалов.

Широко применяют порошки самофлюсующихся сплавов на основе никеля (ПР-Н73Х16С3Р3 или ПР-Н70Х17С4Р4). Порошковый материал ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД обеспечивает твердость покрытия 58...60 HRC. Оптимальный размер частиц порошка составляет 60...100 мкм. Для плазменной наплавки перспективно применение смесей порошков.

Используют смеси порошков железа, быстрорежущего сплава и коррозионно-стойкой стали: ПЖВ-1 (60...75 %), ПР-М6Ф3 (15...30 %) и ПР-Х18Н9 (10 %). Химический состав составляющих порошков следующий: ПЖВ-1 (Fe – основа, С – 0,02 %, Si – 0,08 %, Mn – 0,10 %, S – 0,015 %, P – 0,015 %, O – 0,15 %); ПР-М6Ф3 (Fe – основа, С – 1,15 %, Cr – 4,2 %, Mo – 6,2 %, V – 2,5 %); ПР-Х18Н9 (Fe – основа, С – 0,2 %, Cr – 18 %, Ni – 9,5 %, Si – 0,8 % макс.). Добавка в приведенную смесь 10 % коррозионно-стойкой стали ПР-Х18Н9 даже при малом содержании углерода обеспечивает мартенситную структуру сплава.

Применение порошков позволяет изменять в широких пределах толщину покрытия, производительность наплавки, ширину шва и состав покрытия за счет выбора режимов их нанесения и применяемых материалов. Глубину проплавления материала детали регулируют независимо от подачи материала. Чтобы увеличить термический КПД наплавки и снизить вложение тепла в заготовку, процесс ведут с малой подачей и большим расходом порошка. При этом частицы должны перемещаться близко к оси плазменной струи, в этом случае они достигают поверхности заготовки в жидком состоянии.

Тепловую мощность плазменно-порошковой наплавки регулируют независимо от расхода подаваемого порошка. Температура наплавляемой поверхности заготовки изменяется под действием тепла предварительного подогрева, тепла от предыдущих валиков и тепла от валика, наносимого в рассматриваемый момент времени. Спустя некоторое время количество подводимого тепла становится равным количеству отводимого тепла, что приводит к достижению материалом заготовки теплового равновесия. К повышению термического КПД наплавки и исключению перегрева заготовки приводит предварительный нагрев заготовки и ограничение примерно на 40 % мощности плазматрона непосредственно во время наплавки.

Плазменная наплавка нашла применение при нанесении тонкослойных покрытий на поверхности ответственных деталей: коленчатых, кулачковых и распределительных валов, валов турбокомпрессоров, осей, крестовин карданных шарниров, направляющих станков и стендов, щек и сидел задвижек, шнеков экструдеров и др.

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения покрытий сводятся к следующему. Гладкая и ровная поверхность покрытий позволяет оставлять припуск на обработку 0,4...0,9 мм. Малая глубина проплавления (0,3...3,5 мм) обуславливает долю основного металла в покрытии не более 5 %. Ширина ЗТВ составляет 3...6 мм. Небольшое вложение тепла в заготовку обеспечивает небольшие деформацию и термические воздействия на структуру основы. При восстановлении детали обеспечивают высокую износостойкость наплавленных поверхностей. Наблюдается снижение усталостной прочности деталей на 10...15 %, что на-

много меньше, чем при использовании ряда других видов наплавки. Плазменная наплавка тонкослойных покрытий конкурирует с нанесением электрохимических покрытий.

3.6.10. Электромагнитная наплавка

Процесс совершенствуется в Беларуси. В настоящее время исследования ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Л.М. Кожуро.

Сущность *электромагнитной* наплавки заключается в нанесении покрытия из ферромагнитного порошка, удерживаемого силами магнитного поля, при этом через зоны контакта частиц порошка между собой и заготовкой пропускают постоянный ток большой силы.

В зазоре между заготовкой и полюсным наконечником создают магнитное поле, которое выстраивает и удерживает мостики частиц порошка, замыкающие электрическую цепь. К заготовке и полюсному наконечнику прикладывают напряжение. Покрытие получают за счет нагрева частиц порошка в зазоре, их оплавления и закрепления на восстанавливаемой поверхности. Плотность мощности достигает значений $50...5000 \text{ кВт/см}^2$. Покрытия наносят как на цилиндрические, так и на плоские поверхности. Хорошую обрабатываемость и износостойкость имеют покрытия из высокохромистого чугуна С-300 эвтектического состава и из быстрорежущих сталей Р6М5К5 и Р6М5Ф3.

Устройство для электромагнитной наплавки может быть одно- или двухполюсным (рис. 3.21). Двухполюсное устройство при прочих равных условиях дает более высокие стабильность и производительность наплавки, но однополюсное – более универсальное.

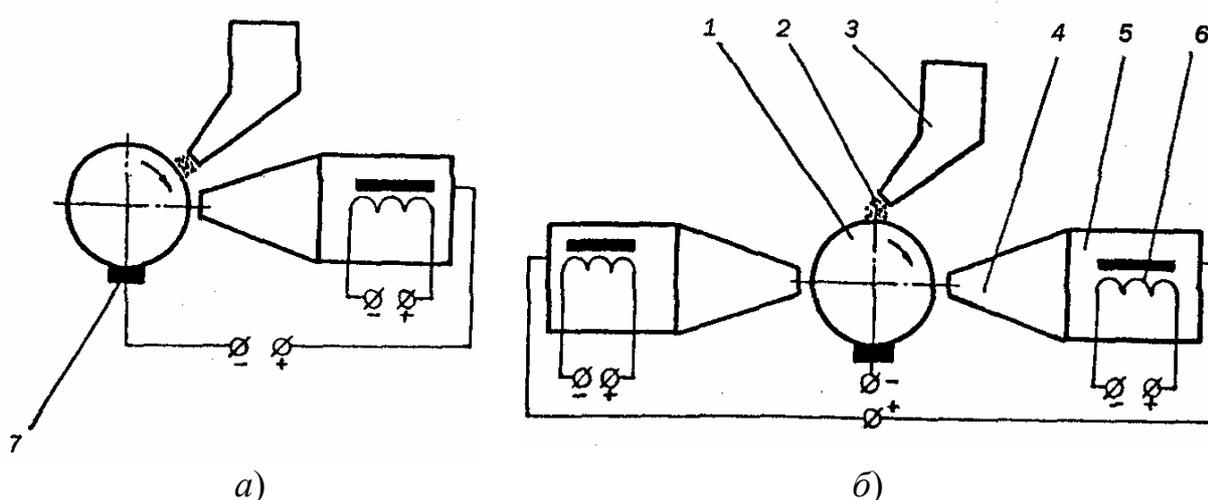


Рис. 3.21. Схема электромагнитной наплавки: а – однополюсной; б – двухполюсной; 1 – заготовка, 2 – порошок, 3 – бункер, 4 – наконечник, 5 – корпус, 6 – электромагнит, 7 – щетка

При наплавке трудно поддерживать режим из-за хаотического формирования многоэлектродной системы и дискретного расплавления цепо-

чек-электродов из частиц порошка в рабочем зазоре. Устраняют этот недостаток путем подачи в рабочий зазор присадочного материала в виде пасты с касанием ее неплавящимся электродом. Паста состоит из порошка (Fe – V, Fe – Ti, Fe – Cr, С-300, ПЖРВ2) зернистостью 150...300 мкм со связующим (жидким стеклом) в объемном соотношении 2:1. Повышение производительности достигают путем увеличения плотности тока до 3 А/мм². Можно получить покрытие толщиной около 2 мм. Стабильность наплавки еще больше повышается, если ферромагнитный порошок подают в рабочую зону в потоке рабочей жидкости.

Способ позволяет совмещать во времени процессы нанесения покрытия и поверхностного пластического деформирования, что обеспечивает получение сжимающих остаточных напряжений в наплавленном покрытии (усталостная прочность увеличивается в 1,2...1,4 раза), повышение его износостойкости в 1,8...2,7 раза, снижение коэффициента трения о контртело на 10...20 %, как при работе со смазкой, так и без нее.

Область применения процесса – восстановление деталей с износами до 0,6 мм в мелко- и среднесерийном производствах, совмещая его с поверхностным пластическим деформированием.

3.6.11. Лазерная наплавка

Лазерная наплавка использует в качестве источника тепла концентрированный луч лазера. Широко используют источники лазерного излучения марок ЛГН-702, УЛГН-502 и ЛОК-3М мощностью до 3 кВт.

Ввиду исключительной локальности воздействия луча при высокой плотности энергии лазерная наплавка применяется при восстановлении ответственных деталей (гладких валов и деталей со сложным профилем) с местными износами. Способ наиболее эффективен при восстановлении поверхностей площадью 5...50 мм² с величиной износа 0,1...1,0 мм, при этом расход порошков невелик, глубина термического влияния не превышает 0,5...0,6 мм, а заготовки не деформируются. Восстанавливают, например, кулачки распределительных валов, поверхности роторов турбокомпрессоров, оси фильтров тонкой очистки масла, фаски клапанов.

Порошковая лазерная наплавка заключается в подаче порошка газовым потоком в зону взаимодействия лазерного луча с восстанавливаемой поверхностью. Частицы порошка начинают нагреваться в лазерном луче и расплавляются в поверхностном слое покрытия.

Лазерную наплавку определяют следующие параметры: мощность лазерного излучения (1...3 кВт); скорость наплавки (16,7...33,3 мм/с); диаметр пятна нагрева (10...15 мм); расход порошка (2,1...3,2 кг/ч); угол ввода порошка (30...35 °).

Применяют лазерное оплавление шликерных покрытий при восстановлении плоских поверхностей или локально изношенных участков деталей в труднодоступных местах. Материал готовят в виде взвеси порошка в

растворе целлюлозы. В этом случае материал используется полностью. Для получения качественных покрытий лазером мощностью 1 кВт толщина шликера не должна превышать 1 мм, а мощностью 2,5 кВт – 2 мм. Величина перекрытия при этом должна быть не менее половины диаметра пятна нагрева.

Твердость покрытий из самофлюсующихся порошков составляет 35...60 HRC на стальных деталях и 45...60 HRC – на чугунных. Толщина нанесенного покрытия достигает 40...50 мкм. Прочность соединения покрытия с материалом подложки – не менее 250 МПа.

Структура оплавленных лазером слоев характеризуется чрезвычайной дисперсностью, отсутствием пор и оксидных включений. Содержание легирующих элементов в оплавленных участках покрытия мало отличается от исходного, а его равномерная толщина позволяет применять только шлифование.

3.6.12. Индукционная наплавка

Индукционная наплавка основана на использовании токов высокой частоты для нагрева металла заготовки и присадочного материала.

Индукционный нагрев обеспечивает скорость роста температуры до 200 °С/с и высокую производительность процесса. Однако при индукционной наплавке отсутствует защитная среда, что требует очистки заготовок и использования флюсов.

Восстанавливаемую поверхность детали предварительно обрабатывают для получения необходимых формы и размеров. На эту поверхность наносят шихту из магнитного порошкообразного твердого сплава и немагнитного флюса со связующим веществом. Если применяют самофлюсующийся порошок, то флюс не требуется. Толщина слоя шихты определяет толщину покрытия.

Заготовку с нанесенной шихтой вводят в индуктор, форма которого соответствует контуру наплавляемой поверхности. На индуктор подают высокочастотное напряжение. При прохождении ТВЧ через индуктор в поверхностных слоях заготовки возникают вихревые токи и наружный слой основного металла нагревается. Шихта на нагреваемой поверхности заготовки слабо взаимодействует с переменным электромагнитным полем из-за большого электрического сопротивления и небольших размеров частиц. Она нагревается за счет теплопередачи от основного металла. Температура плавления шихты должна быть на 100...150 °С ниже температуры плавления основного металла. Скорость нагрева поверхности заготовки превышает скорость ее охлаждения. Флюс шихты плавится, вступает во взаимодействие с оксидами и разрушает их на поверхности основного металла и поверхности частиц порошка. Флюс также предотвращает последующее образование оксидов и сдерживает теплоотдачу в окружающую среду. Дальнейшее повышение температуры шихты вызывает плавление ее

металлической части. При этом жидкий сплав вытесняет шлак из своего объема. После всплытия шлака нагрев заготовки прекращают и ее охлаждают на воздухе или в песке.

При индукционной наплавке проплавление основного материала незначительное. Высокая температура нагрева материала и различный химический состав флюса, шихты и основного металла способствуют развитию диффузии, которая обеспечивает прочное соединение наплавленного покрытия с поверхностью заготовки.

В качестве материалов применяют высоколегированные чугуны У30Х28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), У35Х2Н5 (нихард), Ж4НДХ-15-7-2 (нирезист); сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля – стеллиты В2К и В3К; композиционные материалы (псевдосплавы) на основе карбидов вольфрама (релиты) и хрома.

При наплавке сормайта и псевдосплавов применяют флюсы, содержащие 43...62 % борной кислоты, 30...42 % кристаллической буры и 5...15 % силикокальция. В зависимости от толщины наплавленного покрытия в шихте содержится 10...16 % флюса.

Порошкообразные твердые сплавы обеспечивают высокие эксплуатационные свойства восстановленных деталей. Материалы имеют небольшую магнитную проницаемость (являются парамагнитными). При изменении толщины слоя шихты от 1,5 до 4,5 мм необходимый размер частиц изменяется от 0,2...0,4 до 0,8...1,2 мм.

При увеличении в наплавленном металле содержания хрома и углерода увеличивается твердость и износостойкость покрытий в абразивной среде, но снижается их пластичность и стойкость к ударным нагрузкам. При уменьшении содержания хрома и углерода при одновременном увеличении содержания никеля, как правило, несколько снижается твердость, но одновременно повышается пластичность и стойкость к ударным нагрузкам.

Индукционная наплавка повышает в 2...5 раз износостойкость поверхности, не требует сложной оснастки и обеспечивает высокую культуру производства. Большая мощность ТВЧ позволяет наплавлять крупногабаритные детали с большими площадями износов. К таким деталям относят лемеха, лезвия, лапы культиваторов, траки гусениц и др.

Примеры использования индукционной наплавки при восстановлении деталей.

Индукционная центробежная наплавка зеркала гильзы цилиндра. Ось восстанавливаемой гильзы располагают горизонтально, в заготовку засыпают смесь самофлюсующегося порошка с железом или твердого сплава с флюсом, заготовку приводят во вращение, в нее вводят индуктор и включают высокочастотное напряжение. За счет теплопередачи от нагретой гильзы шихта расплавляется, а центробежные силы формируют из расплавленного металла износостойкое покрытие.

Восстановление (изготовление) биметаллических вкладышей заключается в следующем. Собирают пару вкладышей и между их стыками устанавливают антипригарную прокладку. Изделие устанавливают на валу. Во внутреннюю полость вкладышей засыпают

порошкообразную бронзовую шихту (Бр.ОС1-22, Бр.ОС12-17 или Бр.ОЦС5-5-5) и заготовки приводят во вращение с частотой 2000 об/мин. Во внутреннюю полость изделия вводят высокочастотный индуктор и включают нагрев изделия. При достижении температуры оплавления шихты, которая фиксируется бесконтактным автоматическим пирометром, нагрев изделия отключают и продолжают вращать его, охлаждая до температуры 300...500 °С. После остановки вала снимают заготовки и охлаждают их до комнатной температуры.

Преимущества процесса:

- высокая производительность;
- высокое качество наплавленного покрытия по плотности, структурной однородности и шероховатости поверхности;
- незначительное проплавление основного металла при высокой прочности соединения покрытия с основой;
- возможность получения тонких слоев при обеспечении точного допуска на толщину покрытия.

Недостатки процесса заключаются в его энергоемкости и сложности использования при восстановлении деталей с неравномерным износом.

3.6.13. Наплавка намораживанием

Совершенствование процесса ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Г.Ф. Бетени.

Сущность наплавки *намораживанием* заключается в затвердевании сплава на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав. После кратковременной выдержки заготовку с образовавшимся на ее поверхности покрытием извлекают из расплава (рис. 3.22).

Процесс нашел наибольшее применение при восстановлении почво-режущих инструментов (плужных лемехов, стрелчатых лап, плугов бульдозеров, зубьев ковшей) сельскохозяйственной и строительной техники. Эти элементы испытывают одно из самых интенсивных видов механического изнашивания – абразивное.

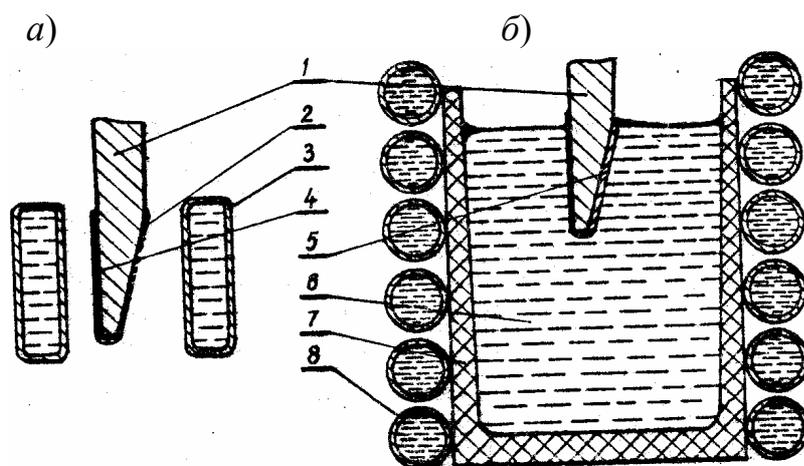


Рис. 3.22. Наплавка намораживанием: а – устройство активации; б – устройство для нанесения покрытия; 1 – восстанавливаемая деталь; 2 – флюс; 3 – индуктор; 4 – теплоизолирующий материал; 5 – покрытие; 6 – расплав; 7 – тигель; 8 – индуктор

Основные операции наплавки намораживанием: подготовка присадочного материала и восстанавливаемой поверхности, погружение заготовки в расплав, выдержка, извлечение из расплава и охлаждение.

Материал (сплав “Сормайт-1”, смеси КБХ и ФБХ-6-2, псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и др.) нагревают в индукционных печах до температуры, превосходящей на 30...50 °С температуру его плавления. Применяют тигли из графита или огнеупорного материала на основе нитридов бора и кремния. Слой расплавленного флюса АН-348А на поверхности присадочного материала препятствует выгоранию легирующих элементов.

Невосстанавливаемые поверхности заготовки, соприкасающиеся с расплавом, защищают тонким слоем меловой обмазки. На восстанавливаемые поверхности последовательно наносят слои водного раствора жидкого стекла и порошкообразного флюса, включающего 40 % (по массе) буры и 60 % борного ангидрида. Заготовку помещают в высокочастотный индуктор для активации наплавляемой поверхности при температуре 850...900 °С. Активация длится в течение 10...12 с, при этом флюс плавится, очищает поверхность от оксидов и защищает ее от последующего окисления.

Нагретую заготовку погружают в расплав. Детали типа ковшовых зубьев выдерживают в расплаве в течение 0,8...1,2 с. За это время на поверхности заготовки затвердевает покрытие толщиной 2,5...3,0 мм. Затем заготовку охлаждают на воздухе.

Износостойкость наплавленных намораживанием деталей в 1,8...3,5 раза выше, чем новых изделий. По производительности способ конкурирует со всеми видами наплавки, кроме электрошлаковой.

Наплавка намораживанием обеспечивает высокую износостойкость восстанавливаемых элементов за счет присутствия твердых структурных составляющих в наплавленном покрытии и придания его материалу анизотропной текстуры. Наличие в наплавочных материалах хрома и углерода способствует образованию карбидов хрома, микротвердость которых в 1,3...1,5 раза выше микротвердости кварца. Отвод тепла при кристаллизации материала покрытия организуют таким образом, чтобы главные оси карбидных фаз были направлены перпендикулярно поверхности трения.

Известен способ нанесения покрытия погружением нагретой заготовки в порошковую шихту. Температура заготовки в этом случае превышает температуру плавления металлической шихты. Частицы шихты в контакте с заготовкой расплавляются, расплав кристаллизуется на поверхности заготовки и образует покрытие. Время пребывания материала покрытия в расплавленном состоянии уменьшается, что позволяет сохранить его наследуемые свойства. Толщину покрытия регулируют изменением температуры нагрева заготовки.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите назначение и основные виды наплавки. 2. Какие особенности и область применения наплавки под слоем флюса? 3. Как выбирают материал электродной проволоки при наплавке в среде диоксида углерода? 4. Какие особенности и область применения вибродуговой наплавки? 5. В каких случаях применяют плазменную наплавку? 6. Приведите особенности и преимущества наплавки намораживанием.

Практическое занятие № 3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОЧНЫХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель занятия – приобретение навыков в назначении режимов наплавки материалов и определении материальных нормативов.

Последовательность расчетов наплавки проволочных и порошковых материалов следующая.

Диаметр электродной проволоки $d_э$ назначают в зависимости от толщины покрытия. При восстановлении деталей чаще принимают $d_э = 1,6 \dots 2,5$ мм.

Принимают плотность тока j (А/мм²): при ручной дуговой наплавке – 10...30, при наплавке под слоем флюса – 100...200, а в среде защитного газа – около 200.

Сила сварочного тока I равна

$$I = \frac{\pi d_э^2}{4} j, \text{ А.} \quad (3.9)$$

Напряжение дуги U зависит от силы сварочного тока. При наплавке под слоем флюса, например, напряжение дуги равно

$$U = 21 + 0,04I, \text{ В.} \quad (3.10)$$

Масса наплавленного металла $m_ч$ за один час равна

$$m_ч = \alpha_n I, \text{ г/ч,} \quad (3.11)$$

где α_n – коэффициент наплавки, определяющий массу наплавленного металла за 1 ч при силе тока 1А, г/А·ч.

Коэффициент наплавки (г/А·ч) на постоянном токе при ручной наплавке тонкообмазанными электродами равен 7,8...8,5, толстообмазанными электродами – 10...14, вибродуговой наплавке – 8...10, в среде диоксида углерода – 12...14, проволоки под слоем флюса – 14...16, ленты под слоем флюса – 15...20, при электрошлаковой наплавке – 20...25. В среднем на наплавку 1 кг металла при ручной дуговой наплавке на переменном токе затрачивают 3,5...4,5 кВт·ч электроэнергии, а на постоянном токе – 7...8 кВт·ч.

Масса подаваемой проволоки в зону наплавки в единицу времени равна массе наплавленного металла

$$m_ч = \frac{\pi d_э^2}{4} \gamma v_{np}, \text{ г/ч,} \quad (3.12)$$

где γ – плотность металла проволоки, г/см³; v_{np} – скорость подачи электродной проволоки, м/ч.

Приравнявая правые части зависимостей 3.11 и 3.12, определяют скорость подачи электродной проволоки

$$v_{np} = \frac{4\alpha_n I}{\pi d_э^2 \gamma}, \text{ м/ч.} \quad (3.13)$$

Площадь сечения наплавки F_n равна

$$F_n = \frac{\alpha_n I}{\gamma v_n}, \text{ см}^2, \quad (3.14)$$

где v_n – скорость наплавки, см/ч.

Скорость наплавки определяют по формуле

$$v_n = \frac{\alpha_n I}{F_n \gamma} = \frac{\alpha_n I}{B h k \gamma}, \text{ см/ч}, \quad (3.15)$$

где B и h – ширина и высота валика (рис. 3.23), см; k – коэффициент площади валика (0,5...0,7).

Частота вращения заготовки n при наплавке

$$n = \frac{60 v_n}{\pi d_\partial} = 6000 \frac{\alpha_n I}{\pi d_\partial B h k \gamma}, \text{ мин}^{-1}, \quad (3.16)$$

где d_∂ – диаметр заготовки, мм.

Основное время наплавки t_o равно

$$t_o = \frac{l}{S_n n}, \text{ мин}, \quad (3.17)$$

где l – длина наплавляемой шейки, мм; S_n – шаг наплавки, мм/об.

Расход материала Q_{np} на одну восстанавливаемую деталь

$$Q_{np} = \frac{10^{-5} \pi d_\partial^2}{2,4} v_{np} \gamma t_o, \text{ кг/деталь}. \quad (3.18)$$

Глубина проплавления основного металла и производительность процесса зависят от сварочного тока, угла наклона электрода и скорости наплавки. Глубину проплавления h_{np} определяют из выражения

$$h_{np} = (0,0061 \dots 0,0085) \sqrt{\eta_u I U / v_n}, \text{ мм}, \quad (3.19)$$

где η_u – коэффициент использования тепла при наплавке, равный отношению тепла, затраченного на плавление металла, к теплу, выделенному электрической дугой (зависит от рода и полярности тока, при наплавке под слоем флюса равен 0,8...0,9).

Шаг наплавки определяется шириной наплавленного валика B . Обычно его устанавливают с таким расчетом, чтобы перекрытие a составляло $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{2}$ ширины валика. Ширина валика примерно в 2...3 раза больше его высоты.

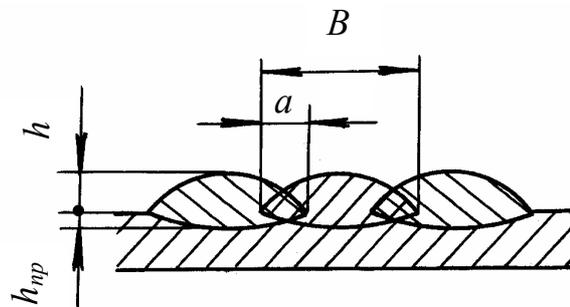


Рис. 3.23. Сечение наплавленных валиков

Режимы наплавки покрытий уточняют после расчета величины погонной энергии сварочной дуги W . Эта величина равна количеству тепла, введенного в единицу длины шва, т.е.

$$W = 360 IU\eta_u/v_n, \text{ кДж/м.} \quad (3.20)$$

Для получения качественных покрытий значение W ограничивают в пределах 630...1590 кДж/м. Чем больше диаметр электродной проволоки и размеры заготовки, тем больше значение W .

Технологические расчеты плазменно-порошковой наплавки выполняют в следующей последовательности.

Устанавливают диаметры (мм) заготовки до наплавки D_o , после нее D_n и длину (мм) наплавленной шейки l .

Толщина покрытия z равна

$$z = \frac{D_n - D_o}{2}, \text{ мм.} \quad (3.21)$$

Число наплавленных слоев покрытия при $z \leq 2,5$ мм принимают равным одному, при $2,5 < z \leq 5$ мм – двум и при $5 < z \leq 7,5$ – трем.

Назначают расход Q_n наносимого порошка в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали из отрезка значений 0,3...3,0 кг/ч. Меньшее значение расхода порошка соответствует наплавке заготовки, диаметр которой 10 мм. Большее значение применяют для заготовок, диаметр которых превышает 50 мм.

Устанавливают силу плазмообразующего тока по зависимости

$$I = (80 \dots 100) Q_n, \text{ А.} \quad (3.22)$$

Марку плазменной горелки выбирают исходя из силы тока.

Для определения скорости наплавки необходимо провести некоторые промежуточные расчеты.

Масса m_g одного валика равна

$$m_g = \frac{\pi(D_n^2 - D_o^2)}{4 \cdot 10^9} S_n \rho, \text{ кг,} \quad (3.23)$$

где S_n – подача плазменной горелки, мм/об; ρ – плотность наплавленного металла, кг/м³.

Угловую частоту вращения заготовки n , равную числу валиков металла, наносимых в одну минуту, определяют по формуле

$$n = \frac{1000v_n}{\pi D_o}, \text{ мин}^{-1}, \quad (3.24)$$

где v_n – скорость наплавки, м/мин.

Масса металла, наплавленного в одну минуту, равна

$$\frac{Q_n}{60k_u} = m_{\epsilon}n = \frac{(D_n^2 - D_o^2)S_n\rho v_n}{4 \cdot 10^6 D_o}, \text{ кг/мин}, \quad (3.25)$$

где k_u – коэффициент использования порошка, доли единицы.

Скорость наплавки равна

$$v_n = \frac{10^6 Q_n D_o}{15k_u (D_n^2 - D_o^2) S_n \rho}, \text{ м/мин}. \quad (3.26)$$

Основное время наплавки t_o равно

$$t_o = \frac{l}{S_n n}, \text{ мин}. \quad (3.27)$$

Расход порошка m_{∂} на одну восстанавливаемую деталь

$$m_{\partial} = \frac{Q_n t_o}{60k_u}, \text{ кг/деталь}. \quad (3.28)$$

Приведенная методика технологических расчетов принципиально применима и для других процессов нанесения порошковых материалов.

Данные индивидуального задания приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Задания для технологических расчетов

Варианты	Материал покрытия		Флюс	Защитный газ	Размеры элемента детали, мм		Толщина покрытия, мм
	проволока	порошок			диаметр	длина	
1	Св-30ХГСА	–	АН-348А	–	50	50	2,5
2	Св-30ХГСА	–	АН-348А	–	60	70	3,0
3	Св-08	–	АНК-18	–	50	80	4,0
4	Св-08	–	АНК-18	–	60	50	4,5
5	Нп-65	–	–	–	70	60	3,0
6	Нп-65	–	–	–	80	70	3,5
7	Св-15ГСТЮЦА	–	–	–	60	80	4,0
8	Св-15ГСТЮЦА	–	–	–	70	50	4,5
9	Св-08Г2С	–	–	СО ₂	60	60	5,0
10	Св-08Г2С	–	–	СО ₂	70	70	4,5
11	–	ПГ-10Н-01	–	–	50	35	3,0
12	–	ПГ-10Р6М5	–	–	60	40	3,5
13	–	ПГ-УС25	–	–	50	45	4,0
14	–	ПГ-С27	–	–	40	50	4,5
15	–	ПГ-ФБХ6-2	–	–	50	60	5,0

Содержание отчета: название и цель работы; изображение восстанавливаемого элемента детали; схема технологического устройства для нанесения покрытия; сведения о технологических режимах; норма расхода материала на одну деталь.

Лабораторная работа № 2

ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА

Цель работы – изучить оборудование и технологию плазменной порошковой наплавки. Изучить влияние силы тока на твердость покрытий, коэффициент использования материала, коэффициент наплавки, ширину наплавленного слоя.

Оборудование и материалы: пост плазменной наплавки на базе установки УПНС-304, весы с комплектом гирь, прибор для измерения твердости по методу Викерса ИТ2010-10, секундомер, порошок ПГ-СР4 (ПГ-10Н-01), образцы для наплавки; установка для приготовления шлифов, шлифовальная шкурка, реактивы для травления шлифов, микроскоп измерительный МПБ-2, ацетон.

Порядок выполнения работы:

- изучить оборудование для плазменной порошковой наплавки, плазматрон и питатель;
- подготовить для наплавки 8 плоских образцов (снять шкуркой окалину и протереть поверхность ацетоном);
- взвесить образцы $m_{об0}$ и порцию засыпки наплавочного порошка $m_{пр0}$;
- наплавить образцы, изменяя силу I тока в пределах от 50...200 А, с шагом в 50 А, время наплавки измерять при помощи секундомера. После наплавки каждого образца определить массу израсходованного порошка $m_{пр1}$;
- взвесить образцы $m_{об1}$ после остывания, удалить дефектный слой и подготовить образцы для измерения твердости;
- измерить твердость на приборе Викерса HV согласно ГОСТ 9450 (число измерений не менее пяти). Найти среднее значение твердости и погрешность измерений;
- определить коэффициенты использования материала $K_{ум}$ и наплавки α_n по формулам

$$K_{ум} = \frac{m_{об1} - m_{об0}}{m_{пр1}}, \quad (3.29)$$

$$\alpha_n = \frac{m_{об1} - m_{об0}}{I \cdot t}, \text{ г/А}\cdot\text{ч}, \quad (3.30)$$

где t – время нанесения покрытия, ч.

- приготовить поперечные шлифы;
- измерить ширину наплавленного слоя b , толщину покрытия H и размер зоны термического влияния h при помощи микроскопа МБС-2;
- свести полученные данные в табл. 3.13. Построить графическую зависимость параметров $K_{ум}$, α_n , b , H , h от силы тока I . Сделать выводы по работе.

Форма представления результатов лабораторной работы

I, A	Масса до наплавки, г		Масса после наплавки, г		$K_{ум}$	α_n	HV, MPa	$b, мм$	$H, мм$	$h, мм$
	$m_{об0}$	m_{np0}	$m_{об1}$	m_{np1}						
50										
100										
150										
200										

Содержание отчета: название и цель работы; оборудование и материалы; краткие теоретические сведения; характеристики установки плазменной наплавки; расчетные зависимости и результаты расчетов; порядок проведения наплавки; заполненная таблица 3.13; построенные графические зависимости; выводы по работе.

3.7. Напыление материала

Качественные покрытия получают в тех случаях, когда:

- отсутствуют реакции, способные изменить химический состав материала покрытия по сравнению с исходным;
- термические воздействия на заготовку не приводят к фазовым или структурным превращениям ее материала;
- перемешивание материалов основы и покрытия минимальное;
- в зоне соединения покрытия с основой не развиваются процессы, способные изменить ее структуру и фазовый состав.

Приведенные условия обеспечиваются при сохранении твердого состояния материала во время его нанесения. Наиболее полно им удовлетворяют электроконтактная приварка и газотермическое напыление металлического материала.

3.7.1. Определение способа, его виды и применение

Способ изобрел австрийский инженер М.У. Шооп в 1906 г., поэтому способ долгое время назывался шоопированием.

Напыление как процесс нанесения покрытий заключается в нагреве материала, его дроблении, переносе движущимся газом, ударе о восстанавливаемую поверхность или покрытие, деформировании и закреплении.

Напыляемый материал нагревается за счет теплообмена с высокотемпературной средой (продуктами горения газов, электрической дугой, плазмой или зоной прохождения вихревых токов). В ряде случаев материал дробится при плавлении. Частицы материала разгоняются и переносятся струей движущегося газа (сжатого воздуха, плазмы), достигают поверхности заготовки в пластическом состоянии, имея большой запас кинетической и тепловой энергии. Частицы ударяются о поверхность, деформируются и закрепляются на ней, расходуя накопленную энергию (рис. 3.24).

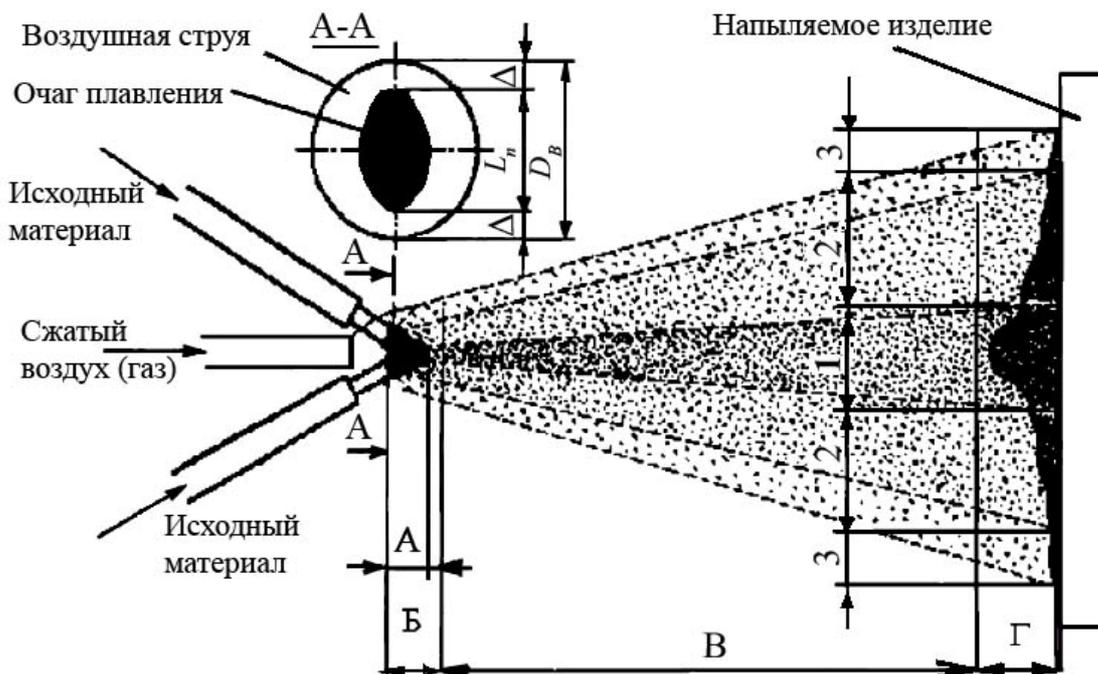


Рис. 3.24. Схема процесса напыления: А, Б, и В – соответственно, зоны плавления, распыления и переноса материала; Г – зона образования покрытия; 1, 2 и 3 – пятна, соответственно, максимального, среднего и минимального насыщения; D_B – диаметр воздушной струи; L_n – размер очага плавления; Δ – перекрытие

Соединение частиц материала с поверхностью заготовки носит в основном механический характер. Частицы сцепляются с неровностями поверхности или специально подготовленным профилем в виде “рваной” резьбы. Имеются также связи Ван-дер-Ваальса, металлическая и ковалентная.

Восстанавливаемая поверхность во время напыления находится в твердом состоянии, температура ее достигает только 150...200 °С, поэтому заготовка практически не деформируется.

Нагрев материала и его пребывание в ряде случаев в воздушной окислительной среде или в продуктах сгорания углеводородов приводят к изменению его химического состава и структуры. Оксидные пленки между покрытием и основой, слоями покрытия и отдельными частицами препятствуют образованию прочных связей между этими фрагментами. При ударах о поверхность заготовки частицы деформируются и приобретают расплюснутую форму, что приводит к наклепу материала и частичному разрушению оксидной пленки. Покрытие имеет слоистое строение. Существует переходная зона между покрытием и основным металлом.

В зависимости от вида источника тепла, посредством которого происходит нагрев и дробление напыляемого материала, различают основные виды напыления (ГОСТ 28076-89): электродуговое, газопламенное, детонационное, индукционное и плазменное. По виду защиты рабочей зоны

напыления различают процессы без защиты, с местной защитой и в герметичной камере.

Напыление материалов применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей деталей. Это производительный и сравнительно простой процесс, с помощью которого наносят покрытия практически любой толщины из металлов и их сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и пластмасс на различные материалы (в том числе на неметаллы). Напыление не снижает усталостную прочность деталей.

Недостатки процесса: трудоемкая подготовка поверхности к нанесению покрытий; невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного материала; повышенное выгорание легирующих элементов; значительные потери материала; выделение вредных аэрозолей напыляемого материала и газов; повышенный уровень шума; наличие электромагнитного и ультрафиолетового излучений.

Многолетний опыт применения напыления на передовых заводах стран СНГ, на предприятиях Австрии, Великобритании, Германии и Чехии подтверждает его эффективность. При учете специфических особенностей покрытий и соблюдении научных рекомендаций по их нанесению напыление становится рациональным способом создания ремонтных заготовок. Активно работают над созданием новых материалов, оборудования и технологий зарубежные фирмы: Metko с филиалом в Италии, Kolmonoy, Plazmadayn, Electro-Plazma, La Sal (США); Castolin-Utectic, Plazmatechnic AG и Rotoloy (Швейцария); Sosnete nuvel de metallizacion (Франция); MTS (Австрия); OSU Bohum и Luchrji (Германия); Tokaro (Япония); Mttallizacion (Великобритания); Aquicentrum (Чехия).

3.7.2. Технологический процесс

Напыление материала включает: предварительную механическую обработку заготовок; подготовку материала и восстанавливаемой поверхности; изолирование поверхностей, не подлежащих напылению; нагрев заготовки или нанесение промежуточного покрытия; нанесение основного покрытия; оплавление покрытия; выдержку заготовок в термосе; снятие экранов и заглушек; очистку заготовок.

Предварительная механическая обработка (точение, растачивание, подрезка или обдирочное шлифование) придает восстанавливаемым поверхностям правильную геометрическую форму. Это обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий.

Подготовка материала заключается в его очистке от консервационных составов и продуктов коррозии.

Подготовка восстанавливаемой поверхности состоит в ее очистке, придании большей шероховатости и запаса поверхностной энергии, что является предпосылкой необходимой прочности соединения покрытия с основой.

Чугунные заготовки нагревают в печи до температуры 300 °С для выжигания масла в порах. Поверхности очищают органическими раство-

рителями, растворами кислот, щелочей и ТМС. Поверхностный слой растворяют в кислотных растворах травления.

Резание и дробеструйная обработка обеспечивают повышенную шероховатость поверхности и ее очистку. Основные виды резания при подготовке поверхности под напыление: крацевание (обработка щетками), нарезание канавок и “рваной” резьбы. Гладкие наружные или внутренние цилиндрические поверхности с твердостью не более 35 HRC накатывают инструментом с косым рисунком. Твердые поверхности, которые трудно обработать резанием, проходят электроискровую обработку. Чугунные и стальные нетермообработанные поверхности обрабатывают стальной или чугунной колотой дробью (ДЧК или ДСК). В качестве абразивных зерен применяют также стальную стружку, отходы проволоки, карбид кремния, песок, дробленый гранит и др. Термообработанные поверхности обрабатывают зёрнами корунда.

Повышенный запас поверхностной энергии обеспечивают дробеструйной обработкой и нагревом поверхности перед напылением до температуры 150...250 °С. Однако в ряде случаев нагрев приводит к отрицательным результатам по причине образования на этой поверхности оксидной пленки.

Поверхности, на которые не наносят покрытие, защищают металлическими щитками, асбестовыми листами или слоем недорогого лака. В масляные каналы забивают латунные или асбестовые пробки.

Перед нанесением основного покрытия иногда необходимо нанесение промежуточного покрытия из тугоплавкого или термореагирующего материала. В первом случае частицы материала (например, молибдена), обладая большим запасом тепла, расплавляют поверхность заготовки и привариваются к ней. Во втором случае частицы материала (например, Al-Ni) вступают в химическое взаимодействие друг с другом с выделением тепла и образуют между собой и с поверхностью заготовки металлическую связь. Температура плавления сплава Al-Ni равна 1640 °С, а количество выделившегося тепла $\Delta H_{298}^{\circ} = 117,6$ Дж/моль.

Покрытия наносят из проволоки, порошков и шнуров. В первом случае это различные виды сварочной и наплавочной проволоки. Во втором – порошки: коррозионно-стойкие (TiAl, NiAl, NiCrAl, NiCrAlY, Al₂O₃ и др.), теплозащитные (ZrO₂, Al₂O₃, MgAl₂O₄ и др.), износостойкие (BiCrBSi, NiCrAlMo, WC-Co, Cr₃C₂-NiCr и др.), сплавы на основе никеля, карбиды, оксиды, приработочные (Mo, MoS₂, Cu, сплавы на основе никеля и др.), антифрикционные (Al₂O₃, MgAl₂O₄, карбиды, высоколегированные сплавы на основе никеля и др.), жаростойкие (NiAl, NiCr, ZrO₂ и др.) и эрозионно-стойкие (карбиды, металлокарбиды, сплавы на основе никеля). В последнем случае – шнуры для получения также износостойких и защитных покрытий.

Параметры процесса переноса частиц материала газовой струей определяют качество покрытия. Энтальпия этих частиц изменяется из-за теп-

лообмена с окружающей средой, а кинетическая энергия – за счет изменения их скорости. Частицы, движущиеся в периферийной части газовой струи, интенсивно передают тепло и энергию практически неподвижной окружающей среде. Их скорость и энтальпия низкие. В результате покрытие из таких частиц имеют низкие механические свойства и большую пористость. Слабо закрепившиеся частицы можно сорвать с покрытия вращающимися металлическими щетками.

В результате оплавления покрытия значительно повышается прочность соединения его с основой, увеличивается когезионная прочность, исчезает пористость и слоистость, повышается износостойкость и обрабатываемость. Покрытия оплавляют в термической печи, газокислородным пламенем, в индукторе, электронным или лазерным лучом, плазменной струей или пропуская ток большой величины.

Крупные детали (корпуса, валы) сразу после нанесения покрытия выдерживают в термосе при температуре 150...200 °С в течение 1,0...1,5 ч для снятия внутренних напряжений в покрытии и в зоне его соединения с деталью.

В завершение процесса с заготовки снимают экраны и заглушки и ее очищают от оксидов и частиц материала на невозстанавливаемых поверхностях.

3.7.3. Характеристика и особенности различных видов напыления

Сущность *электродугового* напыления состоит в плавлении металлических проволок горячей между ними электрической дугой, продувании через зону плавления струи сжатого газа, сдувании расплавленного металла и переносе его в виде частиц на восстанавливаемую поверхность.

Электродуговое напыление применяют для нанесения коррозионно-стойких покрытий из алюминия или цинка на строительные конструкции и износостойких покрытий из стали (углеродистой, пружинной, легированной), меди, бронзы, латуни и других металлов и сплавов – на восстанавливаемые поверхности. Применяют компактную или порошковую проволоку. Если электроды подобраны из проволок разного вида, то получают покрытие композиционного строения.

Преимущества электродугового напыления: наибольшая производительность (до 50 кг/ч) из всех видов напыления; высокий термический КПД; затраты на нанесение единицы массы покрытия в два раза ниже, чем при электродуговой наплавке.

Однако процесс имеет и недостатки. Взаимодействие частиц с газовой средой приводит к насыщению покрытия кислородом и азотом и повышенному содержанию оксидов. Интенсивно выгорают легирующие элементы, содержащиеся в стальных проволоках. Потери карбидных и других упрочняющих фаз достигают до 20 %. Необходимость применения только токопроводящих напыляемых материалов ограничивает возможности способа.

Аппарат для электродугового напыления (рис. 3.25) имеет несколько пар приводных роликов 1, которые подают в зону распыления две или более проволок диаметром 1,0...3,5 мм. Имеются направляющие наконечники 4 и газовое сопло 5.

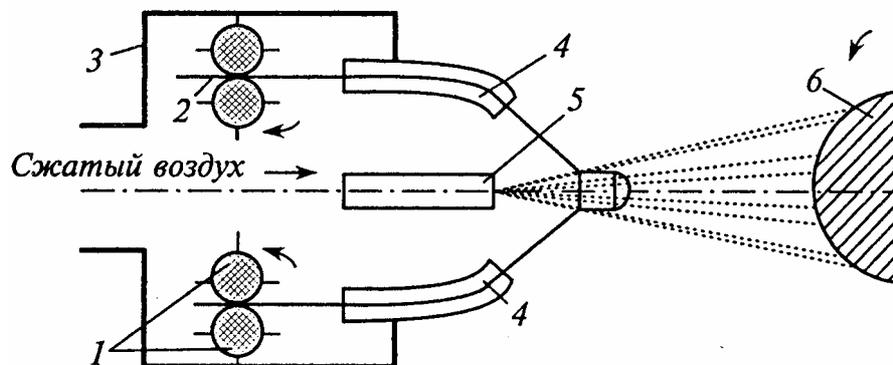


Рис. 3.25. Схема аппарата для электродугового напыления: 1 – ролики подающие; 2 – проволока; 3 – провода электрические; 4 – направляющие; 5 – сопло; 6 – заготовка

Капли металла, расплавленного электрической дугой, подхватываются струей газа, распыляются на частицы размером 30...50 мкм для стали и 10...100 мкм для других металлов и разгоняются до скорости 50...150 м/с. Частицы металла будущего покрытия при электродуговом активированном напылении могут быть защищены от кислорода и азота воздуха стенкой продуктов сгорания газообразного или жидкого топлива или вдуванием пропана или природного газа, или паров бензина в зону горения дуги. Жидкий металл в последнем случае распыляют не струей сжатого воздуха, а продуктами сгорания углеводородного топлива, нагретыми до температуры 1800...2100 °С. При использовании такой среды во время распыления проволок У10А и 40Х13 количество углерода в покрытии практически не отличается от его содержания в исходном материале.

Применяют ручное и механизированное напыление. В первом случае технологические перемещения аппарата производят вручную. Во втором – используют устройства для механического перемещения распылителей относительно восстанавливаемой поверхности.

Сущность *газопламенного* напыления заключается в нагреве материала газовым пламенем и нанесении его на восстанавливаемую поверхность струей сжатого газа.

Тепло для нагрева материала получают путем сжигания ацетилен или пропан-бутана в кислороде, а материал переносится сжатым воздухом или продуктами сгорания углеводородного топлива. Газопламенное напыление – один из немногих процессов, с помощью которого наносят покрытия из шнуров.

Порошок подают, как правило, вдоль оси факела в его внутреннюю часть с помощью транспортирующего газа или под действием собственного веса. Проволоки и шнуры подают в восстановительную часть пламени.

Применение проволоочных материалов эффективно при восстановлении деталей (коленчатых валов, осей, вкладышей подшипников скольжения, направляющих), работающих в трущихся соединениях, и при восстановлении поверхностей отверстий под подшипники.

Покрyтия, полученные газопламенным напылением шнуровых материалов, представляют альтернативу плазменным покpытиям.

В зависимости от наличия и места оплавления покpытий различают три вида газопламенного напыления: без оплавления, с одновременным оплавлением (в литературе называют газопорошковой наплавкой) и с последующим оплавлением.

При газопламенном напылении вершин кулачков стального распределительного вала с одновременным оплавлением покpытия применяют материал ПГ-10Н-01 грануляцией 40...100 мкм. Расход порошка составляет 2,5...3,5 кг/ч. Ацетилен подают под давлением $\leq 0,1$ МПа (расход 350...600 л/ч), а кислород – 0,30...0,45 МПа (расход 400...700 л/ч). Расстояние между мундштуком горелки и поверхностью заготовки при напылении покpытия составляет 12...25 мм, а при оплавлении – 6...10 мм.

Активирование газопламенного напыления обеспечивают интенсивным смешиванием рабочих газов, а также эффективным теплообменом между пламенем и материалом.

Плазменное напыление основано на использовании энергии плазменной струи, как для нагрева металла, так и для переноса его частиц.

В качестве плазмообразующих газов используют гелий, аргон, азот, водород и их смеси. Гелий и водород в чистом виде практически не применяют по экономическим соображениям, а также вследствие разрушающего действия на электрод-катод. Аргон и азот используют чаще, однако наилучшими показателями обладают газовые смеси, например, аргон – азот и аргон – водород. Вид плазмообразующего газа выбирают исходя из требуемых температуры, энтальпии и скорости потока, степени инертности газа к распыляемому материалу и материалу заготовки.

Плазменную струю получают в плазменной горелке, основные части которой (рис. 3.26) следующие: электрод-катод 1; водоохлаждаемое медное сопло-анод 4, стальной корпус 2, устройства для подвода воды 3, порошка 5 и газа 6. Части корпуса, которые взаимодействуют с катодом и анодом, изолированы друг от друга.

Порошки подают питателем с помощью транспортирующего газа в сопло горелки. Возможен ввод порошка с плазмообразующим газом. Проволоку, шнур или их комбинации вводят в сопло плазменной горелки ниже анодного пятна или в плазменную струю вне сопла.

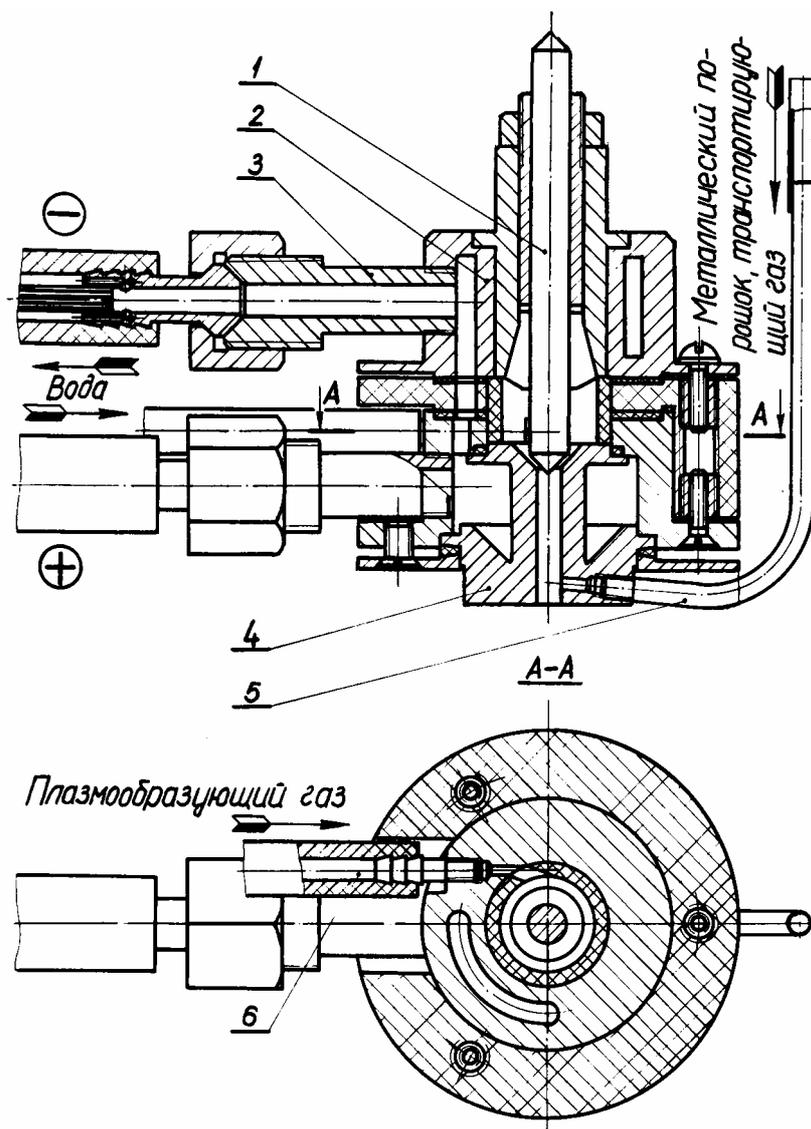


Рис. 3.26. Плазменная горелка для напыления порошкового материала:
 1 – электрод-катод; 2 – корпус; 3 – подвод охлаждающей воды; 4 – сопло-анод;
 5 – подвод порошка; 6 – подвод плазмообразующего газа

Высокие температура и скорость струи позволяют наносить покрытия из любых материалов, не диссоциирующих при нагреве, без ограничений на температуру плавления.

Для защиты частиц напыляемого материала от окисления, обезуглероживания и азотирования применяют газовые линзы (трубчатый поток инертного газа), являющиеся оболочкой плазменной струи, и специальные камеры с инертной средой, в которых происходит напыление.

Область применения плазменных покрытий из самофлюсующихся сплавов с последующим оплавлением – это восстановление поверхностей деталей, работающих в условиях трения и циклических нагрузок. Структура покрытия – высоколегированный твердый раствор с включениями дис-

персных металлоподобных фаз (прежде всего боридных или карбидных) размером 1...10 мкм, равномерно распределенных в основе.

Плазменное напыление применяют, например, при восстановлении коренных опор блоков цилиндров, юбок поршней и стыковых поверхностей головок цилиндров из алюминиевого сплава, шеек коленчатых валов из высокопрочного чугуна.

Для плазменного напыления применяют установки УН-115, УН-120, УПМ-6, УПУ-3Д, УПС-301, АПР-403, УПРП-201.

Микроплазменное напыление применяют при восстановлении деталей с изношенными участками размерами 5...10 мм. Используют плазмотроны малой мощности (2,0...2,5 кВт), генерирующие квазиламинарную плазменную струю при силе тока 10...60 А. В качестве плазмообразующего и защитного газов применяют аргон. При микроплазменном напылении удается получить диаметр металлоплазменной струи 1...5 мм. Процесс отличается низким уровнем шума (30...50 дБ) и небольшим количеством отработавших газов, что позволяет вести напыление в помещении без применения рабочей камеры. Создана установка микроплазменного напыления МПН-001.

При *детонационном* напылении наносимые частицы приобретают энергию во время горения и перемещения горючей смеси в стволе установки.

Детонация – особый вид горения газообразного топлива. Она возникает в начальный период горения смеси и распространяется в трубе со скоростью 2000...3000 м/с. Развиваемое давление продуктов горения достигает сотен МПа. Скорость полета наносимых частиц более чем в два раза превышает скорость звука. Покрываются имеют малую пористость (до 0,5 %) и высокую прочность соединения с подложкой (до 200 МПа).

Наносимые частицы нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной газовой средой и перемещаются ударной волной, возникшей в результате детонации горючей газовой смеси в стволе установки.

Установка детонационного напыления (рис. 3.27) включает водоохлаждаемый открытый с одного конца ствол 5 длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Внутренняя полость ствола вблизи торцевой стенки образует взрывную камеру 3. В ее цилиндрической стенке установлены искровая свеча 2 и клапанное устройство 4 для подачи горючего и окислительного газов. В торце ствола имеется порошковый питатель 1. На расстоянии 150...200 мм от среза ствола перпендикулярно его оси располагают восстанавливаемую поверхность детали.

Искровая свеча служит для зажигания горючей смеси, ее питает электрической энергией маломощный источник с трансформатором напряжения, прерывателем и конденсатором.

Установка работает следующим образом. С помощью транспортирующего газа (азота или воздуха) во взрывную камеру подают порцию порошка массой 50...200 мг, а через клапанное устройство под давлением 0,12...0,20 МПа – горючую смесь (ацетилен – кислород или пропан – бутан –

кислород). В качестве горючих газов можно также применять водород или метан (природный газ). Окислителем может быть и воздух. Между электродами свечи проскакивает электрическая искра, которая поджигает горючую смесь. Начальное горение смеси сопровождается как ее непрерывным расширением и перемещением со сравнительно небольшой скоростью 10...15 м/с, так и сжатием несгоревшей газовой среды за фронтом пламени. Это сжатие в ограниченном объеме с теплопередачей от очага горения к несгоревшей части смеси вызывает повышение ее температуры и давления. При достижении критических значений этих величин газовая среда самовоспламеняется и сгорает со скоростью взрыва. Это явление представляет собой детонацию, которая вызывает ударную волну.

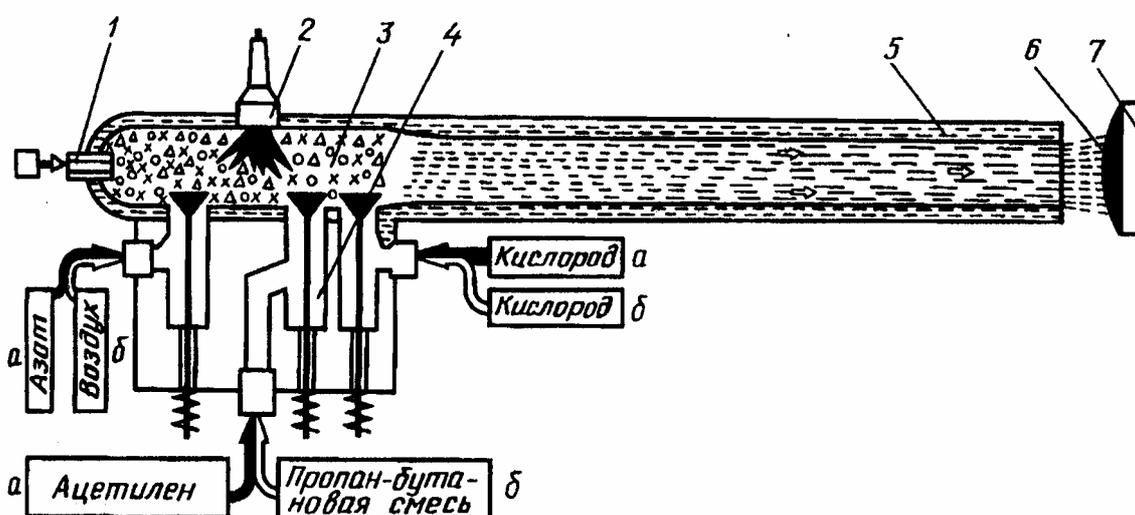


Рис. 3.27. Схема установки для детонационного напыления: *а* – базовой; *б* – усовершенствованной; 1 – порошковый питатель; 2 – искровая свеча; 3 – взрывная камера; 4 – клапаны; 5 – водоохлаждаемый ствол; 6 – покрытие; 7 – восстанавливаемая деталь

Ударная волна перемещается от очага вторичного горения к открытому концу трубы и навстречу фронту первичного горения. Отраженная от дна взрывная волна увлекает порцию порошка и переносит ее наружу вдоль оси ствола со сверхзвуковой скоростью на восстанавливаемую поверхность. После достижения открытого конца ствола детонационная волна затихает на расстоянии за ним около 100 мм.

Процесс завершается продувкой ствола инертным газом. Цикл работы повторяется через 0,2...0,5 с. Частота циклов многоствольного детонационного устройства при напылении покрытий может быть увеличена до 15 Гц и выше.

Детонационное напыление нашло применение при нанесении защитных и износостойких покрытий из оксидов алюминия и карбидов вольфрама, карбидо-кобальтовых сплавов и хрома на наружные поверхности.

Единичное пятно наносимого материала массой 50...100 мг имеет диаметр около 2 мм и толщину 3...5 мкм. Совмещение пятен во время нанесения покрытия обеспечивает его общую толщину 0,02...0,40 мм. Для создания покрытия равномерной толщины заготовку перемещают относительно канала ствола. Подача заготовки за цикл составляет не более половины диаметра пятна.

Детонационное оборудование имеет большие габаритные размеры, его производительность невысокая, стоимость нанесения покрытия большая. Уровень шума при работе детонационной установки достигает 140 дБ, поэтому она работает в отдельном помещении со звукоизолирующими стенами. Оператор управляет процессом, находясь за стеной. В выхлопных газах наблюдается повышенное содержание оксидов углерода, азота и других веществ.

Дальнейшее развитие детонационной технологии связано с подачей жидкого металла в ствол установки. Пористость покрытия при этом составляет 5...8 %, сквозная пористость отсутствует, шероховатость покрытия малая, а количество оксидов не более 2...6 %.

Конкурентом и наиболее близким аналогом детонационного напыления является высокоскоростное газопламенное напыление, при котором материал сосредоточивается вблизи оси струи. Угол расхождения сверхзвуковых двухфазных струй меньше, чем дозвуковых и составляет 5...7 °. Это приводит к уменьшению диаметра пятна напыления и более экономному использованию материала.

Исследуется газодинамический способ нанесения покрытий, который отличается тем, что покрытие формируется из частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком. При этом нет необходимости подготавливать напыляемую поверхность. Достигается высокая адгезия (150 МПа) и низкая пористость (менее 1 %), а производительность достигает 100 кг/час.

Индукционное напыление разработано и впервые применено в СССР. Напыляемая проволока подается в индуктор (рис. 3.28), где она нагревается и расплавляется вихревыми токами, возникающими за счет переменного магнитного поля. Имеется концентратор тока, который обеспечивает нагрев проволоки на небольшом участке. Частоту тока f , необходимого для расплавления проволоки, определяют по формуле

$$f = k/d^2, \text{ Гц}, \quad (3.31)$$

где k – коэффициент, зависящий от материала проволоки и температуры ее плавления; d – диаметр проволоки, см.

Расплавленный металл распыляют сжатым воздухом.

Токи высокой частоты вырабатывают ламповые (ЛГПЗ-30, ГЗ-46, ЛПЗ-60 и др.), машинные (ОПЧ-250/2400, ВПЧ-100/8000, и др.) или тиристорные (ТПЧ-100-2,4 и др.) генераторы.

Индукционное напыление обеспечивает небольшое окисление металла и высокую прочность покрытий, но имеет невысокую производительность, а применяемое оборудование при этом сложное и дорогое.

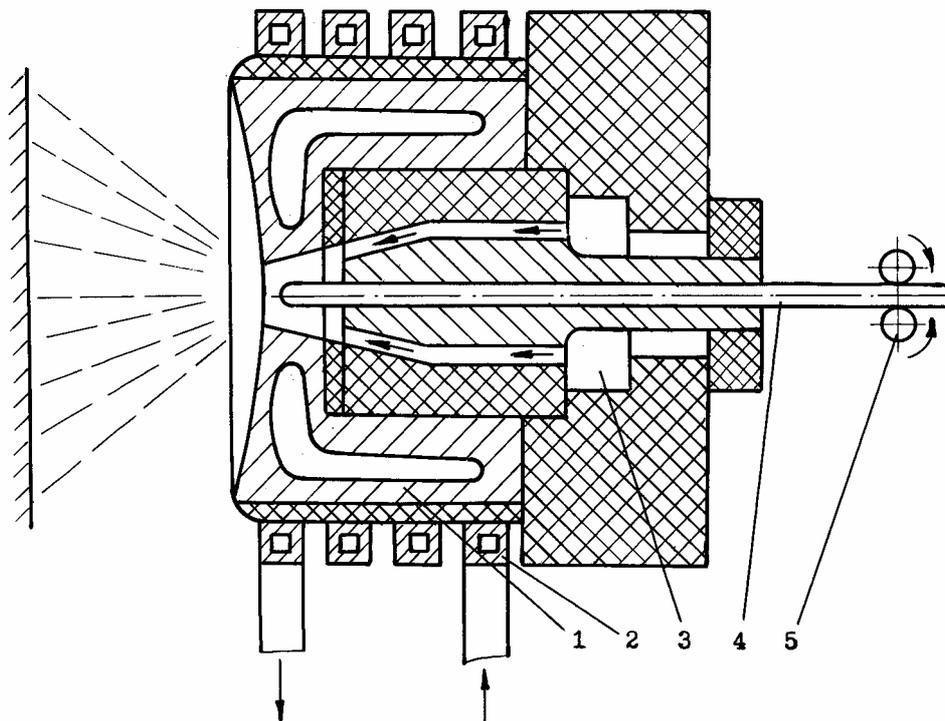


Рис. 3.28. Устройство для индукционного напыления: 1 – концентратор тока; 2 – индуктор; 3 – канал воздушный; 4 – проволока; 5 – ролики подающие

Покрытие при *вакуумном конденсационном* напылении наносят из атомов, молекул или ионов. Поток этих частиц получают путем воздействия на материал (стержни, проволоки, таблетки, диски и порошки) различными энергетическими источниками.

Процесс ведут в жестких герметичных камерах при давлении $133 \cdot 10^{-3} \dots 133$ Па, что обеспечивает необходимую длину свободного пробега напыляемых частиц.

В общем случае причиной переноса частиц к восстанавливаемой поверхности является разность парциальных давлений паровой фазы. Наиболее высокое парциальное давление пара наблюдается вблизи поверхности распыления (испарения). У поверхности восстанавливаемой детали оно минимальное.

Подача в камеру активных газов обеспечивает переход к реакционному напылению покрытий. В этом случае частицы при своем перемещении вступают в химическое взаимодействие с кислородом, азотом, оксидом углерода и другими газами и образуют соответственно оксиды, нитриды, карбиды и др.

С помощью вакуумного конденсационного напыления создают износостойкие покрытия на деталях топливной аппаратуры, режущих кромках инструмента и др.

Наибольшее распространение получила установка типа ВУ-1Б (рис. 3.29). Основной частью установки является камера 6 с водяным змеевиком. Откаточный насос 10 обеспечивает в камере вакуум до $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па. Для охлаждения паров масла и перевода его в твердое состояние предусмотрена азотная ловушка 11. Дуговой разряд возбуждается между водоохлаждаемым анодом 5 и распыляемым материалом – катодом 4. Для первоначального возбуждения дуги служит вспомогательный электрод 2. Электродуговой ускоритель плазмы работает от силового специализированного источника постоянного напряжения 3. Для экстракции ионов из плазменного потока и их ускорения в направлении напыляемого изделия использован высоковольтный источник питания 1, от него на напыляемое изделие 7 подается отрицательное смещение от десятков вольт до 2...3 кВ.

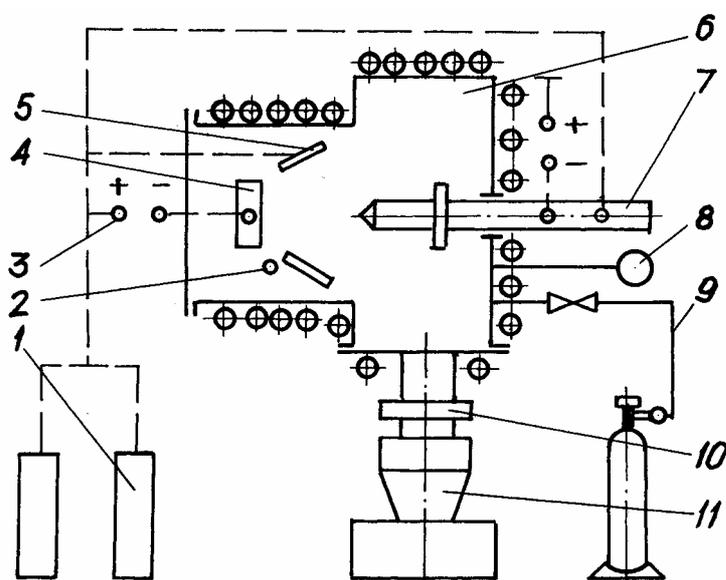


Рис. 3.29. Схема установки типа ВУ-1Б: 1 – высоковольтный источник питания; 2 – вспомогательный электрод; 3 – источник постоянного тока; 4 – катод; 5 – водоохлаждаемый анод; 6 – камера; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – масс-спектрометр; 9 – устройство автоматического напуска газа; 10 – откаточный насос; 11 – азотная ловушка

Установка снабжена устройством 9 для автоматического напуска газа. Атмосферу камеры контролируют с помощью масс-спектрометра 8. Благодаря этому имеется возможность создания плазменных потоков с регулируемой долей ионов различных элементов.

Преимущества процесса: высокие физико-механические свойства покрытий; возможность получения покрытий из синтезированных материалов (карбидов, нитридов, оксидов и др.); возможность нанесения тонких и равномерных покрытий; возможность использования широкого класса неорганических материалов. Его недостатки состоят в невысокой производительности (скорость конденсации около 1 мкм/мин), сложности технологии и оборудования и большом расходе энергии.

Характеристика распространенных видов напыления приведена в табл. 3.14.

Значения параметров различных способов напыления

Параметры	Виды напыления			
	Электро- дуговое	Газопламен- ное	Плазменное	Детонационное
Производительность процесса, кг/ч	3...50	1...10	3...12	0,1...6,0
Температура нагревающей среды, °С	5300...6300	3150 (C ₂ H ₂ +O ₂)	5000...15000	2500...5800
Скорость среды, м/с	100...300	150...160	1000...1500	2000...3000
Температура частиц, °С	до 1800	до 3000	до 3000	До 3700
Скорость частиц, м/с	50...150	20...120	50...400	600...800
Коэффициент использования материала	0,80...0,95	0,80...0,95	0,70...0,90	0,30...0,60
Пористость покрытия, %	5...15	5...25	2...15	0,5...6
Прочность соединения с основой, МПа	до 40	до 50	до 60	до 200
Уровень шума, дБ	75...120	70...110	75...120	120...140

3.7.4. Упрочняющая обработка покрытий

Напыленные покрытия упрочняют химико-термической и термомеханической обработкой.

Химико-термическая обработка покрытий (спекание) заключается в том, что заготовки с покрытиями помещают в печь с атмосферой, содержащей водород и углерод, и выдерживают при заданной температуре.

В основе химико-термической обработки покрытий лежит восстановление железа из оксидов с последующей карбидизацией материала в контролируемой газовой атмосфере. В результате обработки полностью восстанавливается железо, исчезает слоистость и повышается содержание цементита. Введение в напыляемые железные порошки карбидообразующих материалов (Cr) повышает твердость и износостойкость покрытий.

Высокотемпературное уплотнение покрытий заключается в приложении давления в процессе локального нагрева. Такое уплотнение позволяет назначать меньшие припуски на механическую обработку заготовок. Увеличение усилия обработки и температуры подогрева положительно влияют на структуру покрытия – трещины и поры уменьшаются или исчезают вообще.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите сущность и характеристику напыления материалов. 2. Какие Вы знаете виды напыления? 3. Какие признаки положены в основу классификации видов напыления? 4. Каким образом усовершенствованы электродуговое и газопламенное напыления? 5. С какой скоростью перемещаются частицы при различных видах напыления? 6. В каких процессах восстановления деталей применяется плазменное напыление? 7. В чем заключаются преимущества и недостатки детонационного напыления?

3.8. Электроконтактная приварка металлического материала

Электроконтактная приварка металлического материала получила научное развитие в результате деятельности коллектива под руководством проф. А.В. Поляченко (ВНИИТУВИД “Ремдеталь”, Москва). Этот коллектив также разработал и основное оборудование.

3.8.1. Сущность и характеристика способа

Электроконтактная приварка металлического материала (ленты, проволоки, порошка или сочетания ленты с порошком) состоит в закреплении его на поверхности заготовки мощными импульсами тока с приложением давления (рис. 3.30).

С помощью способа исправляют некоторые недостатки наплавки. Большое вложение тепла в материал заготовки при наплавке приводит к выгоранию легирующих элементов, возникновению закалочных структур, появлению трещин и трудностям механической обработки. Минимальная толщина наплавочных покрытий ограничена. Наплавка под слоем флюса, например, обеспечивают толщину покрытия не менее 3 мм, а вибродуговая и в среде защитных газов – не менее 1,5 мм. Основная часть наплавленного металла при обработке резанием превращается в стружку. Многие виды наплавки связаны с вредными условиями труда.

При электроконтактной приварке как материал будущего покрытия, так и материал заготовки находятся преимущественно в твердом состоянии, а расплавляются только в местах их контакта импульсами тока силой 7...30 кА в течение 0,02...0,04 с. Количество выделившегося тепла Q равно

$$Q = kI^2Rt, \text{ Дж}, \quad (3.32)$$

где k – коэффициент пропорциональности; I – сила тока, А; R – сопротивление участка цепи, Ом; t – время действия тока, с.

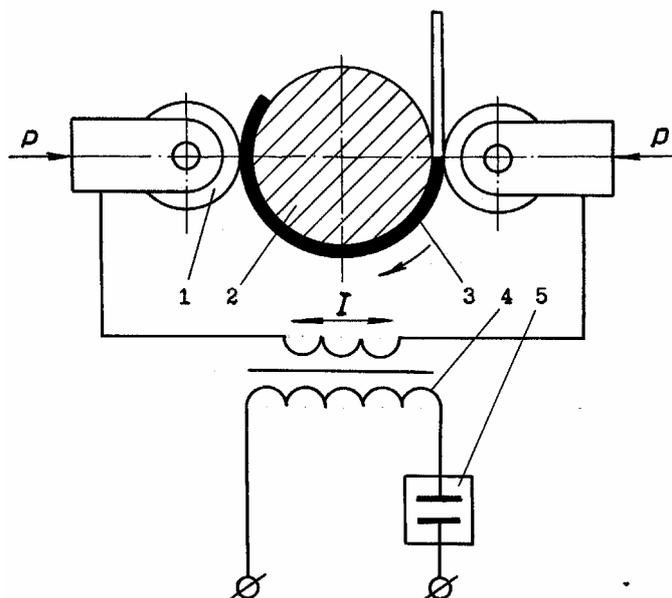


Рис. 3.30. Схема электроконтактной приварки ленты: 1 – ролики; 2 – восстанавливаемая деталь; 3 – покрытие; 4 – трансформатор; 5 – контактор; P – усилие; I – ток

Ввиду импульсной подачи тока места приваривания материала к поверхности заготовки располагаются по винтовой линии. Эти места перекрываются как вдоль рядов, так и между ними. Материал заготовки прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава, при этом нет необходимости применять флюсы и защитные газы.

Деформирующее усилие равно 1000...1600 Н.

В зону приварки подают охлаждающую жидкость для закалки покрытия и уменьшения нагрева заготовки.

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью равна 100...400 МПа. Зона термического влияния не превышает 0,5 мм, а при нанесении второго и последующих слоев покрытия она распространяется лишь на толщину первого слоя и не достигает основного металла.

Электроконтактная приварка металлического материала с охлаждением рабочей зоны по сравнению с дуговой наплавкой обеспечивает:

- увеличение производительности труда в 2...3 раза;
- сокращение расхода материалов в 3...4 раза за счет уменьшения потерь на разбрызгивание металла и создания минимально необходимого припуска на обработку;
- исключение выгорания легирующих элементов;
- минимальное деформирование заготовки;
- закалку покрытия непосредственно в процессе приварки;
- использование различных сочетаний присадочных материалов;
- благоприятные санитарные условия на рабочем месте.

Электроконтактная приварка материала является природоохранным и ресурсосберегающим технологическим процессом.

3.8.2. Материалы и технологии

Широко распространена электроконтактная приварка *ленты* толщиной 0,5...0,6 мм из углеродистых (10, 20, 40, 50, У7, У8, 65Г) и легированных (40Х и 50ХФА) сталей. Этот материал применяют при восстановлении шеек валов и поверхностей отверстий (например, в гильзах и блоках цилиндров). Для получения заготовок применяют оборудование для мерной отрезки и предварительной гибки ленты.

Режимы приварки металлической ленты на поверхности отверстий чугунных корпусных деталей и шеек стальных валов приведены в табл. 3.15.

Прочность соединения покрытия из ленточного материала с основой при силе тока 7,72 кА, усилении на электроде 1,3 кН, длительности импульса тока 0,04 с и скорости наплавки 1,2...1,5 м/мин находится в пределах 300...400 МПа. Меньшее значение соответствует предварительной обработке точением до 3-го класса шероховатости, большее – дробеструйной обработке.

Покрyтия на шейках валов шлифуют кругами ПП 23А СМ1-01 К6 в следующем режиме: окружная скорость круга 35 м/с, заготовки 25...30 м/мин, поперечная подача круга 0,2...0,3 мм/мин. Обработку ведут при обильном охлаждении зоны шлифования 1,5...3,0 %-ным водным раствором кальцинированной соды. Выбор сравнительно невысоких режимов обработки обусловлен пониженной теплопроводностью переходной зоны “покрытие – основа”. Применение жестких режимов обработки может привести к накоплению тепла в приваренном покрытии и его отслоению.

Таблица 3.15

Режимы приварки металлической ленты

Параметр	Детали	
	Корпусные	Валы
Сила тока, кА	7,8...8,0	16,1...18,1
Продолжительность сварочного цикла, с	0,12...0,80	0,10...0,12
Продолжительность паузы, с	0,08...0,10	0,04...0,08
Скорость сварки, м/мин	0,5	0,7...1,2
Подача электродов, мм/об	вручную	3...4
Сила прижатия электродов, кН	1,70...2,25	1,3...1,6
Ширина рабочей части электродов, мм	8	4
Диаметр электродов, мм	50	150...180
Марка стали ленты	20	40, 45, 50
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	0,5...1,0	1,5...2,0

На твердость покрытия наибольшее влияние оказывает содержание углерода и легирующих элементов в его материале (табл. 3.16). Особенно высокую твердость имеют покрытия из хромистых и марганцовистых сталей.

Таблица 3.16

Твердость приваренного покрытия из различных материалов

Марка стали	Твердость покрытия, HRC	Марка стали	Твердость покрытия, HRC
20	22...27	55	51...56
40	41...46	40X	51...61
45	46...51	65Г	61...66

Предел выносливости образцов диаметром 40 мм с покрытием из ленты в зависимости от ее марки снижается на 54...67 % по сравнению с образцами без покрытия. Поверхностное пластическое деформирование в виде обкатывания роликами повышает значение предела выносливости более чем в два раза. Мелкокристаллическая структура материала способствует уменьшению интенсивности изнашивания.

Применение сплошных и спеченных лент различного состава и твердости позволяет повысить износостойкость восстановленных элементов в

5...10 раз по сравнению с новыми деталями. Износостойкость покрытий можно повысить до 10...15 раз, если под стальную ленту толщиной 0,4 мм с содержанием углерода не более 0,5 % поместить зерна сплавов на основе карбидов вольфрама (ВК8, Т15К6 или релита) размером 0,3...0,5 мм. Твердые частицы под действием давления, приложенного к материалу, внедряются в ленту и поверхность заготовки. Таким образом образуется армированный слой, имеющий высокую износостойкость.

Особенности этой технологии следующие. После предварительного закрепления материала на восстанавливаемой поверхности его участки нагревают до температуры 1350 °С. Удельное давление роликового электрода на покрытие составляет 50...75 МПа при длительности импульса тока 0,03...0,08 с и его плотности 700 А/мм².

Шейки шлифуют алмазным кругом АПП 300×27×127×5 с зернами АСВ зернистостью 100/80 на металлической связке МВ₁.

Материал в виде *проволоки* широко применяют при восстановлении резьбы и шеек валов. Применяют сплошную проволоку Св-08, Св-08ГС, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, Нп-35, Нп-40, 65Г диаметром 1,6...2,5 мм или порошковую (например, ПП-АН-10). Покрытие из проволоки характеризуется плотной упаковкой и сплавлением ее витков.

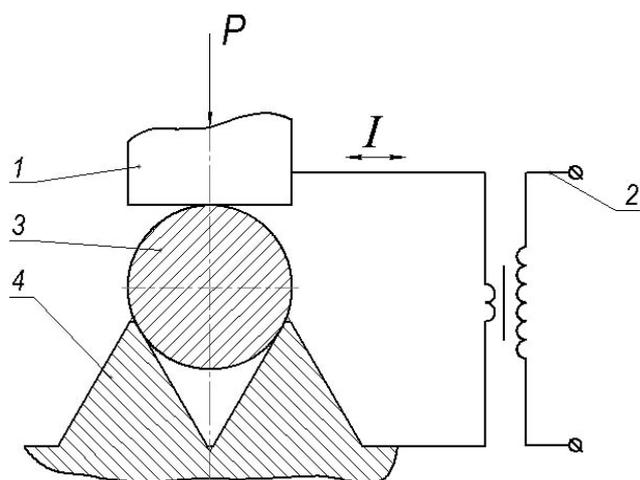


Рис. 3.31. Электроконтактная приварка проволоки: 1 – электрод; 2 – сварочный трансформатор; 3 – материал (проволока); 4 – витки резьбы

Диаметр проволоки при восстановлении резьбы выбирают таким образом, чтобы проволока при нагреве и осадке полностью заполнила впадину между витками и обеспечила припуск на механическую обработку (рис. 3.31). Для этого необходимо, чтобы диаметр проволоки превышал шаг резьбы на 5...10 %.

Зависимость между усилием P и силой тока I (А) выражается зависимостью

$$P = 6,4\sqrt{I}, \text{ Н.} \quad (3.33)$$

Приварка проволоки Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность деталей на 10...25 %.

Режимы приварки проволоки приведены в табл. 3.17. Длительность импульса составляет 0,02...0,04 с, а паузы – 0,06...0,08 с. Скорость приварки – 1,6...2,0 м/мин.

Режимы электроконтактной приварки проволоки на наружные поверхности цилиндрических заготовок

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Давление на ролик, Н	Шаг приварки, мм/об
Св-08	1,6	5...8	1000	1,6...1,8
	2,0	7...9	1300	2,0...2,2
	2,5	8...10	1500	2,5...2,8
65Г	1,6	5...8	1100	1,6...1,8
	2,0	8...10	1300	2,0...2,2

Широкими технологическими возможностями обладает электроконтактная приварка *порошковых* материалов. Материал из бункера подают в пространство между заготовкой и электродом, движущимися друг относительно друга, через них пропускают электрический ток и прикладывают давление. Способ получил наибольшее применение при восстановлении шеек валов и конических поверхностей клапанов.

Состав порошков определяет требуемые свойства покрытий. Используют порошки из сплавов ПГ-ХН80СР2, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-УС25, ПГ-С27, механические смеси KBX и ФБХ-6-2, а также различные композиции. Высокое качество покрытий обеспечивают композиции из самофлюсующегося порошка ПГ-ХН80СР2, порошков сормаита ПГ-С1 и железа ПЖ-3М в равных массовых частях с добавкой к ним меди и свинца (1,5...5,0 %). Для восстановления шеек валов используют также следующие композиции: 20 % ФБХ-6-2 + 80 % ПЖ-5; 20 % KBX + 5 % Al₂O₃ + 75 % ПЖ-5; 30 % ПГ-ХН80СР2 + 70 % ПГ-10Н-04; 20 % ПГ-10К-01 + 80 % ПГ-10Н-04. Покрытия из этих композиций можно точить, а их износостойкость высокая.

Порошковый материал прижимают к восстанавливаемой поверхности заготовки под давлением 30...60 МПа. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. В результате на поверхности заготовки образуется покрытие, толщина которого определяется углом захвата порошка роликом. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 3.32.

Прочность соединения покрытий с восстанавливаемыми поверхностями находится в пределах 150...300 МПа. Пористость (12...25 %) и твердость (25...63 HRC) покрытий зависят от составляющих покрытия. Высокая твердость наблюдается при нанесении покрытий состава: ПГ-С1 и (60...70 %) ФХ-80.

Предел выносливости деталей с покрытиями из порошков меньше на 7...12 % по сравнению с таким показателем новых деталей.

Покрyтия обрабатывают лезвийным или абразивным инструментом. Лезвийную черновую обработку выполняют резцом из гексанита-Р при скорости резания 22...30 м/мин, подаче 0,15...0,20 мм/об и глубине резания 0,5...0,9 мм. Чистовую обработку таким инструментом ведут при скорости резания 60...80 м/мин, подаче 0,02...0,20 мм/об и глубине резания 0,1...0,5 мм.

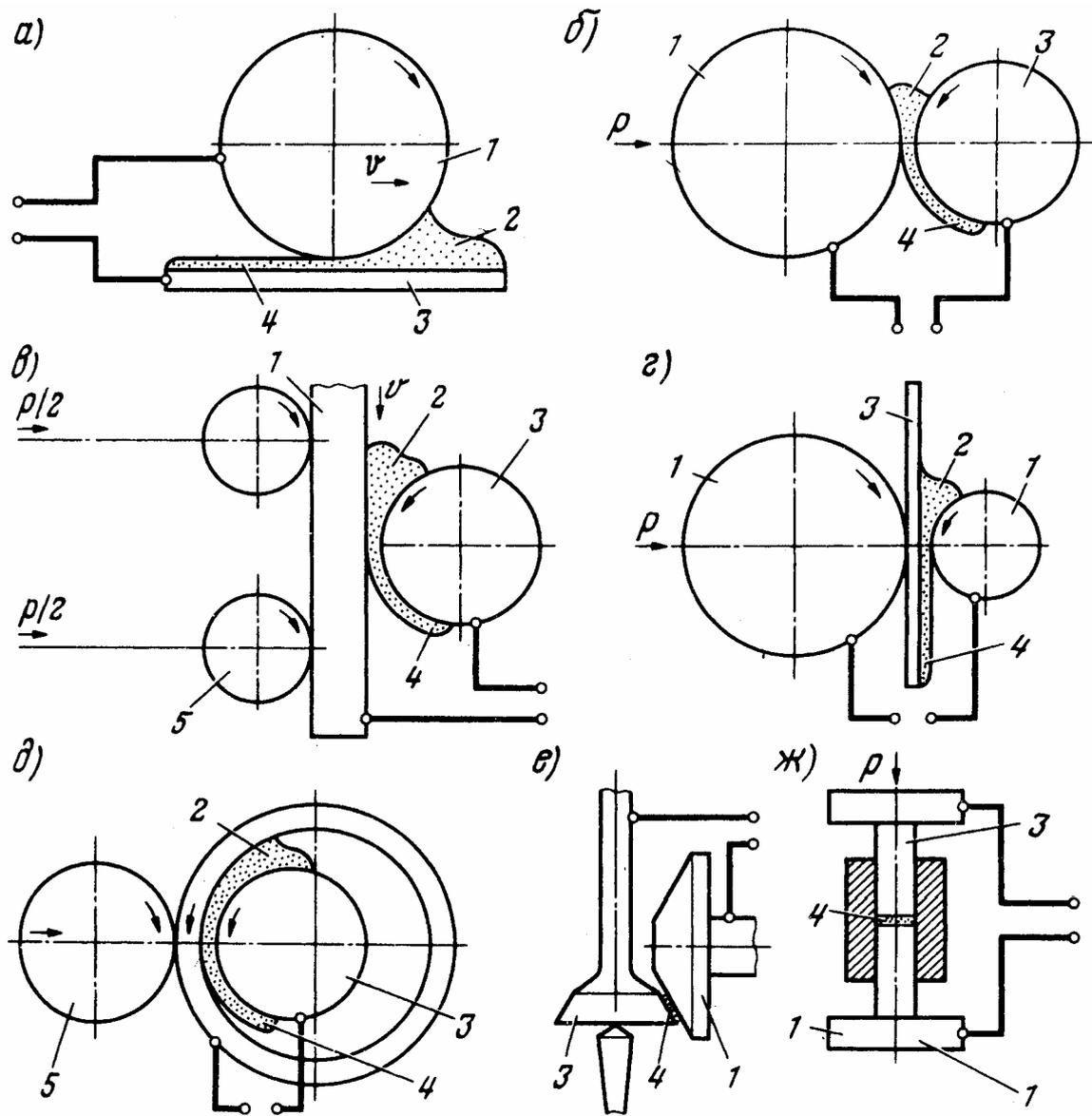


Рис. 3.32. Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности: а, г и ж – плоские; б, в и д – цилиндрические; е – коническую; 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь; 4 – покрытие; 5 – ролик

3.8.3. Оборудование

Применяют серийные сварочные контактные машины, например, МШ-1 или МШК-2002 (К-421М). Регулируемые импульсы сварочного тока получают с помощью конденсаторных источников питания с зарядным на-

пряжением 875...900 В и емкостью 2000...2300 мкФ, управляемых прерывателями. Специализированное оборудование для создания различных ремонтных заготовок разрабатывалось ВНИИТУВИД “Ремдеталь”, ЧИМЭСХ, МГАУ им. В.П. Горячкина, Институтом механики и надежности машин НАН Беларуси. Применяют также передвижные посты ППКС-01-74. Electroды изготавливают из медных сплавов типа Бр.Х, Бр.ХК, Бр.НБТ и Бр.ВНТ.

Блочно-модульное оборудование ВНИИТУВИД “Ремдеталь” (табл. 3.18) создано на базе установки 011-1-00 для наплавки валов.

Таблица 3.18

Оборудование для электроконтактной приварки металлического материала

Обозначение	Восстанавливаемые поверхности и детали
011-1-02	Наружные и внутренние поверхности тел вращения
011-1-04	Наружные поверхности (в т.ч. шлицы) тел вращения
011-1-05	Наружные поверхности (в т.ч. резьбы) тел вращения
011-1-06	Внутренние поверхности гильз цилиндров
011-1-07	Наружные поверхности гильз цилиндров
011-1-08	Поверхности отверстий в шатунах
011-1-10	Внутренние поверхности стаканов подшипников
011-1-11	Поверхности отверстий в корпусных деталях

Установка 011-1-02 предназначена для электроконтактной приварки ленты на наружные цилиндрические поверхности деталей диаметром 15...250 мм и длиной до 1200 мм на предприятиях с большой производственной мощностью. Толщина привариваемого покрытия составляет 0,2...1,0 мм, производительность процесса достигает 100 см²/мин.

С помощью установки 011-1-06 приваривают стальную ленту толщиной 0,4...0,6 мм к изношенному зеркалу гильзы цилиндра диаметром 100...300 мм.

Установка 011-1-07 обеспечивает приварку стальной ленты толщиной 0,4...0,6 мм к наружным поясам гильз цилиндров диаметром до 180 мм.

Установка 011-1-08 служит для нанесения покрытий толщиной 0,2...1,0 мм на рабочие поверхности нижних головок шатунов диаметром 55...150 мм.

Производительность установок 011-1-06, 011-1-07 и 011-1-08 составляет 60 см²/мин.

Установка 011-1-10 служит для нанесения покрытий на наружные поверхности диаметром 100...250 мм и внутренние поверхности диаметром 60...180 мм стальных и чугунных деталей типа стаканов подшипников. Толщина привариваемой ленты 0,2...1,0 мм.

Установка 011-1-11 служит для электроконтактной приварки ленты на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей, в том числе на поверхности коренных опор блоков цилиндров.

Для электроконтактной приварки проволоки созданы установки УКН-5, -6, -8М, -9, -10, -11. Восстановление изношенных резьбовых поверхностей с шагом резьбы до 2 мм ведут с помощью установки 011-1-05.

Покрытия на изношенные шейки и резьбовые поверхности на валах длиной до 2000 мм наносят на установке 01-11-022М. Производительность ее в 6...7 раз превышает производительность установки 011-1-05.

На установке 01.08.005 наносят покрытия на клапанные гнезда головок и блоков цилиндров двигателей с производительностью до 24 ч⁻¹.

Вопросы для самоконтроля

1. Изложите сущность и преимущества способа. 2. Какие материалы применяют для электроконтактной приварки? 3. Приведите примеры использования способа. 4. Какое применяют оборудование?

3.9. Электроискровая обработка

Электроискровую обработку предложили Б.Р. и Н.И. Лазаренко в 1952 г.

3.9.1. Сущность, особенности и область применения способа

Электроискровая обработка металлических поверхностей использует энергию импульсных искровых разрядов между электродами в газовой или жидкой среде. Сущность нанесения покрытий и упрочнения поверхностей состоит в том, что искровой разряд разрушает материал анода (инструмента), а продукты его эрозии переносятся в газовой среде на катод (заготовку).

На скорость разрушения анода влияют теплофизические свойства его материала и режимы обработки. Он расходуется во времени равномерно при постоянном режиме обработки.

Импульсы разряда длятся до 10 мкс. Плотность тока в среде переноса электродного материала достигает 10⁴ А/мм². Температура в ней равна 5000...11000 К. Высокая температура среды в канале разряда вызывает плавление фрагментов анода и их частичное испарение. Пары металла расширяются, сбрасывают с поверхности анода расплавленный металл, который попадает в газовую среду, осаждается на заготовке и затвердевает. Металл при этом не подвергается коррозии. Нанесенный материал диффундирует в металл восстанавливаемого элемента детали и за счет быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки образуются твердые растворы и мелкодисперсные карбиды, которые обеспечивают покрытие высокую твердость.

Перенос металла на поверхность заготовки формирует покрытие химического состава, близкого к составу материала электрода. Покрытие имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается химическими и диффузионными процессами.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой – это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Перенесенный материал анода легирует материал заготовки и, соединяясь с атомарным азотом воздуха и углеродом материала заготовки, образует диффузионный износостойкий слой. В слое образуются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды.

Второй нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Слой обладает высоким сопротивлением схватыванию и коррозии по причине образования квазиравновесной системы, поверхностная энергия которой близка к нулю.

Третий наружный слой подобен газотермическому покрытию, он сформирован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура упрочненного наружного слоя напоминает структуру антифрикционного сплава: частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу.

Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале заготовки и энергии единичного импульса. Особенность электроискровой наплавки материалов заключается в следующем: чем ближе $t_{об}$ ко времени насыщения t_f (рис. 3.33), тем хуже качество поверхности. Растут шероховатость и пористость покрытия, оно окисляется, становится темным, а дефектность структуры достигает предельного значения. Обработку заканчивают на участке $A - B$ графика.

Производительность процесса и качество обработанной поверхности зависят как от соотношения эрозионной стойкости материалов инструмента и заготовки, так и от режима обработки. *Эрозионная стойкость* металла выражается его массой, снимаемой с анода в единицу времени или за определенное число циклов. Более стойкие к эрозии элементы располагаются ближе к концу ряда: олово, свинец, цинк, алюминий, железо, никель, серебро, медь, углерод, вольфрам.

Нанесение твердых износостойких покрытий толщиной до 0,1 мм относят к упрочнению, а нанесение любых покрытий большей толщины – к наплавке. При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а на поверхности неподвижных соединений – до 1,5 мм. Если требуется нанести покрытие боль-

шей толщины, то применяют анод из материала с меньшей эрозионной стойкостью или повышают значения режимов обработки.

Глубина ЗТВ в материале заготовки составляет 0,8...1,0 мм. Шероховатость и сплошность покрытий регулируются. На черновых режимах обработки получают шероховатость поверхности 3...4 классов, а на чистовых – 5...6 классов.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке имеет особенности. Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать Rz 10 мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц распыленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные сферические выступы и впадины. Микрорельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям. Однако с увеличением толщины покрытий средняя высота Rz, радиус закруглений и средний шаг неровностей непрерывно растут.

При эксплуатации наплавленные поверхности показывают лучшие результаты по сравнению с исходными. Механическую обработку (полирование) наплавленного покрытия выполняют после его пластического поверхностного деформирования.

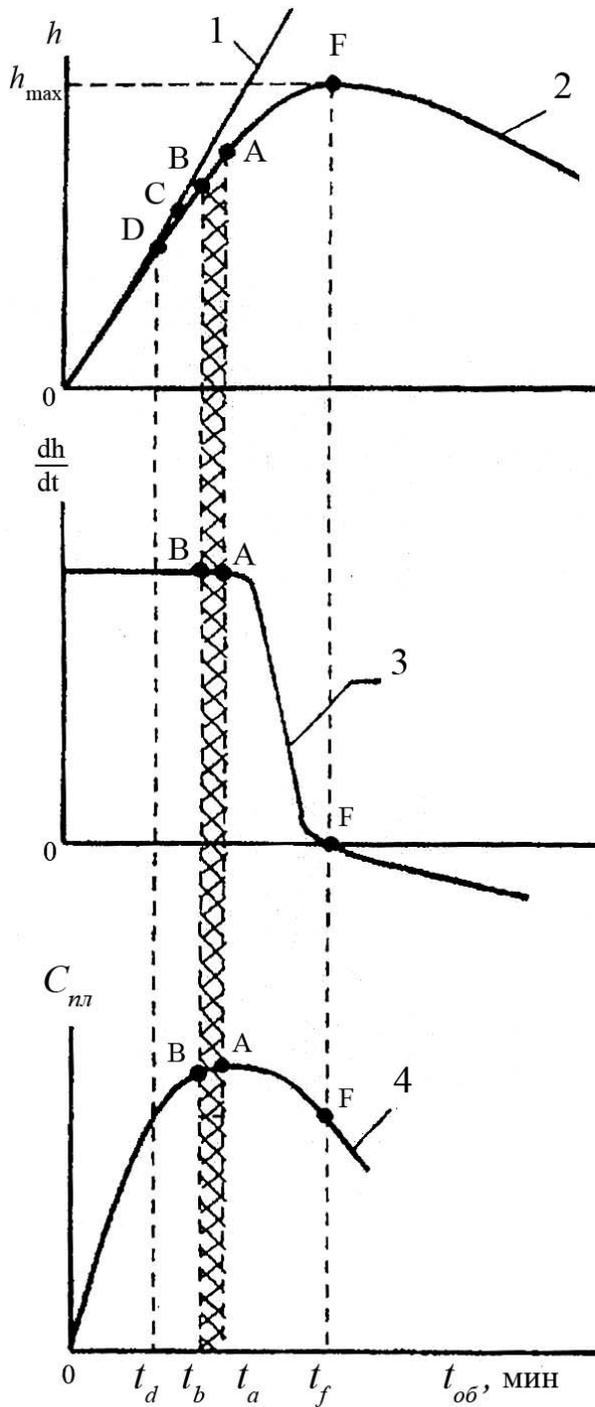


Рис. 3.33. Зависимость разрушения электрода (1) по высоте, толщины покрытия h (2), роста толщины dh/dt (3) и изменения сплошности покрытия $C_{пл}$ (4) от времени обработки $t_{об}$; $O - t_d$, $t_d - t_f$ и $t_b - t_a$ – отрезки времени, соответственно, линейных изменений характеристик покрытия, их нелинейных превращений и оптимальных значений; t_f – время насыщения

Для достижения оптимальной площади опорной поверхности целесообразно назначать припуски на обкатывание или раскатывание (табл. 3.19) и абразивную обработку в пределах доли толщины покрытия.

Таблица 3.19

Доля толщины покрытия, участвующая в поверхностном пластическом деформировании при упрочнении и восстановлении деталей

Рабочие поверхности	Упрочненные	Восстановленные
Легко нагруженные в неподвижных соединениях	0,05...0,10	0,1...0,2
Тяжело нагруженные в неподвижных соединениях	0,1...0,3	0,2...0,4
Легко нагруженные при трении скольжения	0,2...0,4	0,2...0,5
Тяжело нагруженные при трении скольжения	0,4...0,6	0,3...0,7

Если обкатывание (раскатывание) роликами или шариками ведут при давлении 5...20 % от предела текучести материала, то остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате наплавки и снижающие усталостную прочность на 10...30 %, практически снимаются. Опорная поверхность после пластического деформирования увеличивается, а образовавшиеся каналы удерживают около 0,02 мм³ масла на каждый 1 см² площади покрытия. Угол их раскрытия такой, что за счет поверхностного натяжения масло выступает над поверхностью трения.

В ремонтных чертежах деталей указывают параметры шероховатости R_{\max} , R_z или S_m , радиус закругления вершин r , длину относительной опорной поверхности при различных уровнях профиля $t_{20\%}$, $t_{40\%}$ и $t_{50\%}$, базовую длину l_b , а также шероховатость поверхности Ra между масляными каналами.

Процесс применяют для наращивания и упрочнения поверхности с износом до 0,2 мм (при высоких требованиях к твердости и износостойкости восстановленной поверхности и невысокими требованиями к сплошности покрытия).

Электроискровой обработкой можно восстанавливать изношенные детали и упрочнять режущие кромки инструментов (резцов, фрез, штампов и др.) нанесением твердых сплавов, а также изменять свойства поверхностей деталей путем придания им антикоррозионных, жаростойких, фрикционных и антифрикционных качеств. Восстанавливают шейки валов и осей, поверхности отверстий под подшипники, упрочняют трущиеся поверхности вместо термообработки. Способ получил распространение при восстановлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15X и имеющих твердость 56...63 HRC. Стойкость режущей части инструмента в результате упрочнения увеличивается в 2 раза. Износостойкость деталей после электроискрового упрочнения повышается в 3...8 раз.

Электроискровая обработка в ряде случаев при восстановлении изношенных поверхностей подшипниковых узлов является финишной операцией, исключающей механическую обработку.

3.9.2. Материалы, оборудование и режимы

Для электроискрового упрочнения применяют материалы (электроды): металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4, Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечения; медную проволоку; бронзу Бр.АЖ10-3, Бр.АЖМц10-3-1,5, Бр.АЖН10-4-4 и др.; аналог рэлита ДКВ; алюминиево-оловянисто-медный сплав АОМ; сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-2М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ-15 и др. Применяют также сормайт, стеллит и вольфрам.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из различных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него – медь, а затем – олово.

Покрытия, нанесенные из металлокерамики ВК6-ОМ или стали 65Г, обладают такими свойствами. Микротвердость диффузионной зоны H^{100} равна 6940...7270 МПа (45...50 HRC). Микротвердость покрытия из ВК6-ОМ H^{100} равна 7990...8840 МПа (68 HRC), а из стали 65Г – 6760...7590 МПа (57...59 HRC). Толщина первого слоя (у поверхности) составляет 3...10 мкм, второго (белого) слоя равна 40 мкм для ВК6-ОМ и 100 мкм для стали 65Г, третьего (наружного) слоя – примерно 43 мкм.

Покрытия наносят конденсаторными установками с электромагнитными вибраторами контактным способом. Напряжение в момент разряда конденсаторов достигает 100...150 В. Режимы нанесения покрытий приведены в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Режимы электроискровой обработки

Режим	Сила тока, А	Сила тока короткого замыкания, А	Напряжение, В
Чистовой	0,5...0,7	2,5	15
	0,8...1,2	3,0	25
Средний	1,2...1,5	3,5	45
	1,6...2,0	4,5	75
Черновой	2,0...2,5	4,8	140
	2,6...3,0	5,0	200

Наибольшее распространение получили установки группы ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Имеется семь классов модернизированных мобильных установок типа “Элитрон” и два класса установок “Вестрон”, с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и толщиной 0,4...1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Электроискровое наращивание и легирование на модернизированной установке “Элитрон-22БМ” ведут в безвибрационном режиме. Проведена модернизация оборудования для электроискрового легирования “Элитрон-22А”,

“Элитрон-22Б” и “Элитрон-52БМ” в соответствии с патентом России № 2119552.

Установка “Элитрон-52БМ” работает в механизированном режиме с комплектом устройств КМП-50М.

Созданы модернизированные установки “Вестрон-005” и “Вестрон-006”. Сущность модернизации заключалась в совмещении транзисторно-тиристорного и резисторно-емкостного генераторов, оснащении новыми вибровозбудителями с вращающимися электродами и повышении частоты импульсов тока от 100 до 800 Гц. Установки “Вестрон” позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм с пористостью менее 20 %.

Технологические перемещения инструмента выполняют как вручную, так и с помощью приводов. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие имело минимальную пористость, равномерную толщину и ровную поверхность, отражающую свет.

Вопросы для самоконтроля

1. Изложите суть и область применения электроискровой обработки. 2. Как устроено покрытие, нанесенное при электроискровой обработке заготовок? 3. Как изменяются свойства по толщине покрытия? 4. Какое применяют оборудование для нанесения покрытий?

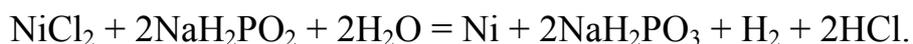
3.10. Нанесение химических и электрохимических покрытий

3.10.1. Нанесение покрытий химическим способом

Химическим способом наносят как металлические покрытия для компенсации износа и коррозионной защиты деталей, так и неметаллические – для защиты поверхностей от коррозии и придания им диэлектрических и декоративных свойств. При этом используют химическую энергию исходных веществ.

Металлические покрытия из меди, кадмия, никеля, олова и других металлов получают осаждением на восстанавливаемые поверхности ионов из водного раствора их хлоридов в результате окислительно-восстановительной реакции.

Основой, например, химического *никелирования* является реакция восстановления никеля из его хлоридов солями-восстановителями гипофосфита натрия



Соли никеля, соли-восстановители и добавки для поддержания постоянной концентрации водородных ионов находятся в водном растворе. Добавки (яблочная кислота, глицерин и др.) связывают выпадающие из раствора фосфиты никеля. Однако никель осаждается из растворов не на

все металлы, а только на железо, никель, алюминий, цинк и серебро. На медь и ее сплавы никель осаждается только в случае, если они находятся в контакте с железом или цинком. Поскольку в растворе всегда присутствует гипофосфит натрия, то одновременно с никелем из раствора восстанавливается и осаждается фосфор, который увеличивает твердость покрытия.

Процесс химического никелирования ведут при температуре раствора 45...99 °С. При нижнем пределе температуры производительность осаждения покрытий весьма низкая (1...2 мкм/ч).

Покрытие приобретает полублестящий металлический вид, аморфную структуру и является износостойким сплавом никеля с фосфором. Для повышения защитных свойств покрытий применяют термоокислирование заготовок в воздушной среде при температуре 900 °С в течение 1 часа. В результате на поверхности никеля образуется слой оксида NiO синезеленого цвета толщиной 5...7 мкм.

При *лужении* поршней из высококремнистого алюминиевого сплава для нанесения приработочного покрытия толщиной 5 мкм применяют водный раствор состава (г/л): двухлористое олово SnCl₂ (45), каустическая сода NaOH (30), пероксид водорода H₂O₂ (20). Температура раствора в стационарных ваннах равна 50...60 °С, время нанесения покрытия составляет 3...5 мин.

Оксидную пленку на поверхностях стальных или чугунных заготовок получают одним из следующих способов: обработкой заготовок в кислотных или щелочных растворах, электрохимической обработкой на аноде в хромовой кислоте или щелочи, термической обработкой при температуре 400...800 °С.

Цвет оксидной пленки зависит от технологии ее получения и толщины, а также вида покрываемого металла. Толщина пленки достигает 0,5...0,8 мкм при щелочном холодном оксидировании и до 10 мкм – при высокотемпературных процессах.

Наибольшее применение получило *химическое оксидирование* путем погружения заготовок в горячий раствор щелочи с добавкой окислителей и выдержки в нем. Универсальный щелочной раствор для оксидирования стальных или чугунных заготовок содержит (г/л): NaOH (500...550), NaNO₃ (50...100), NaNO₂ (200...250).

Оксидирование ведут при температуре кипения раствора, поэтому по мере испарения воды его температура повышается. Для высокоуглеродистых сталей начальная температура раствора составляет 135...137 °С, а для легированных сталей – 140...145 °С. Защитную способность пленок повышают пропитыванием минеральным маслом или лаками.

Оксидно-фосфатные пленки имеют лучшие антикоррозионные и адгезионные свойства. Составы растворов приведены в табл. 3.21.

Составы растворов и режимы нанесения оксидно-фосфатных покрытий

Компоненты раствора и режимы	Номер раствора			
	1	2	3	4
Ca(NO ₃) ₂ , г/л	10...20	–	15...30	–
Ba(NO ₃) ₂ , г/л	–	80...100	–	80...100
MnO ₂ , г/л	–	11,8...12,2	0,5...1,5	10...15
H ₃ PO ₄ , г/л	1...3	0,5...2,5	0,5...1,0	4...5
t, °C	94...98	94...98	98...100	98...100

Фосфатирование – процесс осаждения на поверхности металла нерастворимых в воде фосфорнокислых соединений. Содержание процесса заключается в обработке поверхности металла подкисленными растворами однозамещенных фосфатов, в результате которой на поверхности заготовки образуется мелкокристаллическое покрытие из фосфатов марганца и железа или цинка и железа. Покрытие толщиной 7...50 мкм прочно соединено с основой, имеет черный цвет и пористую структуру из-за растворения основного металла. На нем хорошо закрепляются лакокрасочные материалы, оно обладает большой электропробивной прочностью (до 1000 В). По твердости оно превосходит медь и латунь, но уступает стали.

Для получения покрытий применяют однозамещенные фосфаты двухвалентных металлов: марганца, железа, цинка и кадмия. Препарат МАЖЕФ (по начальным буквам составляющих – марганца, железа и фосфорной кислоты) представляет собой смесь однозамещенных солей ортофосфорной кислоты: Fe(H₂PO₄)₂, Mn(H₂PO₄)₂·H₂O, MnHPO₄ и имеет химический состав (%): Fe (2,4...2,5); Mn (14); фосфатов, в пересчете на P₂O₅ (46...52); SO₄ (1); CaO и Cl – следы; вода (1...2).

Фосфатная пленка состоит из двух слоев. Первый слой, непосредственно примыкающий к металлу, прочно с ним связан и содержит монофосфаты железа. Второй наружный хрупкий слой состоит из монофосфатов марганца с незначительной примесью вторичных фосфатов железа.

Фосфатируют углеродистые и низколегированные стали, чугун, кадмий, медь и ее сплавы и алюминий. Высоколегированные стали плохо поддаются фосфатированию.

3.10.2. Общие сведения об электрохимических процессах

Электрохимические процессы отличаются взаимным превращением электрической и химической энергии. В зависимости от их направленности получают или покрытия за счет расхода электрической энергии, или электрическую энергию путем превращения веществ друг в друга в гальванических элементах.

Простейшая электрохимическая система имеет внутреннюю и внешнюю цепи (рис. 3.34). Два электрода и ионный проводник между ними составляют внутреннюю цепь, а металлический проводник с источником то-

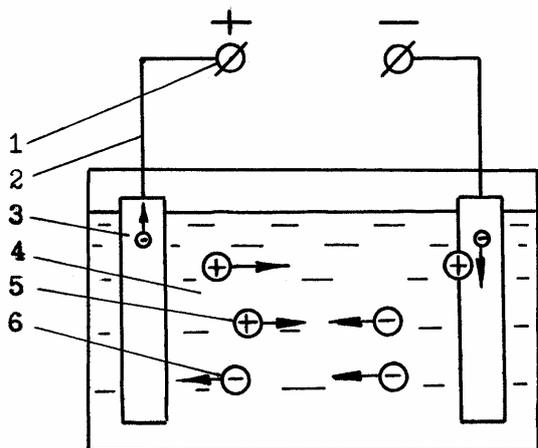


Рис. 3.34. Схема простейшей электрохимической системы. Внешняя цепь: 1 – источник тока и 2 – проводник. Внутренняя цепь: 3 – электроды и 4 – электролит; 5 – положительные ионы; 6 – отрицательные ионы

ка – внешнюю. Electroдами являются металлические проводники, которые имеют электронную проводимость и находятся в контакте с ионным проводником (проводником 2-го рода). В качестве последнего служат растворы или расплавы электролитов. Взаимодействие внутренней и внешней цепей обеспечивает работу системы.

При восстановлении деталей применяют процессы получения покрытий, прочно соединенных с поверхностями деталей. Эти процессы основаны на явлениях электролитической диссоциации и электролиза.

Электролитическая диссоциация заключается в расщеплении молекул растворенного вещества на положительные и отрицательные сольватированные ионы (рис. 3.35) за счет электростатического взаимодействия с молекулами растворителя. Необходимое условие явления – молекулы взаимодействующих веществ должны иметь полярное строение. Соли металла образуют при диссоциации положительно заряженные ионы этого металла и отрицательные ионы кислотного остатка. Потенциал металла, помещенного в раствор своих собственных ионов, концентрация которых составляет 1 моль-ион/л, называется нормальным. В состав растворов входит также кислота, которая диссоциирует на ионы водорода и кислотного остатка. Молекулы воды также образуют ионы водорода и гидроксильные группы. Однако образовавшиеся ионы движутся в растворе беспорядочно.

Молекулы растворенного вещества на положительные и отрицательные сольватированные ионы (рис. 3.35) за счет электростатического взаимодействия с молекулами растворителя. Необходимое условие явления – молекулы взаимодействующих веществ должны иметь полярное строение. Соли металла образуют при диссоциации положительно заряженные ионы этого металла и отрицательные ионы кислотного остатка. Потенциал металла, помещенного в раствор своих собственных ионов, концентрация которых составляет 1 моль-ион/л, называется нормальным. В состав растворов входит также кислота, которая диссоциирует на ионы водорода и кислотного остатка. Молекулы воды также образуют ионы водорода и гидроксильные группы. Однако образовавшиеся ионы движутся в растворе беспорядочно.



Рис. 3.35. Схема образования сольватированных ионов из молекулы в результате электролитической диссоциации

Если к паре электродов, помещенных в диссоциированный раствор кислот, щелочей или солей приложить постоянное напряжение, то движение ионов в направлении к электродам станет упорядоченным. При этом положительно заряженные ионы будут перемещаться к катоду, а отрица-

тельно заряженные ионы – к аноду. Движение ионов представляет собой электрический ток. Таким образом, электрический ток в электролите связан с переносом вещества. Восстановление растворенных веществ с осаждением атомов металла на катоде и окислительные процессы на аноде представляют собой явление *электролиза*.

Теоретическое значение массы металла m , выделившегося на электроде, определяют с помощью объединенного закона *М. Фарадея*

$$m = CIt = \frac{M}{FZ} It, \text{ г}, \quad (3.34)$$

где C – электрохимический эквивалент, г/А·ч; I – сила тока, А; t – время осаждения, ч; M и Z – молярная масса (г/моль-ион) и валентность осаждаемого элемента; F – постоянная Фарадея, определяемая произведением количества элементарных частиц в одном моле вещества (постоянная Авогадро $6,022 \cdot 10^{23}$ моль-ион⁻¹) на значение элементарного заряда ($1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл), отсюда $F = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 96484$ Кл/моль.

Свойства металлов, используемых в процессах восстановления деталей, и водорода приведены в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Электрохимические характеристики веществ

Наименование металла	Химическое обозначение иона	Молярная масса, г/моль-ион	Нормальный потенциал, В	Электрохимический эквивалент, г/А·ч	Плотность, г/см ³
Цинк	Zn ⁺⁺	65,37	- 0,76	1,220	7,0
Хром	Cr ⁺⁺⁺	51,996	- 0,71	0,647	6,5
Железо	Fe ⁺⁺	55,85	- 0,44	1,042	7,8
Железо	Fe ⁺⁺⁺	55,85	- 0,036	0,694	7,8
Кадмий	Cd ⁺⁺	112,41	- 0,40	2,097	8,6
Никель	Ni ⁺⁺	58,69	- 0,23	1,095	8,8
Водород	H ⁺	1,008	0,00	0,0376	-
Медь	Cu ⁺⁺	63,57	+ 0,34	1,186	8,9
Медь	Cu ⁺	63,57	+ 0,652	2,372	8,9

На катоде кроме осаждения металла протекают сопутствующие процессы: выделение водорода, восстановление металла до более низкой валентности, восстановление органических веществ, попавших в электролит. Поэтому действительная масса металла, выделившегося на катоде, будет меньше его массы, рассчитанной по формуле (3.34). Отношение массы действительно выделившегося металла на электроде к теоретически возможному его количеству называется *выходом по току* α , значение которого всегда меньше единицы.

Для различных процессов выход по току имеет следующие значения: кадмирование – 0,85...0,95, железнение – 0,80...0,90, хромирование блестящее – 0,08...0,12 и твердое – 0,12...0,28, цинкование цианистое – 0,75...0,95, кислое – 0,95...1,00 и цинкатное – 0,85...1,00.

Толщину электролитического осадка h определяют по формуле

$$h = \frac{CD_k t \alpha}{10\gamma}, \text{ мм}, \quad (3.35)$$

где $D_k = I/S_k$ – плотность тока, А/дм²; S_k – площадь катода, дм²; γ – плотность осаждаемого металла, г/см³.

Время осаждения электролитического осадка определяют по формуле

$$t = \frac{10h\gamma}{CD_k \alpha}, \text{ ч.} \quad (3.36)$$

Область применения электрохимических покрытий в ремонтном производстве – восстановление деталей с небольшими износами, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Около 65 % деталей ремонтного фонда имеют износ на сторону до 0,14 мм. Электрохимические покрытия наносят на восстанавливаемые поверхности клапанов, поршневых пальцев, шатунов, отверстий под подшипники в корпусных деталях и др.

По сравнению с другими процессами нанесения покрытий электролиз обеспечивает: сохранение структуры материала детали за счет отсутствия вложения тепла в него; высокую износостойкость и твердость покрытий; равномерную их толщину; возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами; большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации; использование недефицитных материалов. Однако скорость нанесения покрытий низкая (электрохимический процесс самый длительный по сравнению с другими процессами нанесения покрытий). Процесс многооперационный и сопровождается большим расходом воды и загрязнением технологических вод кислотами, щелочами и ионами тяжелых металлов. Способ совершенствуют в направлениях повышения производительности и уменьшения энергозатрат.

Электрохимические процессы в зависимости от видов наносимых материалов делят на железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. В ремонтном производстве наибольшее распространение получили первые три процесса. В свою очередь, первые два процесса обеспечивают получение износостойких покрытий, а цинкование – как износостойких, так и защитных покрытий. Цинк обеспечивает надежную катодную защиту стальных изделий.

В зависимости от места ведения электролиза процессы делят на ваннные и вневанные, а в зависимости от температуры электролита электролиз подразделяют на электролиз в горячих (≥ 50 °С) или холодных (< 50 °С) электролитах.

3.10.3. Технологический процесс нанесения электрохимических покрытий

Типовой процесс нанесения электрохимического покрытия содержит три блока операций: подготовительных, нанесения металла и обработки заготовок после нанесения покрытия (рис. 3.36). Операции первого блока включают механическую и электрохимическую обработку восстанавливаемых поверхностей. Осаждение металла составляет основную часть процесса. Последние операции предназначены для подготовки ремонтных заготовок к их механической обработке, в этой части процесса собирают оставшийся электролит на поверхностях заготовок.



Рис. 3.36. Схема технологического процесса нанесения электрохимических покрытий

Предварительная механическая обработка, как правило, абразивная. Она необходима для устранения следов изнашивания на восстанавливаемых элементах и придания им правильной геометрической формы. Эта операция обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий, необходимую шероховатость основы (Ra 0,63...1,25 мкм) и служит необходимым условием прочного соединения покрытия с поверхностью заготовки.

Маслогрязевые отложения удаляют с восстанавливаемых поверхностей органическими растворителями (дихлорэтаном, ацетоном, керосином, уайт-спиритом и др.). Пожароопасная очистка органическими растворителями может быть заменена электрохимическим обезжириванием.

Установка заготовок на подвески должна обеспечить надежный электрический контакт в цепи “подвеска – заготовка”, равномерную толщину покрытий и всплытие пузырьков выделяющегося газа.

Невосстанавливаемые поверхности изолируют от соприкосновения с электролитами путем нанесения не растворяющихся в этих растворах материалов, наматывания полихлорвиниловой ленты, установки резиновых трубок и др.

Затем восстанавливаемые поверхности протирают венской известью (смесью оксидов кальция и магния) и (или) подвергают электрохимической обработке в щелочных растворах. При этом на катоде выделяется водорода в два раза больше по объему, чем кислорода на аноде, поэтому производительность обезжиривания на катоде выше, чем на аноде. Бурно выделяющийся водород срывает и эмульгирует жировую пленку. Для исключения наводороживания поверхности, приводящего к хрупкости материала заготовки, в конце обезжиривания меняют полярность на обратную и в течение четверти времени от длительности катодной обработки заготовки находятся на аноде.

Заготовки после обезжиривания тщательно промывают сначала в горячей (~ 60 °C), а затем в холодной (17...20 °C) воде. Хорошее качество обработки характеризуется сплошной пленкой воды на очищенной поверхности.

Если толщина оксидной пленки на восстанавливаемой поверхности не будет превышать 0,005 мкм, то покрытие будет прочно закреплено на ней. Прочность соединения покрытия с основой увеличивают удалением деформированного поверхностного слоя металла толщиной 15...30 мкм путем травления. Травление – процесс растворения поверхностного слоя металлов и их оксидов в кислотных растворах. При травлении выявляется кристаллическая структура металла. Травление бывает химическим и электрохимическим. Химическое травление выполняют в растворе серной или соляной кислоты. Выделяющийся кислород при анодном травлении отрывает от восстанавливаемой поверхности оксиды и выносит травильный шлам. Анодную обработку ведут вначале в ванне с 30 %-ным раствором серной кислоты, а затем в ванне для нанесения покрытия. Травильный шлам периодически удаляют из ванны.

Травление в растворах серной кислоты ведут при температуре 40...60 °С, а в соляной кислоте – при 15...40 °С. Более низкая температура раствора соляной кислоты объясняется летучестью хлороводорода.

Одновременное обезжиривание и травление целесообразно применять при обработке заготовок, поверхность которых загрязнена незначительно.

Операции предварительной подготовки являются общими для всех электрохимических процессов, поэтому их организуют на одном рабочем месте.

Содержание и особенности операций нанесения различных покрытий приведены ниже.

Заключительные операции технологического процесса имеют такие особенности. При извлечении подвесок с заготовками, площадь поверхности которых 1 м², из ванны уносится 50...250 мл раствора. Поэтому после нанесения покрытий заготовки промывают в ванне-сборнике электролита с дистиллированной водой в целях его дальнейшего использования и обеспечения чистоты сточных вод. Затем следует нейтрализация оставшегося на поверхности заготовок кислотного раствора в щелочном растворе и промывка горячей и холодной проточной водой. Горячую воду меняют один раз в течение 1...2 ч. С заготовок снимают изоляцию и их сушат в опилках, подогретых до температуры 120...130 °С, или в сушильном шкафу. Опилки не должны содержать дубильных веществ. Для уменьшения водородной хрупкости заготовки выдерживают в течение 1...2 ч при температуре 150...200 °С в масляной ванне или шкафу.

Работы ведут в стационарных (рис. 3.37) или подвижных ваннах. В стационарных ваннах заготовки устанавливают на подвески, размеры этих ванн нормализованы. Подвижные ванны бывают барабанного или колокольного типов. При работе подвижных ванн заготовки перекачиваются друг через друга.

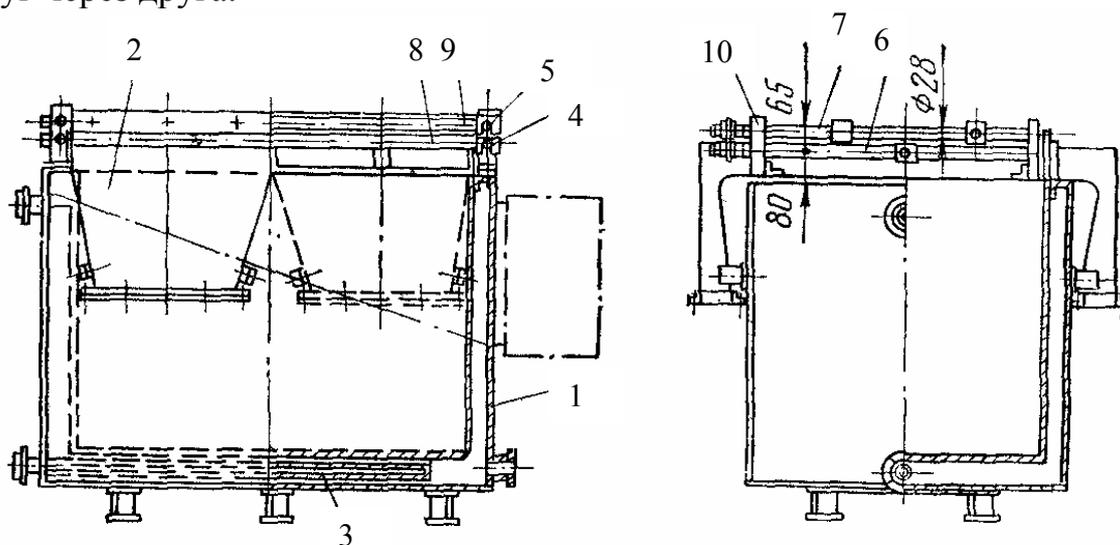


Рис. 3.37. Гальваническая ванна: 1 – корпус; 2 – бортовой отсос; 3 – труба для подвода сжатого воздуха; 4 и 5 – катодный и анодный кабели; 6 и 7 – катодная и анодная неподвижные штанги; 8 и 9 – катодная и анодная подвижные штанги; 10 – изолятор под штанги

Постоянный или переменный ток необходимых параметров напряжением 6...12 В вырабатывают источники тока (выпрямители) с тиристорным или транзисторным управлением.

3.10.4. Основы электрокристаллизации покрытий

Электролит у поверхности катода насыщен положительными ионами металла, а поверхность катода имеет отрицательный заряд из электронов.

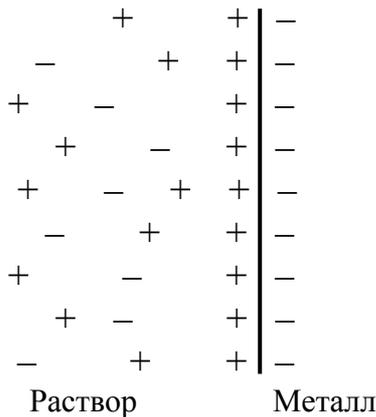


Рис. 3.38. Двойной электрический слой у поверхности катода

Противоположные по знаку заряды образуют вследствие электростатического притяжения на границе раствор-металл двойной электрический слой (рис. 3.38) с напряженностью до 10^7 В/см. Восстанавливающийся ион металла преодолевает этот слой и с большой скоростью внедряется в создаваемую на катоде кристаллическую решетку неравновесного строения. В образовании этой решетки участвуют также неметаллические включения в виде гидроксидов, воды, водорода и ПАВ.

Сложный катодный процесс включает несколько стадий:

- перенос сольватированных ионов путем диффузии, конвекции и миграции из глубины раствора к наружной области двойного электрического слоя;
- переход ионами границы фаз со стороны электролита через двойной электрический слой к металлу, при этом происходит частичная десольватация ионов, их адсорбция и разряд на поверхности электрода;
- движение атомов по поверхности электрода к местам образования и роста кристаллической решетки и их внедрение в эту решетку.

Осаждение металла происходит тогда, когда к катоду приложен так называемый катодный потенциал, превышающий равновесный потенциал в отсутствие электрического тока. Катодный потенциал зависит от силы этого тока, температуры и давления электролита, массовой доли его компонентов и других факторов. Разность между катодным φ_k и равновесным φ_p потенциалами называют *катодной поляризацией* $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_p, \text{ В.} \quad (3.37)$$

Различают три основные составляющие катодной поляризации – концентрационную, химическую и кристаллизационную.

К повышению катодной поляризации приводят: уменьшение массовой доли ионов осаждаемого металла; добавление в электролит кислот и солей, переносящих заряды, но в осаждении не участвующих; добавка в электролит органических веществ (гуммиарабика, декстрина, желатина,

фенола, глицерина и др.), образующих коллоидные или молекулярные растворы, которые блокируют поверхность растущих кристаллов; рост плотности тока; уменьшение площади электродов и температуры электролита. Условия, облегчающие подачу ионов к катоду, например, перемешивание электролита, снижают катодную поляризацию. В этом случае возможно повышение плотности тока при пониженной температуре раствора.

Образование покрытия подчиняется общим закономерностям образования твердой фазы из расплава или раствора. Процесс электрокристаллизации состоит из двух стадий: возникновения центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров. Каждая из этих стадий характеризуется определенной скоростью, зависящей от технологических факторов процесса. В том случае, когда скорость образования новых центров кристаллизации превышает скорость роста уже появившихся кристаллов, образуется большее число мелких кристаллов (осадок приобретает мелкокристаллическую структуру). При обратном соотношении скоростей возникают более крупные кристаллы. Покрытия, имеющие мелкокристаллическую структуру, более работоспособны.

Вокруг растущего кристалла происходит обеднение раствора ионами металла, вследствие чего линии тока перераспределяются и металл начинает осаждаться на других участках катода, у которых массовая доля ионов выше. Катодный ток непрерывно блуждает по элементарным площадкам катода вслед за появлением новых кристаллов. Чем больше катодная поляризация, тем чаще возникают новые центры кристаллизации, а покрытие приобретает мелкокристаллическую структуру.

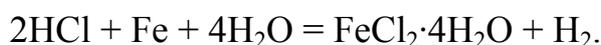
3.10.5. Основные электрохимические процессы

Железнение применяют при восстановлении поверхностей различных деталей, изношенных более чем на 0,2 мм. Восстанавливают шейки валов и осей, входящие в подвижные и неподвижные соединения, поверхности отверстий под втулки и обоймы подшипников в стаканах и корпусных деталях и другие элементы.

Процесс разработан и впервые применен в 1866 г. русскими учеными Б.С. Якоби и Е.И. Клейном.

Сернокислые электролиты железнения по сравнению с хлористыми в меньшей степени подвержены окислению и менее агрессивны по отношению к материалу ванны и заготовки. Однако хлористые электролиты отличаются повышенным содержанием железа и большей активностью ионов, что позволяет значительно повысить допустимую плотность тока (до 60 А/дм²). Повышение температуры электролита до 90...95 °С позволяет получать пластичные покрытия с меньшими внутренними напряжениями. Наиболее распространен электролит из хлористого железа (300...500 г/л) и соляной кислоты (2...3 г/л) в воде. Присутствие свободной соляной кислоты преду-

преждает образование гидроксидов железа, которые загрязняют электролит и снижают качество покрытия. Раствор хлористого железа готовят травлением стальной стружки в соляной кислоте в результате реакции



Для поддержания необходимой массовой доли ионов железа применяют растворимые аноды из армко-железа, площадь которых меньше площади катодов примерно в два раза. Аноды при работе помещают в мешки из стеклоткани для уменьшения загрязнения электролита.

Горячие электролиты требуют большого расхода энергии, частой корректировки своего состава и эффективного удаления паров с помощью вентиляции. Однако они получили большое распространение как более производительные по сравнению с холодными электролитами.

Во время электролиза на электродах протекают следующие процессы: восстановление на катоде – разряд ионов железа $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$, выделение водорода $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$, восстановление трехвалентного железа $\text{Fe}^{3+} + \text{e} = \text{Fe}^{2+}$; окисление на аноде – растворение железа $\text{Fe} - 2\text{e} = \text{Fe}^{2+}$, окисление двухвалентного железа $\text{Fe}^{2+} - \text{e} = \text{Fe}^{3+}$, выделение кислорода $2\text{O}^- - 2\text{e} = \text{O}_2$.

Катодная плотность тока при железнении 5...15 А/дм². Выход по току составляет 0,85...0,95.

Электролитическое железо по химическому составу приближается к малоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,03...0,06 %, однако его кристаллическая решетка напряжена, а по своим физико-механическим свойствам осадки близки к закаленной стали.

Сплавы железа с никелем, хромом, марганцем, фосфором и другими элементами обладают повышенной износной и коррозионной стойкостью.

Для получения сплава Fe – Ni используют, например, электролит состава (г/л): NiCl₂·6H₂O (120...200), FeCl₂·4H₂O (100), H₃BO₃ (30). Режим электролиза: температура электролита 70...80 °С, катодная плотность тока 20...30 А/дм², водородный показатель рН = 2,5...3,0. Выход по току составляет 0,80...0,90. Максимальную твердость 7 ГПа имеют осадки, содержащие 35...45 % Fe.

Покрyтия Fe – P – Mn получают из электролита состава (г/л): хлористое железо (400...500), хлористый марганец (30...80), гипофосфид натрия (10...20). Режим процесса: температура электролита 40...60 °С, катодная плотность тока 40...50 А/дм². Покрyтия при этих условиях содержат до 4 % фосфора и 2 % марганца. Их отпуск при температуре 250...350 °С в течение часа способствует образованию фосфидов железа в виде субмикроскопических включений. Твердость осадков при этом увеличивается с 7,5 до 9,0 ГПа, а их износостойкость в 2 раза превышает износостойкость закаленной стали 45.

Электроконтактное железнение отличается тем, что ток плотностью до 200 А/дм² проходит через маленькую ванночку, которая образуется в зоне контакта заготовки с анодом из адсорбирующего материала (тампоном), пропитанным электролитом. Материал тампона – стекловата или

губка в суконном чехле, фетр, войлок, капрон и др. Заготовка и анод перемещаются относительно друг друга со скоростью ~ 20 м/с.

На рис. 3.39 приведено устройство, в котором трение скольжения заменено трением качения. Способ обеспечивает меньший расход материалов и энергии, нанесение гладких покрытий толщиной до 0,1 мм с сокращением или исключением обработки резанием. Область применения способа – создание ремонтных заготовок при восстановлении корпусных деталей и крупногабаритных валов.

Разработана установка 0113-006 Ремдеталь для электроконтактного внешнего железнения, которую используют при восстановлении поверхностей отверстий. Установка включает: вращатель, ванны для приготовления электролита, обезжиривания и железнения, шкаф электрический, насосный агрегат X2/40, выпрямительный агрегат ВАКР-630-12У4. Производительность нанесения покрытия при его толщине 1 мм не менее $0,1$ м²/ч.

Хромирование применяют при восстановлении поверхностей деталей с износами до 0,2 мм и высокими требованиями к износостойкости.

При хромировании применяют универсальный электролит состава: хромовый ангидрид CrO_3 (200...250 г/л), серная кислота (2,0...2,5 г/л), остальное – вода. Этот электролит обеспечивает выход по току 0,12...0,14. Удовлетворительные хромовые покрытия получаются лишь в присутствии ионов SO_4 или SiF_6 в строго определенном соотношении. Применяют нерастворимые свинцово-сурьмянистые аноды, в которых содержание сурьмы составляет 6 %. Постоянная массовая доля ионов SO_4 поддерживается за счет присутствия в растворе труднорастворимого сульфата стронция SrSO_4 . Такие электролиты называют саморегулирующимися. Добавление в раствор кремнефторида калия K_2SiF_6 делает электролит саморегулирующимся как по ионам SO_4 , так и по ионам SiF_6 . Катодная плотность тока при хромировании в таких условиях равна 35...100 А/дм², а выход по току составляет 0,35...0,40. При использовании хлоридных электролитов выход по току достигает 0,55...0,60.

Во время хромирования на катоде одновременно протекают три процесса: восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного $\text{Cr}^{6+} + 3e = \text{Cr}^{3+}$, выделение водорода $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$, осаждение металлического хрома

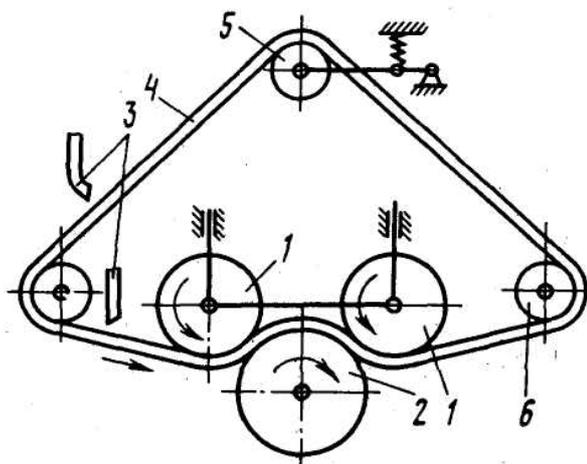


Рис. 3.39. Схема устройства для электроконтактного железнения: 1 – ролики-аноды; 2 – восстанавливаемая деталь (катод); 3 – трубки для подачи электролита; 4 – ленточный тампон; 5 – натяжной ролик; 6 – приводной ролик

$\text{Cr}^{6+} + 6e = \text{Cr}$. На аноде выделяется газообразный кислород и окисляется трехвалентный хром до шестивалентного $\text{Cr}^{3+} - 3e = \text{Cr}^{6+}$.

Электролитический хром по внешнему виду бывает блестящим, молочным или матовым. Блестящий хром имеет высокие твердость (6...9 ГПа), износостойкость, хрупкость и внутренние напряжения. На его поверхности видны под микроскопом мелкие пересекающиеся трещины. Молочный хром имеет повышенную износостойкость, большую вязкость и пониженную твердость (4...6 ГПа). Сетка трещин на нем отсутствует. Матовый хром очень твердый (9...12 ГПа) и хрупкий металл, имеющий из-за хрупкости пониженную износостойкость. При восстановлении деталей используют блестящие и молочные осадки.

Получение осадков различных видов определяется условиями электролиза (рис. 3.40). Блестящие покрытия получают при температуре электролита 45...65 °С, а молочные – свыше 65 °С в широком диапазоне плотностей тока. Матовый хром получают при низкой температуре электролита и высокой плотности тока.

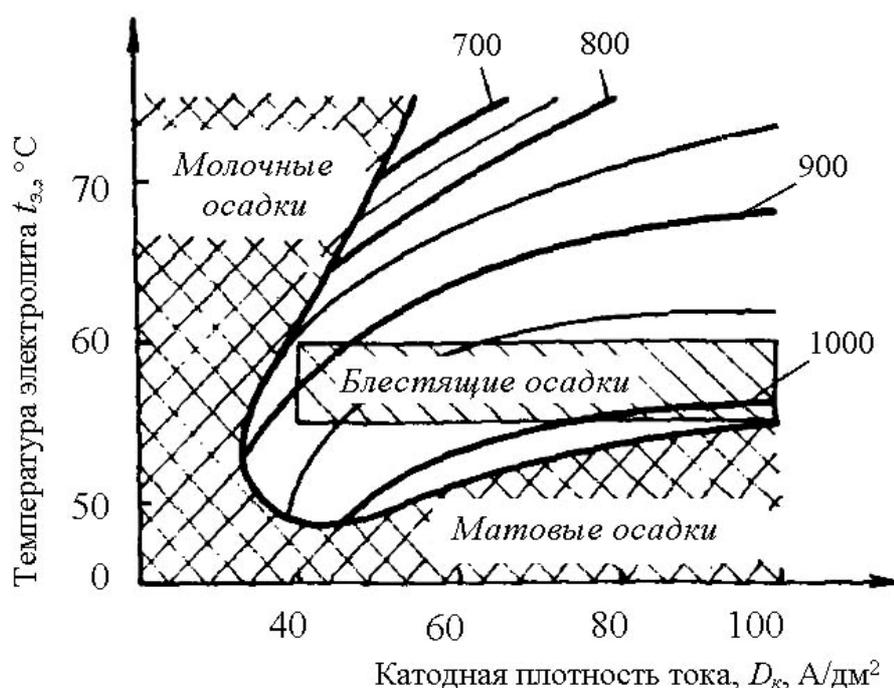


Рис. 3.40. График для выбора температуры электролита $t_{\text{э}}$ и катодной плотности тока $D_{\text{к}}$ из саморегулирующегося электролита (цифры на кривых – микротвердость, кгс/мм²)

Пористые износостойкие хромовые покрытия получают в результате их анодной обработки после нанесения.

Цинковые покрытия характеризуются хорошей пластичностью и невысокой твердостью (500...600 МПа). Эти покрытия применяют для защиты деталей из черных металлов от коррозии и восстановления поверхностей отверстий в корпусных деталях.

Электролиты цинкования приведены в табл. 3.23. Аноды выполняют из цинка Ц0, Ц1 и Ц2.

Составы электролитов и режимы цинкования

Компоненты электролита и параметры режима	Номер электролита		
	1	2	3
Сернокислый цинк, г/л	200...300	–	–
Оксид цинка, г/л	–	12...15	10...20
Едкий натр, г/л	–	100...120	–
Сернокислый натрий, г/л	50...100	–	–
Сернокислый алюминий, г/л	30...50	–	–
Хлористый аммоний, г/л	–	–	200...300
Декстрин, г/л	8...10	–	–
Борная кислота, г/л	–	–	25...30
Мездровый клей, г/л	–	–	1...2
Полиэтиленполиамин, г/л	–	2...4	–
Тиомочевина, г/л	–	0,5	–
Кислотность, рН	3,5	–	5,9...6,5
Температура электролита, °С	15...25	18...25	15...30
Плотность тока, А/дм ²	1...2	1...2	0,5...1,5

В производстве применяют кислотные (№ 1) и щелочные (№ 2 и № 3) электролиты. В свою очередь электролит № 2 является цинкатным, а электролит № 3 – аммиакатным. Для увеличения плотности тока электролит перемешивают. Кислотные электролиты обладают плохой рассеивающей способностью, а полученные из них покрытия – меньшей коррозионной стойкостью, чем покрытия, полученные в щелочных электролитах. В то же время кислотные электролиты более долговечны и допускают применение токов большей плотности с выходом по току, близким к единице. В последнее время больше применяют щелочные цинкатный (№ 2) и аммиакатный (№ 3) электролиты. Они просты по составу, дешевые, обладают высокой электропроводностью и хорошей рассеивающей способностью.

При создании ремонтных заготовок распространено электроконтактное цинкование в электролите, содержащем 280...300 г/л сернокислого цинка и 20...40 г/л борной кислоты. Процесс начинают при плотности тока 30...50 А/дм², которую постепенно доводят до 200 А/дм². Скорость перемещения анодного тампона относительно восстанавливаемой поверхности составляет 10 м/мин.

Мелкие крепежные детали цинкуют во вращающихся колокольных или барабанных ваннах. Частота вращения ванн составляет 8...15 об/мин.

В производство активно внедряют нанесение хромовых, никелевых и железных композиционных покрытий из различных электролитов, в которых взвешены мелкодисперсные порошки полимеров, карбидов, оксидов, боридов и др. При максимально возможной концентрации порошков в электролитах получают до 30...40 % их массовой доли в покрытиях, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах. Получают композиционные покрытия толщиной более 100 мкм с различными структурой и свойствами.

При нанесении композиционных электрохимических покрытий на основе хрома используют ультрадисперсные алмазные добавки размером около 4 нм, массовая доля которых в покрытии достигает 2 %. Добавки обеспечивают значительный эффект упрочнения. На режимах блестящего хромирования частицы модификатора внедряются в покрытие в виде скоплений размером 100...200 нм. Это связано с агрегатированием частиц под действием ионных сил электролита.

На поверхностях деталей, работающих в жестких условиях коррозионно-механического изнашивания, перспективно создание тонких металлополимерных пленок. Это способствует снижению изнашивания поверхностей по сравнению с изнашиванием поверхностей из закаленной стали 45 на 45...48 % при трении в условиях граничной смазки. Износ контртела уменьшается в 1,5...3,0 раза.

3.10.6. Микродуговое оксидирование

Микродуговое оксидирование основано на использовании комбинации электрохимических и микроплазменных процессов и позволяет получать на поверхности вентильных металлов (алюминия, титана, циркония, тантала и др.) оксидные покрытия.

Широко применяют микродуговое оксидирование заготовок из алюминиевых сплавов (Д16Т, АМг, АМц и др.). На поверхности заготовок образуются керамические покрытия из оксидов $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{Al}_2\text{O}_3$. Толщина покрытий достигает 60 мкм, а шероховатость поверхности – Ra 0,63 мкм. В ряде случаев механическая обработка после нанесения покрытий не нужна.

Используют три вида электролитов: растворы кислот или щелочей, в которых слой оксида растет вглубь металла; растворы жидкого стекла, анионы которого формируют покрытие, растущее наружу; смесь растворов первого и второго видов, в которой покрытие формируется как вглубь металла, так и наружу за счет окисления металла и осаждения анионов.

Электролит третьего вида из щелочи КОН (0,5...3,0 г/л) и жидкого стекла Na_2SiO_3 (6...20 г/л) оказался наиболее перспективным. Температура электролита составляет 40...50 °С, его водородный показатель – рН 7...12, плотность тока – 10...25 А/дм², а продолжительность процесса равна 1,5...2,0 ч. Анодная составляющая напряжения возрастает и на 3...8 минуте процесса составляет около 200 В, а катодная – около 60 В. Микротвердость покрытий составляет 5...11 ГПа, а их износостойкость в несколько раз превышает износостойкость неупрочненных сплавов. По этой технологии восстанавливают и упрочняют большую номенклатуру малоизношенных деталей.

Для восстановления деталей из сплава АЛ9 применяют электролит состава: КОН (0,9...1,1 г/л), Na_2SiO_3 (10...14 г/л). При плотности тока 25...30 А/дм² скорость осаждения покрытия достигает 30...50 мкм/ч. Расстояние между электродом и заготовкой составляет 10...15 мм. После двух часов нанесения покрытия и снятия внешнего рыхлого слоя остается твердое покрытие толщиной 50 мкм.

Покрытия при необходимости обрабатывают абразивным инструментом на эластичной связке.

3.10.7. Направления совершенствования электрохимических процессов

Служебные свойства покрытия определяются прочностью его соединения с поверхностью детали, твердостью, внутренними напряжениями, износостойкостью и усталостной прочностью. Наибольшее влияние на указанные свойства оказывают вид тока и его плотность, вид и массовая доля составляющих электролита, его температура и скорость перемещения у поверхности катода. Плотность дислокаций в электрохимическом покрытии составляет $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Прочность соединения покрытия с деталью зависит от подготовки восстанавливаемой поверхности, условий нанесения покрытия, структуры его материала, внутренних напряжений в покрытии и др.

Твердость покрытий зависит от температуры и массовой доли компонентов электролита и катодной плотности тока (рис. 3.41). Однако рост твердости с повышением плотности тока происходит до определенного предела.

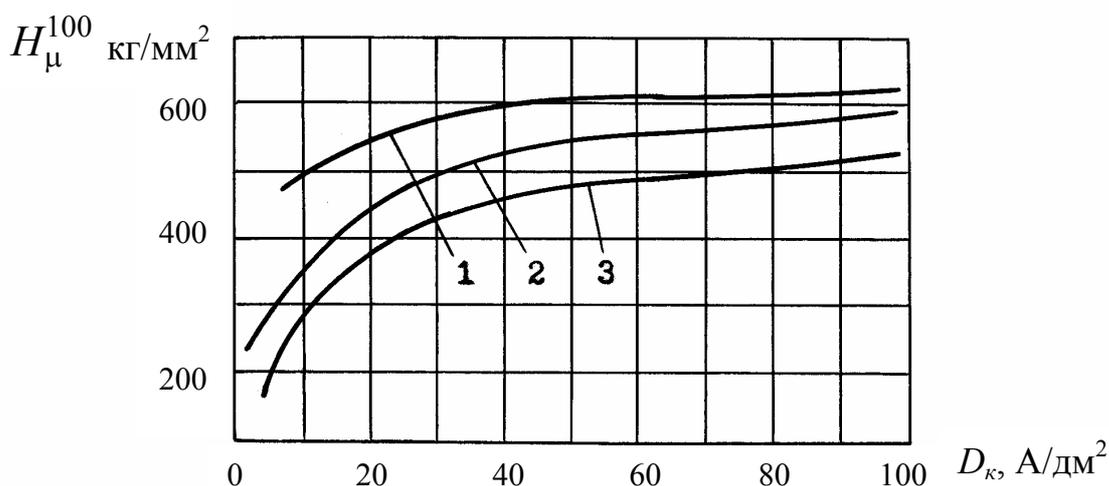


Рис. 3.41. Влияние плотности тока D_k и температуры электролита на твердость H_μ^{100} железных покрытий. Температура электролита: 1 – 60 °С, 2 – 80 °С, 3 – 90 °С (массовая доля $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ равна 200 г/л)

Мелкокристаллическое строение и наличие пор, служащих масляными резервуарами на поверхности, повышает износостойкость покрытий.

Внутренние напряжения в покрытиях оказывают большое влияние на твердость, усталостную прочность и прочность соединения с основой. Величина и знак внутренних напряжений зависят от режима электролиза. Покрытия, полученные при низкой температуре электролита, небольшой массовой доле его компонентов и высокой катодной плотности тока, характеризуются напряженной структурой и большим запасом энергии, который образуется из-за упругого смещения атомов от их равновесного положения. Силы, стремящиеся вернуть атомы в их начальное состояние,

и есть внутренние напряжения. Они растут с увеличением толщины покрытий. Растягивающие внутренние напряжения приводят к уменьшению усталостной прочности.

Покрытия равномерной толщины получают с применением экранирующих устройств.

Использование экранов снижает в 3...5 раз непроизводительный расход металла на образование дендритов, а длительность электролиза и расход электроэнергии при этом уменьшаются в 1,5...2,0 раза. Затраты на внедрение мероприятий составляют не более 1 % себестоимости восстановления детали.

Скорость электрохимической реакции v определяется ростом толщины покрытия в единицу времени. Скорость v найдем, если разделим обе части выражения (3.35) на время t

$$v = \frac{h}{t} = \frac{CD_k \alpha}{10\gamma}, \text{ мм/ч.} \quad (3.38)$$

Здесь управляемыми факторами являются катодная плотность тока и выход по току. Для их повышения применяют новые электролиты, принудительную циркуляцию электролита в зоне электролиза и повышение его температуры, нестационарные токи, изменение давления на зеркало ванны и др. В ряде случаев эти факторы позволяют получать покрытия с заданными свойствами.

Применение различных добавок катионного и анионного типа к электролиту обеспечивает высокий выход металла по току (для хромирования – до 0,42) в отрезке плотности катодного тока 90...200 А/дм². Разработаны также высокопроизводительные малоокисляющиеся электролиты железнения.

Перемещение электролита у восстанавливаемой поверхности повышает производительность процесса до 4 раз. Различают следующие виды принудительной подачи электролита в катодно-анодное пространство: под напором, газо-лифтную и эжекторную (рис. 3.42).

Сущность подачи электролита *под напором*, которая реализуется при вневанных способах электролиза, состоит в том, что с помощью насосной установки подают электролит в катодно-анодное пространство струями через систему входных отверстий диаметром 2,4...2,6 мм, а отводят через систему выходных отверстий диаметром 2,8...3,0 мм, выполненных в аноде. Площадь всех отверстий составляет ~ 5 % от площади рабочей поверхности анода. Такой характер циркуляции электролита способствует его обновлению и ускоренному отводу газов, повышению проводимости электролита и уменьшению наводороживания заготовок. Обеспечиваются меньшие остаточные напряжения, а усталостная прочность снижается не более чем на 5 %.

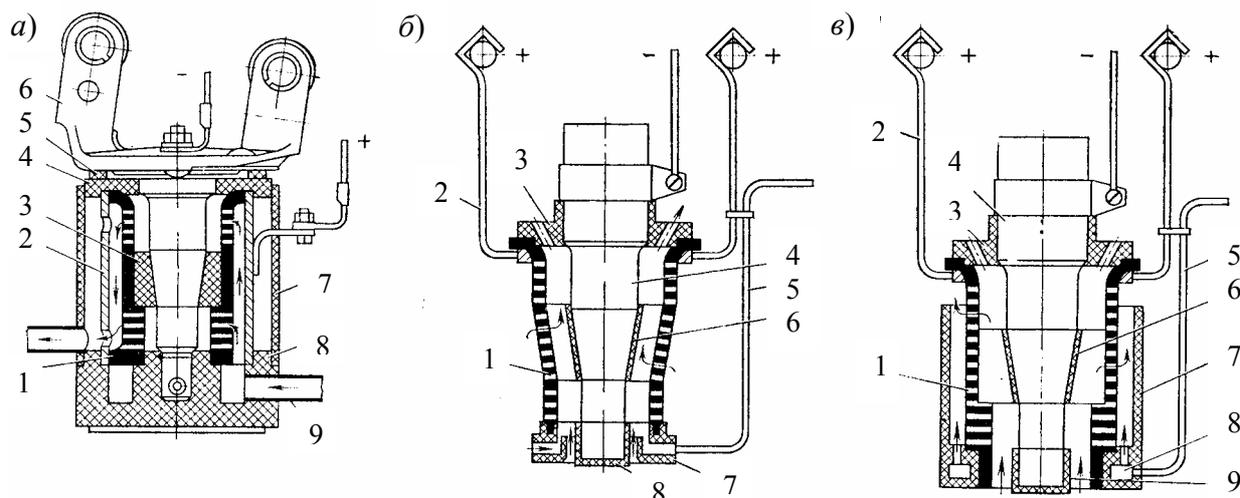


Рис. 3.42. Схема подачи электролита в электролитическую ячейку:

а – под напором: 1 – анод; 2 – гильза анода; 3 – втулка; 4 и 8 – центрирующие крышки; 5 – прокладка; 6 – заготовка; 7 – кожух; 9 – трубопровод;

б – газо-лифтная: 1 – анод; 2 – контакт анодный; 3 – центрирующая шайба; 4 – заготовка; 5 – воздухопровод; 6 – изолирующая втулка; 7 – воздухораспределительное устройство; 8 – колпак;

в – эжекторная: 1 – анод; 2 – контакт анодный; 3 – центрирующая шайба; 4 – заготовка; 5 – воздухопровод; 6 – изолирующая втулка; 7 – экран; 8 – распределительное устройство; 9 – колпак

При *газо-лифтной* подаче электролита в зону электролиза принудительную циркуляцию электролита в межэлектродном пространстве создают за счет всплытия пузырьков отфильтрованного воздуха. Воздух, проходя с большой скоростью, увлекает свежий электролит и перемещает его через анодно-катодное пространство.

Эжекторная подача электролита в зону электролиза заключается в том, что интенсивную циркуляцию электролита создают в результате перепада давления в анодно-катодном пространстве. Это достигается пропуском отфильтрованного сжатого воздуха снаружи перфорированного анода снизу вверх.

Уменьшить время нанесения покрытий можно за счет движения электролита относительно покрываемой поверхности в турбулентном режиме (гальваномеханический способ).

Движение электролита создают также с помощью вращающегося в межэлектродном пространстве пластмассового перфорированного диска.

При скорости движения обода диска 2...3 м/с в холодном электролите железнения при массовой доле хлористого железа 580...620 г/л и pH 0,6...0,8 можно достичь плотности тока 150...200 А/дм² и скорости осаждения покрытия 1,5...2,0 мм/час. При этом уменьшается дендритообразование и шероховатость покрытия, повышается равномерность его толщины. Активирование восстанавливаемой поверхности и перемешивание электролита при хромировании позволяют повысить плотность тока до 1000 А/дм², скорость осаждения покрытий – в 20...50 раз и достичь значения 3,6 мм/ч. Выход по току при этом составляет 0,50...0,55.

За счет применения проточных способов нанесения покрытий обеспечивается высокая равномерность и толщина покрытия до 1 мм без дендритов, допускается нанесение покрытия “в размер”, снижается содержание водорода в покрытии и обеспечивается мелкозернистая структура материала, более высокая твердость и меньшие остаточные напряжения, при этом снижается усталостная прочность детали только на 4...5 %. Получают осадки с большой плотностью точечных и линейных дефектов, т.е. с повышенными микротвердостью и прочностью при растяжении.

Применение периодических токов (реверсивного, асимметричного и импульсного) вместо постоянного тока (рис. 3.43) значительно уменьшает ограничения по массовой доле составляющих электролита, повышает рабочую плотность тока и прочность соединения покрытия с основой. При технологических расчетах используют эффективную силу тока $i_{эф}$, значение которой равно

$$i_{эф} = \frac{I}{T} \int_0^T i(t) dt, \text{ А}, \quad (3.39)$$

где $i(t)$ – текущее значение тока (А) в функции времени t (с); T – период действия переменного тока, с.

Анодные импульсы тока частично растворяют покрытие и обогащают прикатодный слой ионами металла или пассивируют поверхность покрытия. Увеличения производительности процесса достигают непрерывным обогащением прикатодного слоя ионами осаждаемого металла и исключением его защелачивания.

Снижение трудоемкости процесса, уменьшение расхода энергии, химикатов и воды возможно за счет сокращения числа подготовительных и заключительных операций. Снижения затрат энергии добиваются за счет повышения концентрации солей металлов в электролите.

Понижение давления среды на зеркало ванны приводит к повышению качества покрытия. В этом случае уменьшаются пористость и трещиноватость покрытия, значительно увеличивается прочность соединения покрытия с основой и равномерность толщины покрытий. Над ванной исчезает туман, улучшается санитарная обстановка на участке.

При выборе режимов нанесения качественных покрытий учитывают следующее:

- понижение температуры и массовой доли составляющих электролита и повышение плотности тока (жесткий режим) повышают твердость покрытий и уменьшают их достижимую толщину;
- повышение плотности тока возможно за счет повышения температуры и массовой доли составляющих электролита без ущерба для качества покрытий.

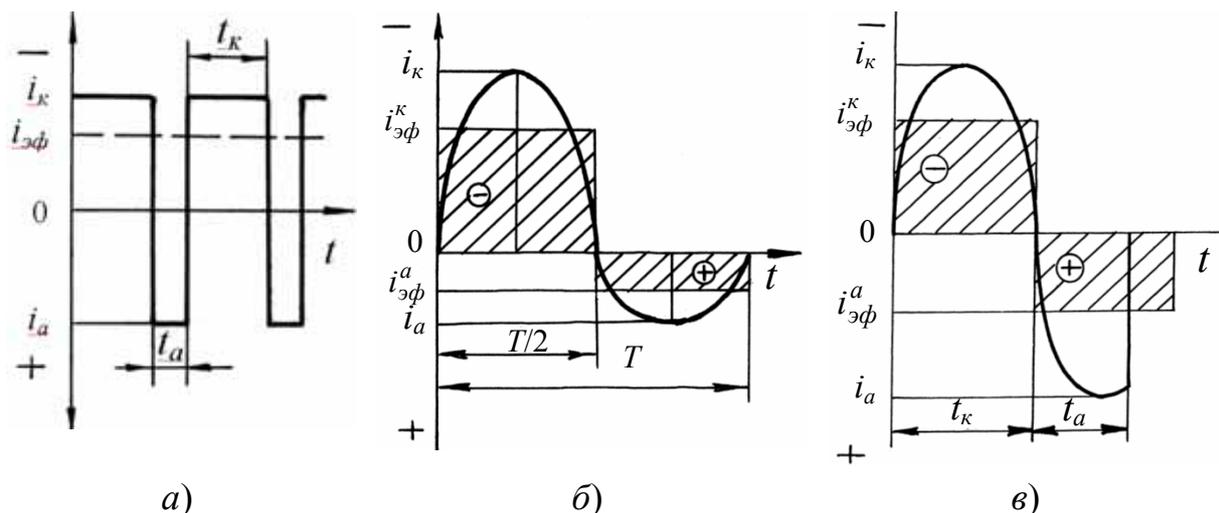


Рис. 3.43. Нестационарные токи при электролизе: *а* – реверсивный; *б* – асимметричный; *в* – импульсный; i_k – катодный ток; i_a – анодный ток; $i_{эф}$ – эффективная сила тока; $i_{эф}^k$ – эффективная сила катодного тока; $i_{эф}^a$ – эффективная сила анодного тока; t_k – длительность катодного импульса; t_a – длительность анодного импульса; t – текущее время

Вопросы для самоконтроля

1. Изложите сущность нанесения и область применения химических покрытий.
2. Как наносят приработочное покрытие на поверхность поршня из алюминиевого сплава?
3. Какие процессы положены в основу нанесения электрохимических покрытий?
4. Какое значение имеет подготовка поверхности заготовки перед нанесением покрытия?
5. Каково влияние катодной поляризации на качество покрытий?
6. Какие применяют меры для повышения производительности нанесения покрытий?

Практическое занятие № 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НАНЕСЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель занятия – приобрести навыки по расчету режимов нанесения электрохимических покрытий.

Последовательность выполнения работы следующая:

- изучить технологический процесс нанесения электрохимических покрытий и закон М.Фарадея (раздел 3.10);
 - получить задание у преподавателя. Сведения индивидуального задания приведены в табл. 3.24;
 - определить толщину наносимого покрытия, исходя из значения износа и припуска на обработку;
 - выбрать состав электролита и плотность катодного тока;
 - рассчитать электрохимический эквивалент для наносимого материала
- $$C = M / FZ; \quad (3.40)$$
- принять значение величины выхода по току;
 - определить основное время нанесения покрытия;

Задания для технологических расчетов электролиза

Название процесса	Площадь наносимых покрытий на детали одного ремонтируемого агрегата, дм ²	Годовой объем ремонта агрегатов, год ⁻¹
Железнение	5,2	10
		16
		25
Хромирование	2,5	10
		16
		25
Цинкование	7,3	10
		16
		25

– выбрать типоразмер гальванических ванн и определить их необходимое количество n_g по формуле

$$n_g = k_{зв} \frac{s_d N t_o}{s_3 \Phi_{до}}, \quad (3.41)$$

где $k_{зв}$ – коэффициент, учитывающий время на загрузку и выгрузку изделий; s_d – площадь поверхности заготовок, на которую наносят покрытие, дм²; N – годовой объем капитальных ремонтов агрегатов; t_o – время обработки одной загрузки заготовок в ванне, ч; s_3 – единовременная загрузка ванны, дм².

Содержание отчета: название и цель работы; изображение электрохимической системы; обоснование принятых значений величин; технологические расчеты; выводы по работе.

Лабораторная работа № 3

НАНЕСЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы – изучить оборудование и материалы для нанесения электрохимических железных покрытий и приобрести навыки по нанесению таких покрытий.

Оборудование и материалы: заготовки и подвески; стол для сборки и разборки подвесок с заготовками; очистная машина с раствором ТМС; гальванические ванны со щелочным, серноокислым и хлористым электролитами; источник тока; ванны с горячей и холодной водой; перхлорвиниловая лента.

Порядок выполнения работы.

Очистить восстанавливаемую деталь в горячем растворе ТМС. Определить площадь восстанавливаемой поверхности и необходимую толщину покрытия. Шлифовать заготовку и промыть ее в органическом растворителе. Изолировать невозстанавливаемые поверхности заготовки наматыванием на них перхлорвиниловой ленты.

Выбрать необходимую плотность тока и, используя значения других величин, рассчитать время электрохимического обезжиривания, травления и электролиза по зависимости (3.36).

Установить расчетные значения температуры среды в ваннах.

Завесить заготовку на анод в ванну для обезжиривания, включить ток и отрегулировать его. Время обезжиривания 2,0...2,5 мин. Промыть заготовку в горячей воде.

Завесить заготовку на анод в ванну анодного травления, включить ток и отрегулировать его. Время травления 20...30 с. Промыть заготовку в горячей воде.

Завесить заготовку на катод в ванну для электролиза, установить принятый режим и нанести покрытия в течение расчетного времени. Промыть заготовку в горячей и холодной воде. Проверить качество покрытия: равномерность и цвет, отсутствие дефектов и др. Измерить диаметр элемента заготовки с покрытием.

Содержание отчета: название и цель работы; наименование детали; оборудование и материалы; краткие теоретические сведения; описание устройства гальванической ванны; расчетные зависимости, режим процесса; результаты расчетов; сравнение полученной толщины покрытия с расчетной.

3.11. Использование дополнительных ремонтных деталей

3.11.1. Характеристика и виды способа

Дополнительная ремонтная деталь (ДРД) – это закрепляемая на восстанавливаемой детали заготовка, которая по форме и размерам соответствует изношенному слою или разрушенному элементу.

С помощью ДРД компенсируют износ поверхностей деталей или заменяют их поврежденные части. В первом случае ДРД устанавливают и закрепляют непосредственно на изношенных поверхностях. Во втором случае ими заменяют части деталей с поврежденными элементами.

С применением ДРД восстанавливают многие детали, в том числе корпуса, гильзы и валы. Восстанавливают отверстия под подшипники качения в корпусных деталях, отверстия с изношенной резьбой, рабочие поверхности цилиндров и прямолинейных направляющих, шейки валов и другие элементы. Например, в блоке цилиндров двигателя ДРД устанавливают на поверхности коренных опор, на фланце картера сцепления, вместо прилива под отверстие стартера, в виде частей стенок и др.

В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД имеют вид гильзы, кольца, резьбовой втулки, спирали и др. ДРД обычно изготавливают из того материала, из которого изготовлена сама восстанавливаемая деталь. Стальные ДРД, которые выполняют функции трущихся элементов, могут перед установкой пройти закалку с отпуском.

В настоящее время ДРД все больше применяют для целей восстановления деталей под номинальные размеры с большими износами. Способ позволяет устранять повреждения, которые трудно устранить другими способами. Восстановление деталей с использованием ДРД применяют в различных ремонтных производствах при разных объемах выпуска. Стоимость материалов при этом в несколько раз ниже, чем при использовании газотермических и наплавочных покрытий. Применяемое оборудование универсальное, а технология простая.

Процессы создания ремонтных заготовок с применением ДРД классифицируют в зависимости от способа их закрепления. ДРД крепят на восстанавливаемых поверхностях натягом, деформированием материала, силами упругости и упорами, винтами, заклепками, сваркой, пайкой и другими способами.

3.11.2. Механическое закрепление дополнительных ремонтных деталей

Широкое распространение получило закрепление цилиндрических ДРД в виде втулок на шейках валов или в отверстиях корпусов за счет *натяга*. Шероховатость сопрягаемых поверхностей при этом должна быть не более Ra 1,25 мкм. Условие прочности прессового соединения, нагруженного при эксплуатации статической осевой силой S , выражают неравенством

$$S < fp\pi dl, \text{ Н}, \quad (3.42)$$

где f – коэффициент трения; p – давление на поверхности контакта, Па; d и l – диаметр и длина соединения, соответственно, м.

Давление на поверхности контакта определяют по формуле Ляме

$$p = \frac{b}{d\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right)}, \text{ Па}, \quad (3.43)$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1, \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2,$$

где b – натяг в соединении, м; C_1 и C_2 – коэффициенты; E_1 и E_2 , μ_1 и μ_2 – модули упругости (Па) и коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки; d_1 и d_2 – диаметр отверстия в вале и наружный диаметр втулки, м.

Необходимую прочность соединения получают выбором его длины и натяга поверхностей. Применяют посадки Н/г, Н/с или Н/т. Значения коэффициента трения для некоторых сочетаний материалов деталей следующие: сталь – чугун – 0,08, чугун – бронза – 0,07 и сталь – алюминиевый сплав – 0,03...0,09. Для оксидированных поверхностей его значение равно 0,40, оцинкованных и азотированных – 0,32 и с применением абразивного микропорошка – 0,48.

Для надежного соединения ДРД с основной деталью их просверливают, отверстие разворачивают или в нем нарезают резьбу. В отверстие, соответственно, запрессовывают штифт или ввинчивают резьбовой стопор.

При восстановлении деталей типа “гильз” используют ленты из стали У8А, У10А, 65Г или 70С2ХА толщиной 0,5 или 0,7 мм шириной 75 или 80 мм. Технологический процесс, например, восстановления гильзы цилиндра включает предварительное растачивание и хонингование зеркала цилиндра, изготовление из ленты пластин-ДРД, сворачивание и запрессовывание последовательно двух ДРД в восстанавливаемую деталь, снятие фаски и хонингование.

Ленту отрезают с помощью штампа на прессе. Длину пластин L_n определяют по формуле

$$L_n = \pi(d - h_n + \delta) + \Delta L, \text{ мм}, \quad (3.44)$$

где d – диаметр предварительно обработанного зеркала цилиндра, мм; h_n – толщина пластины, мм; δ – натяг в соединении, мм; ΔL – величина смятия кромок пластины при запрессовывании ленты, равная 0,2...0,3 мм.

Допуск на длину ленты в пределах $\pm 0,05$ мм трудно выдержать штамповкой, поэтому пакет вырезанных лент шлифуют по длине в приспособлении на плоскошлифовальном станке. Затем ДРД с помощью приспособления сворачивают во втулку и в таком виде ее запрессовывают в предварительно обработанную гильзу цилиндра.

Для гибки ДРД в кольцо применяют станок гибочный 01.08-001 Ремдеталь. Ведущие валики станка приводятся электродвигателем посредством червячного редуктора. Диаметр гибки определяют сменные оправки. Деформирующее усилие создает пневмопривод. Производительность станка – 100 заготовок в час.

Следует отметить, что силы натяга при запрессовывании втулки в отверстие могут вызвать заметное изменение наружных размеров восстанавливаемой детали.

Свертные втулки из низкоуглеродистой конструкционной стали могут быть закреплены в восстанавливаемом отверстии путем их *раскатывания*. В этом случае ДРД изготавливают из отожженной рулонной ленты по ГОСТ 2279-79 толщиной 0,8 мм.

Свертные втулки устанавливают в предварительно расточенные отверстия с винтовыми канавками треугольного профиля с углом при вершине $30...40^\circ$ и глубиной 0,35...0,50 мм. Ленту раскатывают на сверлильном станке при частоте вращения шпинделя 90 мин^{-1} , ручной подаче (0,1 мм/об) и введением в зону обработки индустриального масла. Для раскатывания используют многороликовые жесткие раскатники. Канавки на восстанавливаемой поверхности при раскатывании заполняются металлом ленты. Настроенные раскатники обеспечивают допуск размера 20 мкм и шероховатость поверхности Ra 0,63 мкм.

Закрепление ДРД на поверхности шеек *силами упругости и упорами* не изменяет размеры детали и исключает термическое влияние на ее материал. Суть способа заключается в следующем. Из шлифованной и полированной полосы инструментальной или пружинной стали толщиной 0,4 мм вырубает в штампе заготовку ДРД и в ней пробивают круглые и фигурные

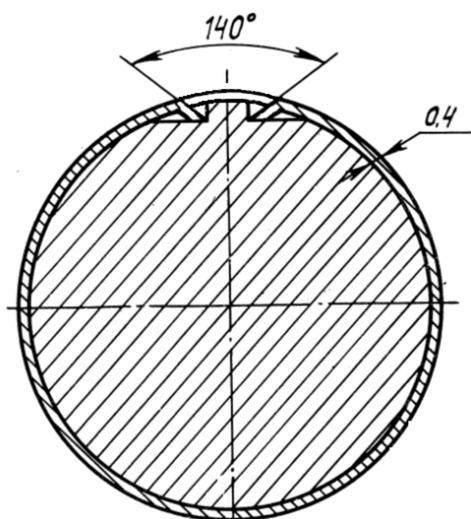


Рис. 3.44. Схема установки упругой ДРД на шейку вала

отверстия. Круглые отверстия необходимы в будущей детали для прохождения масла, а фигурные – для формирования лепестков. Длина ДРД соответствует длине окружности восстанавливаемой шейки. Затем заготовку ДРД сворачивают в кольцо и отгибают лепестки с использованием специальной оснастки. Диаметр свернутой ленты меньше диаметра восстанавливаемой шейки. На поверхности шейки фрезеруют углубления. ДРД в виде браслета надевают на шейку вала таким образом, чтобы лепестки ДРД вошли во фрезерованные углубления (рис. 3.44). Силы упругости заставляют

ДРД копировать форму шейки, а лепестки, взаимодействующие с торцами углубления, удерживают ДРД от смещения. Лента, изготовленная на специализированном заводе, имеет точную равномерную толщину и шероховатость, соответствующую шероховатости обработанной шейки.

Для исключения повреждения вкладышей коленчатого вала при работе двигателя необходимо тщательно убрать заусенцы с ленты, выдержать угол между ее лепестками, их длину и глубину лысок на шейке вала.

Масса материала на шейке вала в 2...5 раз меньше по сравнению с массой материала, нанесенного при других способах восстановления. Трудоемкость восстановления коленчатого вала установкой свертных лент в 3 раза меньше, чем с использованием электродуговой наплавки. При очередном ремонте свертные ленты заменяют, при этом шейки вала не шлифуют. Этим способом, например, восстанавливают шейки коленчатых валов из высокопрочного чугуна двигателей ЗМЗ-24 и ЗМЗ-53.

ДРД, имеющие форму дисков или пластин, можно закреплять на основной детали с помощью заклепок или винтов с потайной головкой, при этом толщину диска или пластины принимают не менее 4 мм.

3.11.3. Закрепление дополнительных ремонтных деталей сваркой, пайкой и клеем

Широкое распространение получил способ закрепления ДРД *сваркой*. Его применяют при ремонте листовых панелей кузовов, при восстановлении шеек коленчатых валов, канавок поршней, венцов шестерен, стыковых приливов картеров и др.

При восстановлении коленчатых валов, исчерпавших все ремонтные размеры, шейки предварительно обрабатывают под установленный размер. Изготавливают ДРД в виде полуколец из конструкционной стали. Для этого вырубляют полосы из листа, каждую полосу нагревают ТВЧ в индукторе и изгибают в полукольцо в гибочном штам-

пе. Матрица штампа выполнена с радиальными отверстиями для подачи охлаждающей жидкости в конце гибки с целью закалки ДРД. После растачивания и подрезки ДРД устанавливают парами на шейки, прижимают струбцинами и приваривают по образующим. Затем шейки шлифуют под номинальный размер и полируют.

Канавка под верхнее компрессионное кольцо поршня двигателя внутреннего сгорания изнашивается наиболее интенсивно по сравнению с другими канавками. Для ее восстановления протачивают головку поршня до выхода резца в изношенную канавку. Устанавливают без натяга ДРД до упора в торец проточки и приваривают ее. Точение новой канавки ведут со снятием стружки как с материала поршня, так и с материала ДРД.

ДРД может быть закреплена *электрозаклепками*.

Следует отметить, что приварка ДРД оказывает термическое влияние на материал восстанавливаемой детали, а это вызывает ее коробление и уменьшение усталостной прочности.

ДРД на шейках валов закрепляют *припоем*, кристаллизующимся в зоне контакта деталей. На поверхности восстанавливаемой детали можно закрепить стальную ленту *пастообразным припоем с приложением импульсов тока*.

Локальный нагрев материалов в месте их контакта и расплавление припоя происходит вследствие высокого переходного сопротивления “лента – припой – заготовка” во время прохождения импульсов тока длительностью 0,04...0,06 с. Под действием сжимающего усилия 0,9...1,2 кН расплавленный припой смачивает соединяемые поверхности, а после окончания нагрева кристаллизуется в шов и образует неразъемное соединение. Толщина слоя припоя составляет 0,015...0,030 мм, поэтому его расход небольшой.

Сущность *клеесварного* способа закрепления ДРД заключается в следующем. Поверхность основной детали зачищают металлической щеткой, шлифовальным кругом или другими инструментами. Затем поверхность обезжиривают органическим растворителем и на нее наносят клеящую композицию. После этого устанавливают накладку из стали 20, которую закрепляют контактной сваркой.

3.11.4. Вставки

Вставки применяют для восстановления резьбовых отверстий и стенок корпусных деталей с трещинами.

Большой объем работ при восстановлении корпусных деталей связан с восстановлением резьбовых отверстий.

Наиболее интенсивно изнашиваются резьбовые отверстия в деталях из алюминиевых сплавов (30...35 %) и чугуна (10...12 %). В меньшей степени изнашиваются резьбовые отверстия в стальных деталях (3...5 %). Чаще изношены резьбы размером М8, М10, М12, М14 и М16.

Способы восстановления резьбовых отверстий за счет образования новой резьбы большего размера и заварки отверстий со сверлением и нарезанием резьбы имеют ограниченное применение.

Эффективно восстановление резьбы путем установки *спиральных вставок* из ромбической проволоки. Материал спиральной вставки – ау-

стенитная хромоникелевая сталь. Вставка представляет собой пружинящую спираль с концентричными резьбами (внутренней и наружной) высокой точности. Производитель вставок (товарное название “Heli-coil”) – фирма Bollhoff (Германия). Для завинчивания спираль имеет на одном конце поводковый усик. Внешний диаметр вставки в свободном состоянии перед установкой больше, чем соответствующий диаметр резьбы в отверстии, что обеспечивает натяг в соединении.

Способ позволяет повысить прочность резьбовых отверстий, восстанавливать резьбы в тонкостенных деталях под номинальный размер и снизить износ резьбовой поверхности при разборке и сборке агрегата. Соединения со спиральными вставками хорошо работают при динамических нагрузках. Прочность таких соединений на 35...40 % выше, а частота их отказов в 5...7 раз ниже, чем соединений без вставок в теле корпусной детали.

Процесс восстановления поврежденного резьбового отверстия следующий. Разрушенную или поврежденную резьбу удаляют путем ее рассверливания, диаметр обработки выбирают из табл. 3.25. Отверстие не цекуют во избежание трудностей при ввинчивании ДРД. Нарезают новую резьбу большего размера с тем же шагом и необходимой глубиной под вставку. Вставку ввинчивают в резьбовое отверстие с помощью специального инструмента за поводковый усик, который затем обламывают. Выступание вставки из детали не допускается.

Таблица 3.25

Размеры обработанных отверстий под установку спиральных вставок

Размер изношенной резьбы в отверстии	Диаметр рассверленного отверстия, мм	Размер резьбы под вставку, мм
M6	6,96...7,12	M8×1
M8	8,70...8,86	M10×1,25
M10	10,45...10,62	M12×1,5
M12	12,18...12,38	M14×1,75
M14	13,90...14,13	M16×2
M16	16,20...16,40	M18×2
M18	18,10...18,40	M20×2,5
M20	20,10...20,40	M22×2,5
M22	22,10...22,40	M24×2,5
M24	24,10...24,40	M27×3
M27	27,10...27,46	M30×3
M30	29,36...29,90	M33×3

Способ повышает прочность резьбы, ее износостойкость и устойчивость против коррозии. Показатели относительной технико-экономической эффективности способов восстановления резьбовых отверстий приведены в табл. 3.26.

Показатели технико-экономической эффективности способов
восстановления резьбовых отверстий

Способ восстановления	Относительная стоимость	Коэффициент долговечности
Обработка под ремонтный размер	1	0,95
Заварка	1,13	0,85
Установка резьбового трубчатого ввертыша	1,46	1,00
Установка резьбовой спиральной вставки	0,47	1,50

Стенки корпусных деталей с трещинами восстанавливают установкой *фигурных вставок* из малоуглеродистой стали. Форма каждой вставки набрана из цилиндров с параллельными осями, расположенными в одной плоскости. Диаметр окружности в основании цилиндров равен 3,5, 4,8 или 6,8 мм. Вставки (рис. 3.45) бывают уплотняющими (устанавливают вдоль трещины) и стягивающими (устанавливают поперек трещины). Расстояния между осями отверстий в восстанавливаемой детали и осями цилиндрических элементов уплотняющей вставки равны между собой. Шаг отверстий в восстанавливаемой детали для стягивающих вставок на 0,2 мм больше, чем шаг между цилиндрами самой вставки. Сущность способа заключается в запрессовывании вставок в предварительно подготовленные пазы детали.

Трещины длиной до 50 мм устраняют только стягивающими фигурными вставками, а более 50 мм – уплотняющими и стягивающими вставками. Высота уплотняющих вставок – 10...15 мм, а стягивающих – 3 мм. Высота уплотняющих вставок превышает толщину стенки восстанавливаемой детали, а высота стягивающих вставок составляет часть этой толщины.

Технология устранения трещин следующая. Отступают от конца трещины в сторону ее продвижения на 4...5 мм и сверлят насквозь первое отверстие диаметром 4,8 мм для деталей с толщиной стенки до 12 мм или диаметром 6,8 мм – с толщиной более 12 мм. В просверленное отверстие устанавливают оправку специального кондуктора и сверлят второе отверстие. Затем последовательно ориентируют кондуктор по выполненным отверстиям и сверлят необходимое количество отверстий по всей длине трещины. Подобным образом поперек трещины вдоль нее через каждые пять отверстий сверлят на глубину 3,5 мм по два отверстия с каждой стороны трещины. Перемычки между отверстиями удаляют специальным пробойником шириной 1,8; 2,4 или 3,0 мм (в зависимости от диаметра просверленных отверстий).

Сжатым воздухом выдувают стружку из отверстий. Поверхности отверстий и вставок обезжиривают органическим растворителем и смазывают эпоксидным компаундом. Вдоль трещины устанавливают уплотняющие вставки, а поперек нее – стягивающие. Вставки расклепывают и выступающую поверхность зачищают заподлицо с поверхностью детали.

Выпускают комплект ОР-11362, в состав которого входят фигурные вставки и необходимый инструмент. Способ отличается простотой и небольшой трудоемкостью, он доступен любому ремонтному предприятию и мастерской.

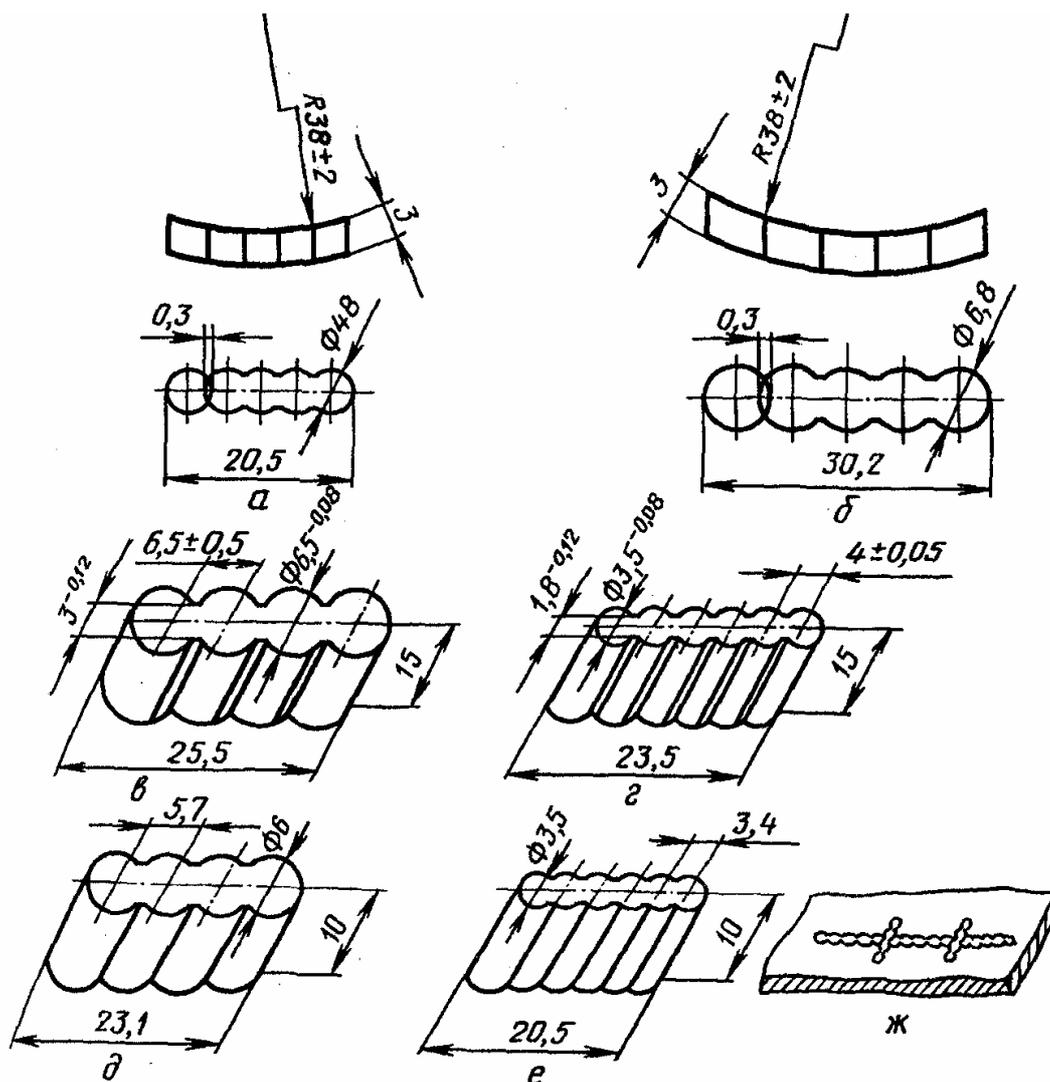


Рис. 3.45. Вставки уплотняющие (а и б), стягивающие (в, г, д и е) и отверстия под них (ж)

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях применяют способ установки и закрепления ДРД? 2. Какие Вы знаете разновидности способа? 3. В каком виде применяют способ при восстановлении шеек коленчатых валов? 4. Применение способа при восстановлении поверхностей отверстий под подшипники в корпусных деталях. 5. Изложите восстановление резьбовых отверстий с использованием вставок. 6. Как устраняют трещины?

3.12. Пластическое деформирование материала

Пластическое деформирование материала используют при восстановлении расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей, а также физико-механических свойств деталей (жесткости, усталостной прочности и износостойкости) за счет перемещения материала внутри самой заготовки, изменения его структуры или создания наклепа.

Способ чаще применяют при восстановлении деталей, изготовленных из пластичных материалов (стали, меди, бронзы и др.). Он может быть

использован и для обработки хрупких материалов, которые превращаются в пластичные в результате нагрева или благоприятных условий нагружения. Процесс экономичен, обладает уникальной особенностью при восстановлении большого количества параметров и свойств обходиться без вложения материала в заготовку, в отличие от способов нанесения покрытий, установки и закрепления ДРД.

3.12.1. Характеристика и особенности способа

Пластичность – это свойство твердых тел изменять свою форму и размеры под действием внешних сил и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия нагрузки. Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям сдвига под действием внешних сил. Чем больше плоскостей сдвига образуется в объеме материала, тем более он пластичен, тем при меньших напряжениях происходит деформирование заготовки.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и температуры нагрева, структуры, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов уменьшает его способность к пластическому деформированию. Неоднородность структуры и неравномерность распределения примесей также приводят к уменьшению пластичности.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве. Различают холодное и горячее деформирование в зависимости от соотношения температур процесса и рекристаллизации. При холодном деформировании температура обработки меньше температуры рекристаллизации, а при горячем деформировании – наоборот.

Нагрев до температурыковки уменьшает в 10...15 раз сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев заготовок из углеродистых сталей до 350 °С снижает пластичность, а нагрев свыше 700 °С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких заготовок целесообразен в указанном отрезке температур.

Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. Однако размер зерна существенно влияет на пластичность при холодном деформировании и незначительно – при горячем.

Увеличение скорости деформирования приводит к снижению пластичности и увеличению сопротивления деформированию. Влияние фактора велико в условиях горячего деформирования.

Поле главных напряжений оказывает большое влияние на параметры деформирования. Чем больший объем заготовки нагружен сжимающими напряжениями, тем большую деформацию допускает материал без разрушения. Максимальная деформация может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

Расчет значений *технологических режимов* при пластическом деформировании заготовок, усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на следующих положениях:

– пластическое деформирование наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале заготовки превышают предел его текучести. Используя это положение, можно определить усилие деформирования;

– пластическая деформация заготовки сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры заготовки в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки. Это положение необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали;

– объем заготовки до пластического деформирования равен ее объему после снятия нагрузки. Закон постоянства объема позволяет рассчитать деформацию в нужном направлении;

– если возможно перемещение какой-либо точки деформируемого материала в разных направлениях, то эта точка будет перемещаться в направлении наименьшего сопротивления. Если ограничить деформации заготовки в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, в каком нет внешних препятствий.

3.12.2. Получение ремонтных заготовок

Пластическое деформирование позволяет получить ремонтные заготовки, которые будут обработаны под номинальные размеры. При этом материал заготовки перемещают из незнашиваемого объема в зону изнашивания. Процесс включает термическую обработку, технологический нагрев (при необходимости) и приложение деформирующего усилия.

Заготовку перед деформированием отжигают или подвергают высокому отпуску. В ряде случаев непосредственно перед деформированием заготовку нагревают до температурыковки. Последнюю операцию не проводят для заготовок из цветных металлов и стальных с твердостью менее 30 HRC.

Процессы пластического деформирования материала разделяют на виды в зависимости от соотношения направления внешних сил и деформаций и применяемой энергии.

Различают осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание (рис. 3.46).

Осадку применяют для увеличения наружного размера сплошных деталей, при этом сила P перпендикулярна деформации δ . В результате воздействия силы площадь поперечного сечения заготовки увеличивается за счет уменьшения ее высоты. Способ применяют при восстановлении пальцев, коротких осей, втулок и других деталей. Для осадки применяют гидравлические прессы. Величину удельного давления p при осадке определяют по формуле

$$p = \sigma_m(1 + d/6h), \text{ МПа}, \quad (3.45)$$

где σ_m – предел текучести материала при температуре его обработки, МПа; d и h – диаметр и длина заготовки, м.

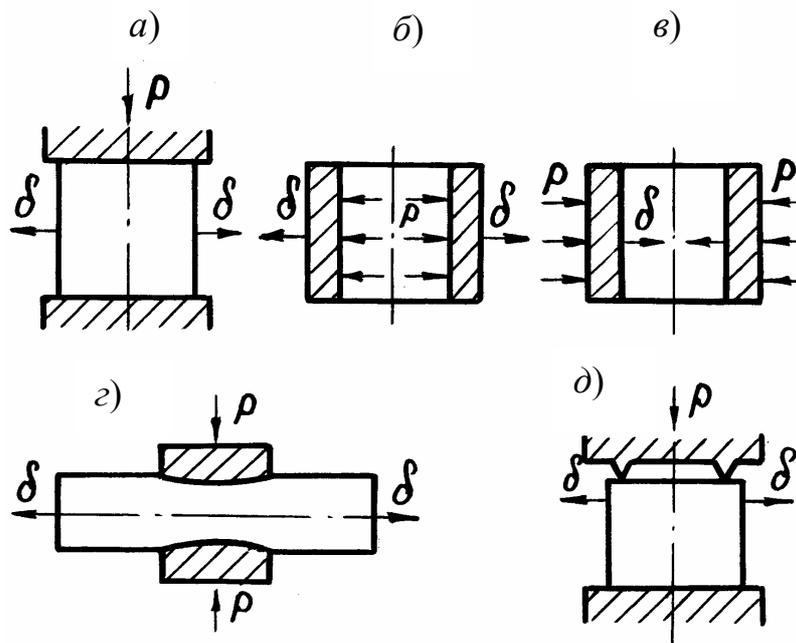


Рис. 3.46. Схемы пластического деформирования заготовок: *а* – осадка; *б* – раздача; *в* – обжатие; *г* – вытяжка; *д* – вдавливание

Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 1 %, а для остальных деталей – до 1,5 %. Область применения осадки – восстановление наружной и внутренней поверхностей детали при нежестких требованиях к ее длине.

Муфты синхронизаторов восстанавливают осадкой в штампе с разъемной матрицей с производительностью до 100 заготовок в час. Процесс включает: нагрев заготовок в камерной печи до температуры 960...980 °С в атмосфере защитного газа; установку двух технологических полуколец, препятствующих деформированию паза; установку собранного изделия на оправку; штамповку на фрикционном прессе; выпрессовывание оправки и снятие полуколец; отжиг; точение кольцевой канавки; протягивание и калибрование эвольвентных шлицев; закругление зубьев; термическую обработку.

Направления действующих сил и деформаций при *раздаче* совпадают и направлены наружу заготовки. Раздачу применяют при восстановлении наружных рабочих поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями к внутренним размерам (поршневых пальцев, чашек дифференциала и других деталей). Механическую раздачу выполняют сферическими или цилиндрическими прошивками. Величину удельного давления при раздаче определяют по формуле

$$p = 1,15 \sigma_m \ln(D/d), \text{ МПа}, \quad (3.46)$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры заготовки, м.

При *обжатии* направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь заготовки. Способ применяют при восстановлении внутренней поверхности детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Обжатием создают ремонтные заготовки гильз и втулок, например, путем проталкивания их сквозь втулку-инструмент. Диаметр калибрующего пояса инструмента принимают из расчета уменьшения внутреннего диаметра на величину износа и припуска на механическую обработку.

Вытяжку применяют для увеличения длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения. При вытяжке деформации и действующие силы поменялись местами и направлениями по сравнению с осадкой. Вытяжкой восстанавливают, например, размеры толкателей при износе торцовых поверхностей. Способ применяют при восстановлении длины сплошной детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Вдавливание объединяет в себе признаки осадки и раздачи. В большинстве случаев действующая сила направлена под углом к направлению требуемой деформации. Сохранение длины детали является преимуществом способа.

Вдавливание применяют при восстановлении зубьев шестерен, шлицев, шаровых пальцев и др. деталей. Процесс ведут при высокой температуре нагрева (сталь – 680...920 °С) в штампах.

Частным случаем вдавливания является *накатка* (рис. 3.47). Ее часто применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего размеров деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Накатку применяют при восстановлении размеров шеек и

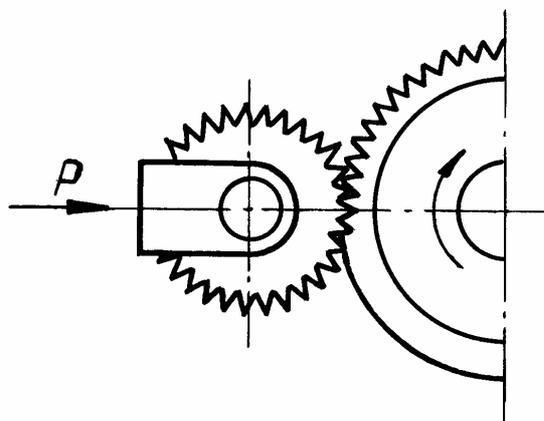


Рис. 3.47. Накатка поверхности

отверстий под подшипники, а также при восстановлении подшипников, залитых свинцовистой бронзой. В последнем случае образовавшиеся лунки заливают баббитом для восстановления несущей способности антифрикционного слоя.

Поверхности накатывают специальным инструментом – зубчатым роликом (накатником) с прямыми или косыми зубьями. Обрабатывают детали, которые воспринимают контактные напряжения не более 7 МПа. Заготовки, имеющие твердость HRC < 32, можно накатывать в холодном состоянии при обильной подаче индустриального масла. Подъем гребешков металла после накатки составляет около половины высоты зуба накатника, он зависит также от шага накатки (1,2...3,0 мм).

Скорость накатки среднеуглеродистых сталей равна 10...15 м/мин, продольная подача 0,4...0,6 мм/об, угол заострения зуба накатника 60...70 °. Накатку выполняют так, чтобы гребешки поднятого металла имели в поперечном сечении форму трапеции, а не треугольника. Поверхность после накатывания шлифуют.

Зубчатые профили шестерен и звездочек восстанавливают накаткой на стенде ОР-6400-01. Рабочий профиль инструмента соответствует профилю и размерам восстановленных зубьев.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают механическое, термопластическое, электрогидравлическое и другие виды воздействий. В зависимости от вида затрачиваемой энергии различают механическое, термопластическое, электрогидравлическое и другие виды пластического деформирования.

Примеры *механического* деформирования заготовок рассмотрены выше. Деформирующее усилие создают молотами или прессами, заготовку при этом устанавливают в приспособление.

Термопластическое деформирование применяют при восстановлении деталей “тел вращения” – гильз цилиндров, поршневых пальцев, поршней и др.

Применяют два варианта термопластического обжата заготовки типа гильзы. Первый вариант состоит в нагреве заготовки, установленной в жесткий охватывающий цилиндр, и последующем охлаждении. Второй вариант заключается в том, что внутри заготовки равномерно перемещают нагревающе-охлаждающий узел в виде индуктора с жидкостным спреером. При этом создают квазистационарное тепловое поле в материале гильзы и значительный осевой температурный градиент. Последний формирует внутренние напряжения, под действием которых происходит равномерное пластическое обжатие заготовки. Длительность процесса 5...6 мин. Значение обжата составляет 0,9...1,0 мм.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что заготовку нагревают до температуры выше A_{c3} и охлаждают изнутри потоком жидкости. Внутренние кольцевые слои материала, охлаждаясь, стремятся уменьшиться в диаметре, но им препятствуют нагретые наружные слои, поэтому внутренние слои пластически растягиваются и увеличиваются в диаметре по сравнению с первоначальным размером в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую “оправку”, которая препятствует уменьшению диаметра наружных слоев.

Процесс протекает с одновременной закалкой материала. Приращение диаметра поршневых пальцев дизельных двигателей составляет 0,1...0,3 мм. Рассмотренный способ позволяет 4...6-кратное восстановление деталей. Однако способ недостаточно применим к деталям карбюраторных двигателей. Малая толщина стенок этих деталей (4...5 мм по сравнению с 8...10 мм у дизелей) не дает большого приращения диаметра.

Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев карбюраторных двигателей основана на эффекте Л.А. Юткина (авторское свидетельство СССР № 105011). Сущность эффекта заключается в иницировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость заготовки, электрического раз-

ряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала заготовки и обеспечивает припуск на абразивную обработку.

Устройство для электрогидравлической раздачи приведено на рис. 3.48. В заготовку устанавливают взрывной патрон с инициирующим алюминиевым проводником диаметром 0,7 мм. Внутренняя полость заготовки заполнена водой. С помощью батареи конденсаторов емкостью 6 мкф в этой полости создают разряд под напряжением 37 кВ. При указанных режимах раздачи наблюдается увеличение диаметра поршневых пальцев из стали 15Х на 0,12 мм, а из стали 45 – на 0,2 мм.

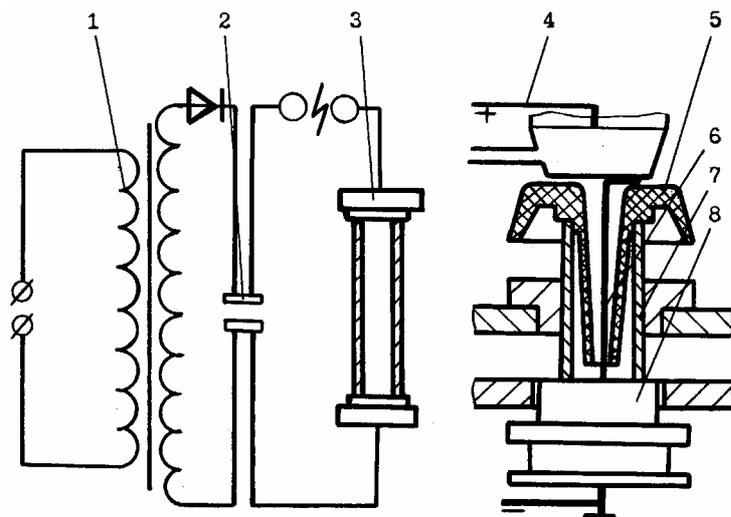


Рис. 3.48. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев: 1 – источник энергии; 2 – накопитель энергии; 3 – технологический узел; 4 – положительный электрод; 5 – пластмассовый патрон; 6 – проводник; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – отрицательный электрод

После деформирования необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров. Число ходов при шлифовании заготовки поршневого пальца в 1,5...2,0 раза больше, чем при обработке заготовки с хромовым покрытием.

3.12.3. Восстановление формы

Форму изогнутой или скрученной детали восстанавливают *правкой*. Направление действующей силы при этом противоположно устраняемой деформации и в большинстве случаев перпендикулярно оси детали. Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, кронштейны и другие детали. При правке деформируют всю деталь или ее элемент, создают статическую или динамическую нагрузку, процесс ведут без нагрева или с нагревом.

Усилие *холодной* правки P определяют по формуле

$$P = 0,0068 \sigma_m d^3 / l, \text{ МН}, \quad (3.47)$$

где d и l – диаметр и длина детали, м.

При использовании правки этого вида в большинстве случаев в материале детали возникают остаточные напряжения, которые способствуют возврату прежней формы детали. Для повышения стабильности результата применяют *двойную* правку с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500 °С, выдержкой в течение

1 часа и охлаждением в контейнере. Такая термическая обработка восстанавливает до 90 % несущей способности деталей.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют *горячую* правку. Перед правкой нагревают всю деталь или ее часть до температуры 600...800 °С. Такая правка завершается отпуском.

Правку выполняют однократным приложением нагрузки, рассчитанной по формуле (3.47), или многократным приложением половинной нагрузки. Последняя технология реализована в оборудовании итальянской фирмы Galdobini. Оборудование этой фирмы применяют, например, на заводах по изготовлению автомобильных двигателей.

Для коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна, применяют *поэлементную* правку без нагрева в объеме одной шатунной шейки путем создания преимущественно сжимающих напряжений с медленным нарастанием и снятием нагрузки.

Высокое качество обеспечивает правка *наклепом*. Достигают несоосности шеек валов $< 0,02$ мм, наблюдается стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком путем нанесения ударов по нетрущимся поверхностям детали.

3.12.4. Упрочнение поверхностей

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно *наклепом* поверхностного слоя детали или всего ее объема. Явление заключается в изменении структуры металла, которое вызвано пластическим деформированием. При упрочнении деталей, воспринимающих циклические нагрузки, в поверхностном слое создают сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения электрохимических покрытий.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), чеканку, дробеструйную или центробежную обработку, калибрование, выглаживание и др.

Наибольшее применение получило *обкатывание (раскатывание)* роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) прижимается к заготовке усилием поперечной подачи.

Галтели коленчатых валов обкатывают профильными роликами из твердого сплава, которые при работе касаются галтельных переходов заготовки под действием приложенной силы.

Внутренние поверхности гильз цилиндров, головок шатунов и других деталей упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 3.49). Эта обработка повышает точность размеров деталей и уменьшает шероховатость. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, а число ходов составляет 2...4.

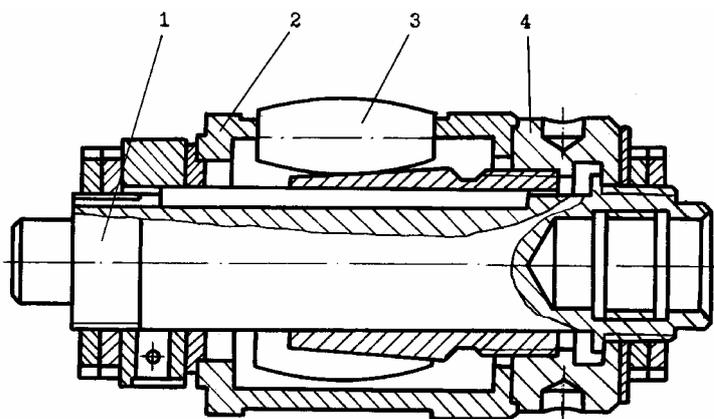


Рис. 3.49. Устройство для раскатывания отверстий:
1 – вал; 2 – корпус; 3 – ролик; 4 – гайка

Обкатывание и раскатывание улучшают шероховатость поверхности на 1...2 класса.

Более эффективным способом упрочнения поверхностей деталей является их *чеканка*. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойка, приводимого в движение от вращающегося кулачка. Толщина наклепанного слоя при чеканке в несколько раз больше, чем при обкатывании. Чеканкой также упрочняют сварные швы. Ее применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Чеканочный инструмент представляет собой боек с радиусом рабочей части 3...5 мм. Распространены пневматические чеканочные молотки МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Энергия удара пневматических инструментов составляет 30...50 Дж, электромеханических – 20 Дж. Чеканочные приспособления для обработки деталей – тел вращения устанавливают на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволок диаметром 2...3 мм.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для восстановления исходной шероховатости заготовки шлифуют.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для восстановления исходной шероховатости заготовки шлифуют.

Дробеструйную обработку применяют как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности деталей (шатунов, коромысел). В качестве оборудования для обработки дробью применяют механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют целую стальную

или чугунную дробь диаметром 0,4...2,0 мм. Время наклепа – 3...10 мин, а его глубина не превышает 1 мм.

Дробеструйная обработка ухудшает шероховатость поверхности на 1...2 класса, на этот параметр оказывают влияние частота вращения ротора, диаметр дроби и продолжительность обработки.

Наклеп *ротационным упрочнителем* выполняют на токарном станке (рис. 3.50). Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые установлены шарики с возможностью перемещения вдоль осей отверстий. Диск получает вращение от электродвигателя. Линейная скорость обода диска 13...25 м/с. В течение одного оборота диска каждый шарик наносит удар по упрочняемой поверхности. Этот способ применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Размер детали практически не изменяется, шероховатость поверхности улучшается на 1...2 класса, твердость увеличивается на 25...45 % для стали и на 30...60 % для чугуна. Способ отличается высокой производительностью.

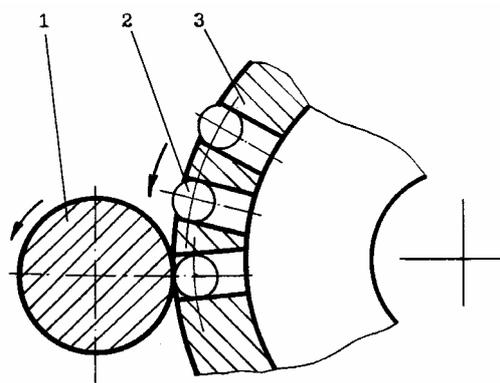


Рис. 3.50. Схема устройства для ротационного упрочнения: 1 – деталь; 2 – шарики; 3 – корпус

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического

упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Структура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. Термически обработанные стали, имеющие твердость HRC 40...45, в процессе наклепа увеличивают ее всего на 5...10 %.

Пластическое деформирование применяют так же, как отделочно-чистовую обработку, в виде калибрования отверстий или выглаживания.

Отверстия *калибруют* перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Сущность *выглаживания* заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, при выглаживании используют трение скольжения.

В качестве материала для выглаживающего инструмента применяют твердые сплавы, минералокерамику и синтетические алмазы. Характер изменения размера и шероховатости поверхностей с различными покрытиями показан на рис. 3.51. Наилучшие результаты показывает инструмент из синтетического алмаза, представляющий собой оправку с алмазным нако-

нечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают в пиноли задней бабки или на суппорте токарного станка. Выглаживают только сплошные поверхности.

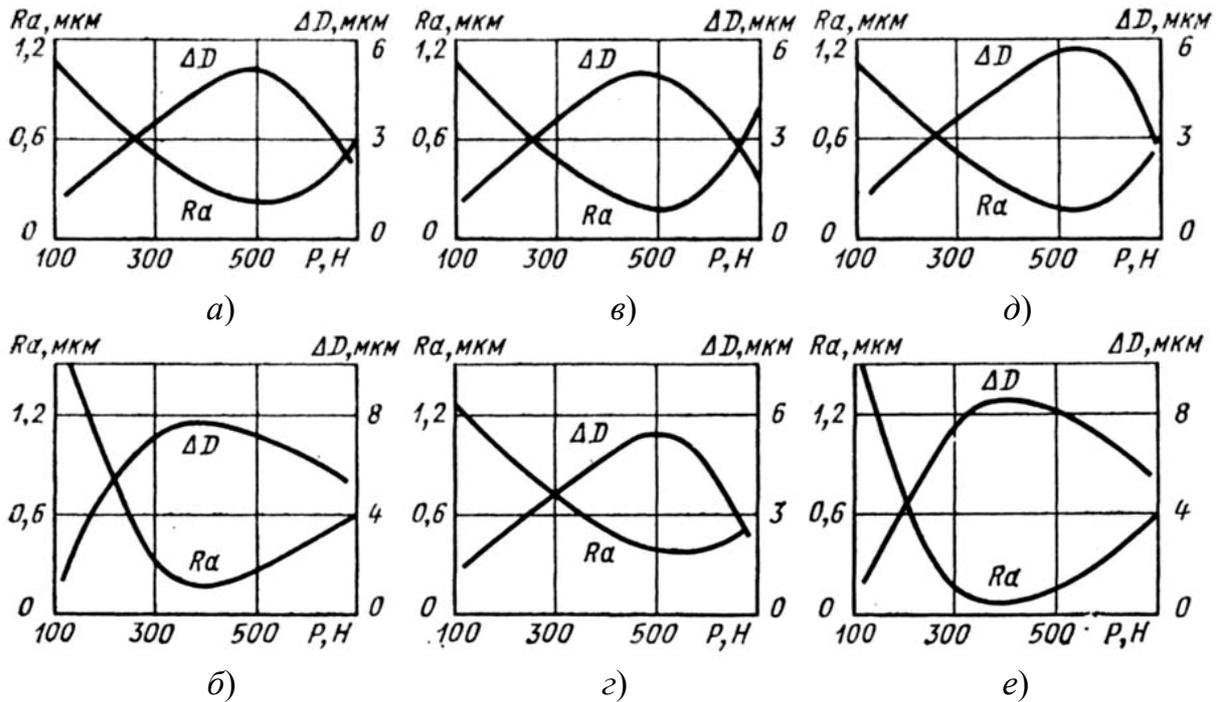


Рис. 3.51. Изменение шероховатости Ra и диаметра ΔD выглаживаемых поверхностей под действием силы P : а – вибродуговая наплавка проволокой Нп-65Г; б – вибродуговая наплавка проволокой Св-08; в – наплавка под слоем плавленного флюса АН-348А; г – наплавка под слоем керамического флюса АНК-18; д – железнение (HV 5,2...5,6 ГПа); е – железнение (HV 2,9...3,3 ГПа)

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. Качество выглаживания определяют радиус рабочей части инструмента, величина радиального усилия, число ходов, подача и скорость деформирования. Рабочую часть иглы выполняют в виде сферы радиусом 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью HRC 35...67 составляет 200...280 м/мин, а подача – 0,02...0,05 мм/об. Шероховатость обработанной поверхности достигает Ra 0,10...0,05 мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя достигает 400 мкм, в поверхностном слое образуются напряжения сжатия.

Алмазное выглаживание рекомендуют для упрочнения наплавленных и электрохимических покрытий.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем суть и преимущества пластического деформирования материала перед другими способами в процессах создания ремонтных заготовок?
2. Какие свойства деталей восстанавливают пластическим деформированием материала?
3. Как восстанавливают форму детали?
4. В чем заключается упрочняющий эффект пластического деформирования материала?

3.13. Обработка резанием ремонтных заготовок

3.13.1. Назначение, технологические особенности и содержание

Обработка резанием ремонтных заготовок – основное средство достижения нормативной точности геометрических параметров восстанавливаемых деталей. Ее также применяют для подготовки поверхностей под нанесение покрытий. На этот вид обработки приходится 25...28 % общей трудоемкости восстановления деталей.

Обработка резанием ремонтных заготовок отличается от соответствующей обработки отливок и поковок. Это объясняется: преднамеренным разрушением некоторых технологических баз в конце процесса изготовления деталей; изнашиванием или повреждением группы баз во время работы агрегата; деформированием деталей в эксплуатации; небольшими значениями припусков, материал которых, как правило, отличается от материала основы; различием в свойствах припусков при восстановлении и изготовлении деталей; требованием обеспечения необходимой точности взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при восстановлении, и поверхностей, обработанных ранее при изготовлении.

Обработку заготовок из монолитных материалов изучают в технологии машиностроения. В объеме изучаемой дисциплины рассматривают в основном обработку заготовок с покрытиями. Восстановительно-упрочняющие покрытия отличаются особыми свойствами. Наплавленные покрытия, например, имеют высокую твердость, они неоднородны по строению и химическому составу, пористые, а их наружная поверхность неровная. Ряд электрохимических покрытий имеют высокую твердость и в них присутствуют гидроксиды, однако покрытия железнения, наоборот, мягкие и имеют значительную вязкость. Многие газотермические покрытия пористые и имеют низкую прочность соединения с основой. Полимерные покрытия хрупкие, обладают плохой теплопроводностью и низкой температурой плавления или начала разрушения. Эти причины объясняют назначение иных режимов обработки ремонтных заготовок, видов и геометрии инструмента, а также применяемых СОЖ. Так, например, время механической обработки композиционных покрытий и покрытий из оксидной керамики, нанесенных плазменным или детонационным напылением, в 5...10 раз больше, чем время обработки заготовок из конструкционных сталей. Использование в таких случаях традиционной обработки связано с большим расходом инструментов, ухудшением качества поверхностей и, как следствие, ставит под сомнение возможность применения прогрессивного способа создания ремонтной заготовки и всего процесса восстановления детали в целом.

Обработка резанием ремонтных заготовок включает блоки таких операций: черновых, чистовых и отделочных. В начале обработки обеспе-

чивают необходимое расположение поверхностей и форму элементов детали. Затем обрабатываемым элементам придают необходимую точность размеров. На последней операции создают нормативную шероховатость поверхности без изменения достигнутых ранее значений параметров расположения и формы элементов и их размеров.

3.13.2. Выбор технологических баз

От обоснованного выбора технологических баз заготовки зависят правильность расположения контура детали в ней, точность взаимного расположения поверхностей в обработанной детали, сложность приспособлений и производительность обработки.

Технологический процесс обработки делят на установовы. Технологическая база для первого установов заготовки обеспечивает правильное “выкраивание” из нее будущей детали. При выборе этой базы решается также задача распределения припусков между последующими операциями обработки.

Если с одной из обрабатываемых поверхностей необходимо снять минимальный припуск, то эту поверхность используют в качестве первой базы. Наименьший припуск снимают в том случае, когда технологической базой является сама обрабатываемая поверхность (сумма под корнем в формуле 3.1 равна нулю).

Примеры обработки восстанавливаемых деталей с использованием обрабатываемых поверхностей в качестве технологических баз:

- бесцентровое шлифование поршневого пальца или зеркала гильзы цилиндра;
- растачивание отверстия в верхней головке шатуна с ориентированием этого отверстия перед обработкой центрирующей оправкой и закреплением детали в таком положении;
- подрезание торца картера сцепления в сборе с блоком цилиндров с ориентированием его подвижным упором и закреплением сборочной единицы в таком положении;
- шлифование шеек коленчатых валов с адаптивным базированием.

Сущность *адаптивного базирования* заключается в поиске необходимого положения заготовки относительно траекторий режущих лезвий инструментов, обеспечивающего минимальный суммарный припуск на обработку, и закреплении детали в таком положении. При обработке, например, шатунных шеек коленчатого вала производят фиксированный поворот детали относительно оси коренных шеек до получения равных по величине, но противоположных по знаку максимальных отклонений от номинального углового расположения, по крайней мере, двух шатунных шеек. Реализация способа обеспечивает минимальный суммарный припуск при обработке всех шатунных шеек коленчатого вала и повышает среднее число его восстановлений в 1,2...1,5 раза. Однако при этом не обеспечивают нормативную точность взаимного расположения шпоночного паза на носке вала и первой шатунной шейки.

Базу для первого установа используют один раз и в качестве нее чаще выбирают поверхности, остающиеся при восстановлении необработанными и относительно которых ориентируют основные поверхности.

Затем решают задачу обеспечения точности взаимного расположения поверхностей. Поверхности, которые будут применяться в качестве измерительных баз, обрабатываются первыми. При этом сначала обеспечивают точность относительных поворотов, а затем – относительных расстояний. Здесь учитывают принцип совмещения технологических и измерительных баз.

В общем случае выбор технологических баз при обработке резанием восстанавливаемых деталей подчиняется следующему правилу. Во всех установках технологические базы, как правило, должны совпадать с измерительными, а обработанные поверхности на данном установе должны быть использованы в качестве измерительных баз для последующего установа.

3.13.3. Виды обработки и области их применения

Обработка ремонтных заготовок резанием в зависимости от вида применяемого инструмента бывает лезвийной или абразивной.

Лезвийной обработке подлежат относительно пластичные покрытия из малоуглеродистых сталей, алюминиевых и медных сплавов, а также из самофлюсующихся сплавов твердостью до 45 HRC. Заготовки с покрытиями точат (в т.ч. ротационным инструментом), фрезеруют, строгают и сверлят. Лезвийная обработка покрытий из высоколегированных и коррозионно-стойких сталей выполняется в том случае, когда припуск на обработку превышает 0,25 мм на сторону, а твердость материала не превышает 3000 МПа (35...45 HRC). По мере развития инструментальных материалов область лезвийной обработки расширяется.

Если твердость ремонтной заготовки не позволяет применить лезвийную обработку или когда необходимо получить высокую точность детали с малой шероховатостью поверхностей, то применяют абразивную обработку. Она обеспечивает высокое качество поверхностного слоя и является основной при обработке износостойких твердых покрытий. Например, покрытия на основе керамики или карбида вольфрама могут быть обработаны только шлифованием.

3.13.4. Инструментальные материалы и смазывающе-охлаждающие жидкости

Основу инструментальных материалов для лезвийной обработки составляют быстрорежущие сплавы (65...75 % объемов) и твердые сплавы (16...18 %). Около 7 % их объемов приходятся на керамические и сверхтвердые материалы. Совершенствование инструментальных материалов направлено на обеспечение сочетания максимальной износостойкости и термической стойкости при высокой вязкости и прочности при изгибе (рис. 3.52).

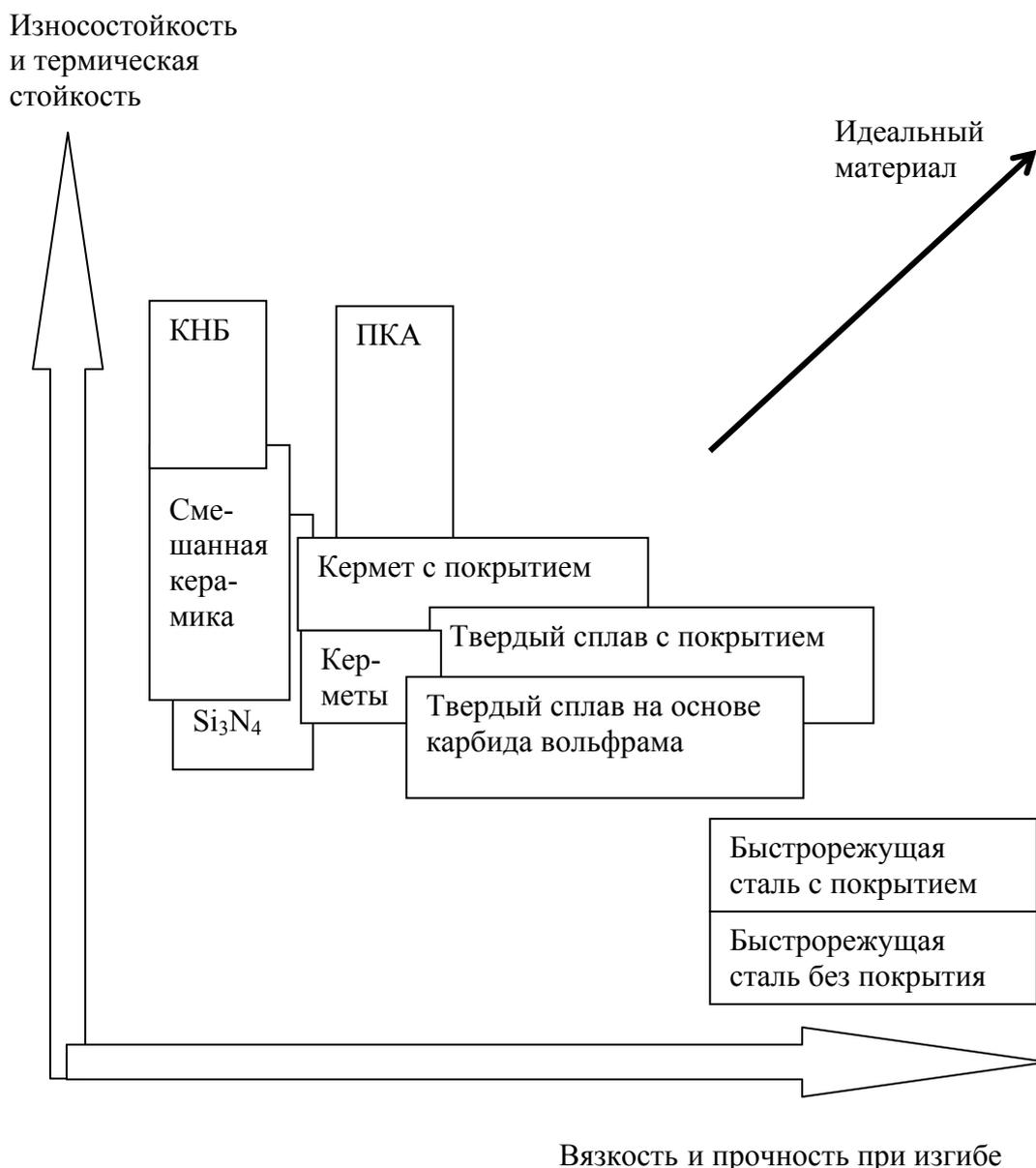


Рис. 3.52. Качественные характеристики различных видов материалов для лезвийной обработки: КНБ – кубический нитрид бора; ПКА – поликристаллические алмазы

Быстрорежущие материалы представлены сталью 10P6M5 и сталями с повышенным содержанием (до 5...8 %) кобальта. По причине уменьшения добычи кобальта, вольфрама и молибдена актуальной является проблема разработки новых быстрорежущих материалов.

Твердые сплавы, полученные методом порошковой металлургии, бывают однокарбидными типа ВК, двухкарбидными – ТК и трехкарбидными – ТТК. Твердосплавные материалы выпускают в виде перетачиваемых пластинок, закрепляемых пайкой, и неперетачиваемых пластинок с механическим креплением. Четыре вида сменных режущих пластин для внутреннего и наружного точения и их установка приведены на рис. 3.53. Применяют треугольные, ромбические и квадратные пластинки с лункой вместо от-

верстия для сохранения прочности изделия. Созданы сменные пластины с диаметром вписанной окружности 5,6 мм.

Все ведущие инструментальные фирмы Германии, Японии и США выпускают инструменты из *режущей керамики*. Развивается оксидная (~ 60 % объемов), оксидно-карбидная (25...30 %) и нитридная (10...15 %), армированная нитевидными монокристаллами, керамика.

Качество поверхностей и производительность обработки значительно повышаются при использовании инструментальных *поликристаллических сверхтвердых материалов* (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (50...98 %). Для черновой обработки покрытий высокой твердости (в том числе и по корке) применяют ПСТМ – киборит. Для чистовой и отделочной обработки служат инструменты с режущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р), 02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные поликристаллы) и др. Наиболее работоспособны из них киборит и гексанит-Р. Высокая теплопроводность киборита (более 50 Вт/м·К) обуславливает высокую износостойкость резцов при скорости резания до 200 м/мин.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработал и освоил выпуск сменных многогранных неперетачиваемых пластин из киборита. Выпускают пластины пяти форм в соответствии со стандартом ISO 1832-1991E: трехгранной (R), квадратной (T), ромбической (S) с углом при вершине 80° (C), с углом при вершине 55° (D), а также специальной формы для оснащения станком с ЧПУ. Пластины изготавливают с задними углами 0° (N), 5° (B), 7° (C), 11° (P) классов точности U, M и G без отверстий и канавок. Цилиндрические пластины выпускают диаметром 3,97...12,7 мм и высотой 2,38...4,76 мм. Применяют и другие формы пластин, вписанные в приведенные размеры. Композит выпускают в виде режущих зерен, впаиваемых в металлическую матрицу. Теплостойкость материалов на воздухе >1200 °С, пределы прочности при растяжении > 0,3 ГПа, изгибе > 0,6 ГПа, а модуль упругости составляет 800 ГПа.

Для абразивной обработки применяют материалы, зерна которых обладают высокими твердостью и режущей способностью. При шлифовании зерна разрушаются, образуют осколки с острыми гранями, тем самым самозатачиваются. Зерна шлифующих материалов имеют острые грани, а полирующих – округлую форму, что способствует выравниванию обрабатываемой поверхности.

В соответствии с ГОСТ 3647-80 абразивные материалы подразделяют по размерам на зерна, шлиф- и микропорошки. Зерна применяют, например, для притирки. Шлиф- и микропорошки применяют для отделочно-

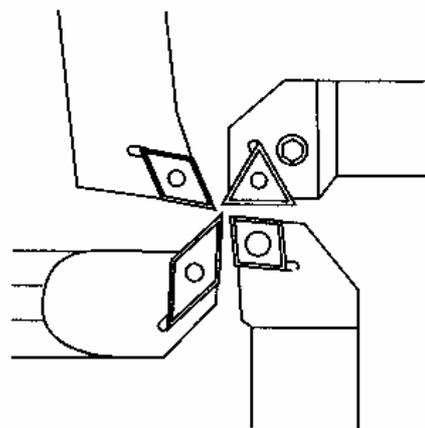


Рис. 3.53. Форма и установка сменных режущих пластин для различных видов точения

го шлифования или полирования, их используют для изготовления шлифовальной шкурки. Номера групп материала соответствуют размеру их зерен.

Абразивные материалы делят на естественные (природные) и искусственные.

Естественные материалы (горные породы и минералы), имеющие промышленное значение, следующие: алмаз, корунд, наждак, гранит, кремнь, кварц, пемза и др. Эти материалы тверды, но недостаточно однородны, наиболее применимы из них первые три вида.

Природные алмазы бывают трех видов: борт, баллас и карбонадо. Инструменты из природных алмазов применяют, например, для правки шлифовальных кругов. Корунд, состоящий из 70...95 % Al_2O_3 и примесей оксида железа, слюды, кварца и др., применяют для производства микропорошков. Наждак состоит из корунда (до 30 %), магнетита, гематита, кварца, оксидов титана и др.

Искусственные абразивные материалы: синтетические алмазы, эльбор, карбид бора, карбид кремния (карборунд SiC), электрокорунд и др.

Шлифпорошки из синтетических алмазов выпускают пяти марок (в порядке возрастания прочности и снижения хрупкости зерен): АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС. Микропорошки из них выпускают двух марок: АСМ и АСН. Эльбор (боразон, кубонит) – перспективный материал из кубического нитрида бора. Он превосходит алмаз по теплостойкости и диффузионной устойчивости. Зерна из эльбора выпускаются двух марок: ЛП – повышенной и ЛО – обычной прочности. Карбид бора уступает по твердости только алмазу и нитриду бора. Зерна карбида кремния способны выдерживать температуру до 2050 °С. Производят два вида карбида кремния: зеленый и черный. Первый вид материала имеет меньше примесей и большую абразивную износостойкость. Электрокорунд имеет наибольшее применение и в зависимости от содержания оксидов других элементов бывает хромистым, титанистым, хромисто-титанистым, циркониевым и др.

Абразивные инструменты в виде кругов, головок, брусков, сегментов или шкурки состоят из абразивных зерен, связанных каким-либо веществом. Инструменты, за исключением последнего, изготавливают литьем и прессованием абразивной массы. В качестве связки абразивных зерен применяют органические и неорганические вещества.

Органические связки бывают керамические (К), магнезиальные (М) и силикатные (С), а *неорганические* – бакелитовые (Б), глифталевые (ГФ) и вулканитовые (В).

Шлифовальные круги различают по твердости. Твердостью круга принято считать сопротивление его связки к выкрашиванию зерен при работе. Для обозначения твердости кругов применяют индексы: М – мягкие, СМ – средней мягкости, С – средние, СТ – средней твердости, Т – твердые, ВТ – весьма твердые и ЧТ – чрезвычайно твердые.

Чаще применяют шлифовальные инструменты с абразивными зернами из электрокорунда. В зависимости от содержания примесей и техно-

логии производства электрокорунд делят на следующие виды: нормальный (12А, 13А, 14А, 15А, 16А), белый (22А, 23А, 24А, 25А), хромистый (32А, 33А, 34А), титанистый (37А), циркониевый (38А), монокорунд (43А, 44А, 45А) и хромисто-титанистый (91А, 92А, 93А, 94А, 95А). Монокорунд состоит из целых зерен, в отличие от других видов электрокорунда, которые получают дроблением исходного материала. Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов обычно применяют абразивные круги из карбида кремния черного (53С, 54С, 55С) или зеленого (63С, 64С).

Опытный образец сегментного круга диаметром 900 мм из эльбора прошел приемочные испытания на Лубенском станкостроительном заводе ОАО “Шлифверст” (Украина). Испытания проводились на специализированном станке 3В423 для шлифования шеек коленчатого вала.

Абразивный инструмент обозначают условными знаками в определенной последовательности.

Например, характеристика абразивного круга ПП600×50×305 24А 10П С2 7 К5 35 м/с 1 кл А ГОСТ 2424-75 расшифровывается так: ПП – форма круга (плоский прямого профиля); 600×50×305 – размеры наружного диаметра, высоты и внутреннего диаметра круга; 24А – марка абразивного материала (электрокорунд белый); 10П – номер и индекс зернистости; С2 – степень твердости (средняя вторая); 7 – номер структуры, под которой понимается соотношение объемов абразивных зерен, связки и пор (средняя); К5 – вид связки (керамическая); 35 м/с – окружная скорость, при которой обеспечивается безопасная работа; 1 кл – класс уравновешенности; А – класс точности круга.

Детали полируют при помощи мелкозернистых кругов или бесконечной гибкой абразивной ленты. Шлифовальную шкурку изготавливают путем нанесения и закрепления абразивного материала на тканевую или бумажную основу. Шкурки выпускают в виде листов или рулонов.

Смазывающе-охлаждающие жидкости при обработке заготовок снижают изнашивание режущего инструмента, улучшают качество обрабатываемых поверхностей и повышают производительность. Основные функции СОЖ: охлаждение инструмента и детали, разделение частей материала заготовки за счет расклинивания, граничная и гидродинамическая смазка, адсорбция ПАВ на вновь образованных поверхностях для облегчения пластического деформирования и разрушения металла.

Характеристика наиболее применяемых прогрессивных СОЖ приведена в табл. 3.27. Масляные СОЖ – это минеральные масла с присадками (или без них) различного назначения. Эмульсионные (водосмешиваемые) СОЖ содержат минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, противоизносные и противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, связующие и другие органические и неорганические вещества. Синтетические СОЖ не содержат масел.

В качестве смазывающе-охлаждающих сред используют также газообразные и твердые вещества.

СОЖ для обработки резанием

Наименование	Область применения	Аналоги
Масляные СОЖ		
Режущее масло СП-4	Сверление, нарезание резьбы	МР-1У, МР-2У, минеральное масло
Концентрат режущего масла СП-44	Сверление, нарезание резьбы	МР-5У (концентрат)
Сульфогал	Нарезание резьбы	ХС-147, ХС-170, Укринол 5/5
Эмульсионные СОЖ		
Эмульсол Т	Холодная прокатка стали, лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Эмульсол ЭТГ
Тафол	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов	Укринол 1М, Аквол 10М, Аквол 11, Эмульсол ЭТГ, Эмульсол Т, смазка технологическая СП-3, НГЛ-205
Синтетические СОЖ		
Эфтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Укринол-1, Аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, Эмульсол ЭТГ, Автокат
Прогресс-13К	Лезвийная и абразивная обработка стали, алюминия и его сплавов	Укринол-1, Аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, Эмульсол ЭТГ, Автокат
Синтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Сувар, Конвекс
Асхон	Хонингование хромированных сталей, лезвийная обработка легированных коррозионностойких жаропрочных сталей	ОСМ-2
Аквахон	Хонингование стали	Керосин, керосино-масляные смеси, ОМС-1, ОМС-3
Аспарин	Шлифование и хонингование чугуна	ОСМ-1, керосино-масляные смеси
Полусинтетические СОЖ		
Автокат Ивкат Эмулькат	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов	Укринол-1, Аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, Эмульсол ЭТГ, Уверол, Велс

3.13.5. Особенности обработки восстанавливаемых деталей

При обработке покрытий резанием обеспечивают срезание слоев острым инструментом без следов выкрашивания. Покрытия во время обработки не следует нагружать растяжением, изгибом или отрывом.

Детали из пластмасс обрабатывают на больших скоростях резания. Термопласты обрабатывают резцами, оснащенными пластинками из твер-

дых сплавов ВК-6 и ВК-8 со скоростью резания 300...600 м/мин и подачей до 0,4 мм/об. Терморезистивные пластмассы обрабатывают теми же резцами, но со скоростью резания 200...500 м/мин и подачей до 0,3 мм/об.

Электрохимические железные покрытия точат резцами из твердых сплавов Т5К10 или Т15К6 обычной геометрии.

Наплавленные и напыленные покрытия с твердостью до 35 HRC обрабатывают всеми видами инструмента в несколько ходов. Скорость резания при черновом точении уменьшают на 30...60 %, а при чистовом – на 20...40 % по сравнению со скоростью обработки нормализованной стали 45.

Наплавленные покрытия, имеющие твердость до 45 HRC, обрабатывают резцами из твердого сплава Т15К6. Обработку ведут в два хода: первый – по корке черновой, второй – получистовой. При необходимости оставляют припуск на шлифование 0,3 мм на диаметр. Возможна лезвийная обработка наплавленных покрытий твердостью 45...52 HRC инструментом из мелкозернистого твердого сплава ВК3М, ВК6М и особомелкозернистого ВК-60М. Задние и передние углы инструмента рекомендуется устанавливать в пределах 5...10 °, скорость резания – 30...60 м/мин, подачу – 0,03...0,20 мм/об, а глубину резания – 0,05...1,00 мм.

При точении покрытий из самофлюсующихся материалов может быть использована режущая керамика на основе Al_2O_3 с добавками TiC и WC или с незначительными добавками MgO и SiO_2 . Материал ВО-13 применяют для чистового и получистового точения покрытий из порошков конструкционных и легированных сталей твердостью до 1600...2300 НВ, материалы ВОК-60 и ВОК-71 – соответственно, для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 30...64 HRC, материалы В-3 и ОНТ-20 – для чистового и получистового точения покрытий из порошков на основе, соответственно, меди и сплава меди с никелем, материал Силинит-Р – для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 2300...3800 НВ на основе никеля.

Лезвийная обработка инструментами из ПСТМ в ряде случаев заменяет шлифование и позволяет получить шероховатость поверхности Ra 1,25...0,63 мкм, а при использовании жесткого оборудования Ra 0,20...0,18 мкм. Стойкость резцов и фрез из ПСТМ выше стойкости инструмента из твердого сплава Т15К6 в 20...30 раз. Стойкость киборита в 2 раза, а производительность в 6...11 раз выше, чем эльбора-Р, при практически одинаковой шероховатости обработанных поверхностей.

Точение покрытий резцами, оснащенными гексанитом-Р, выполняют при следующих режимах: скорость резания 60...100 м/мин, подача 0,03...0,15 мм/об, глубина резания 0,1...0,3 мм.

Основное назначение композитов – это лезвийная обработка высокотвердых сплавов на основе железа и никеля, закаленных сталей, отбеленных чугунов, наплавленных и напыленных износостойких покрытий. Наи-

более эффективная область применения инструментов из ПСТМ – высокоскоростная обработка твердых покрытий (до 68 HRC) с малой толщиной срезаемого слоя (0,2...0,5 мм). Процесс резания характеризуется малыми энергетическими затратами, небольшим нагревом заготовки, низкой шероховатостью и высоким качеством поверхностного слоя. Однако процесс предъявляет высокие требования к жесткости и техническому состоянию оборудования.

Углы заточки резцов при обработке наплавленных поверхностей приведены в табл. 3.28.

Таблица 3.28

Геометрия резцов при обработке наплавленных поверхностей

Материал электродной проволоки, твердость покрытия	Вид точения	Материал режущей части	Углы заточки, град				
			γ	α	λ	ϕ	ϕ_1
Нп-30ХГСА под слоем флюса АН-348А, 25...30 HRC	Черновое	T15K6, TT7K12, КНТ-16, T5K10	-8	8	9	45	22
	Получистовое	КНТ-16, T15K10	-5	8	0	45	22
	Чистовое	Гексанит-Р, T15K6	2	6	-7	40	20
Нп-30ХГСА в среде CO ₂ , 22...27 HRC	Черновое	КНТ-16, T5K10, TT7K12, КНТ-16	-7	8	9	45	22
	Получистовое	КНТ-20, КНТ-16, T15K10	-3	8	0	45	22
	Чистовое	T5K10, Гексанит-Р	2	6	-7	40	20

Круги из электрокорунда нормального и белого применяют для обработки конструкционных и легированных сталей с твердостью до 40 HRC. Для шлифования этих сталей в интенсивном режиме лучше применять хромистый электрокорунд. Для обработки инструментальных, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей используют монокорунд.

Электрокорундовыми кругами хорошо обрабатываются покрытия твердостью 24...36 HRC, нанесенные электродуговой наплавкой. При обработке оплавленных покрытий, полученных напылением из никельборкремниевых сплавов, рекомендуются круги 64С зернистостью M28, M40 и твердостью CM1-CT1. Кругами из карбида кремния зеленого и черного хорошо обрабатываются неоплавленные покрытия из порошков типа ПГ-СР4, нанесенных плазменным или газопламенным напылением, а также покрытия из порошков ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, нанесенных детонационным напылением. Зернистость кругов на одно значение крупнее, чем при обработке компактных материалов, а связка более мягкая. Электрохимические покрытия шлифуют абразивными кругами из электрокорунда нормального марок 12А...16А или белого марок 22А...25А.

Ремонтные заготовки с твердым покрытием на основе железа, например, из сормаита (У20Х15С2Н2, У30Х28С4Н4), шлифуют способом врезания. Применяют шлифовальные круги из хромистого электрокорунда марки 34А или из карбида кремния зеленого марки 64С. Шлифование хромоникелевых покрытий с высокой вязкостью гамма-твердого раствора на основе никеля с распределенными в нем карбидами и боридами высокой твердости резко увеличивает износ и затупление шлифовального круга вследствие налипания частичек металла на вершины абразива. Интенсивное обновление рабочей поверхности круга достигается применением мягких кругов, однако круги из корунда и карбида кремния в результате отжима не снимают заданную величину припуска, которая тем больше, чем труднее шлифуется покрытие.

Напыленные покрытия и поверхности деталей из алюминиевого сплава шлифуют кругами из хромисто-титанистого электрокорунда марок 91А и 92А.

Круги из карбида кремния (64С) пригодны для обработки напыленных покрытий, однако в большинстве случаев эта обработка нерентабельна для покрытий твердостью 40...60 НРС.

Круги из синтетических алмазов и эльбора обладают высокими режущими свойствами и работают практически без отжима. Круги обеспечивают высокие показатели шлифования оплавленных покрытий из самофлюсующихся материалов, а также неоплавленных покрытий ПГ-10Н-01, ПТ88Н12, НХ20Л, “Полимак”, “Сормайт” и др. Они обеспечивают производительную и качественную обработку слоя, полученного микродуговым оксидированием деталей из алюминиевого сплава. Применение кругов из эльбора при обработке упрочненных поверхностей снижает затраты на шлифование в 1,7...5,0 раз по сравнению с обработкой кругами из электрокорунда. Высокая износостойкость таких кругов обуславливает повышенную точность их формы в течение длительного времени и в свою очередь – экономичность процесса и точность обработки.

Покрытия с твердостью более 60 НРС, которые обладают высокой износостойкостью, обрабатывают алмазными кругами АСВ и АСК зернистостью 200/160 на металлической связке. Наибольшая эффективность применения алмазных кругов обеспечивается при шлифовании покрытий на основе оксидов алюминия, хрома и титана, карбидов вольфрама, титана в сочетании с кобальтом, никелем или бором. Оксид алюминия, нанесенный детонационным напылением, обрабатывают также алмазными кругами с алмазами АС4 100 %-ной концентрации на связках М2-01, В2-08, В3-03-1. Для отделочной обработки применяют бесконечные алмазные ленты АЛШБ с алмазами АСМ, АСН зернистостью 80/63, 40/28, 20/14 на связках В3-06, В3-02.

Алмазное шлифование применяется в ремонтном производстве в основном для заточки режущего и доводки мерительного инструмента.

При шлифовании покрытий круги правят чаще, чем при обработке компактных материалов. При шлифовании твердых материалов следует применять мягкие круги, из которых быстрее выпадают затупившиеся зерна, а в работу вступают новые острые. При шлифовании мягких металлов зерна тупятся медленно, поэтому круг может быть твердым и более долговечным.

Износостойкие покрытия обрабатывают с большей производительностью при введении в зону резания дополнительных видов энергии (механической, тепловой, электрической, химической и др.) или их сочетаний.

Шлифование сопровождается выделением большого количества тепла и деформированием поверхностного слоя на глубину до 50 мкм, что способствует возникновению в этом слое значительных растягивающих напряжений. Неправильно выбранные режимы резания, затупленные зерна и “засаленный” круг приводят к структурным изменениям поверхностного слоя покрытия, образованию прижогов и шлифовальных трещин. Эти дефекты недопустимо оставлять в поверхностном слое покрытия. Прижоги при шлифовании снижают предел выносливости детали до 30 %, а шлифовальные трещины – до трех раз. Поверхностное обезуглероживание и снижение твердости только на 5 единиц HRC уменьшает долговечность, например, зубчатых колес в 2...3 раза. Поэтому при шлифовании покрытий значения режимов следует назначать значительно меньшими, чем при обработке монолитных материалов.

Качество шлифования и полирования кругами в значительной степени зависит от окружной скорости круга. При отделке твердого металла необходима более высокая окружная скорость, чем при отделке мягкого.

Финишные операции обеспечивают необходимые размеры и шероховатость восстанавливаемых поверхностей, а также свойства поверхностного слоя. На этих операциях снимают незначительный слой металла, но уменьшают на один-два класса значения шероховатости. Тонкое шлифование, например, выполняют абразивным инструментом с зернистостью 12...25. Снимаемый припуск за один ход не более 0,5 мкм. В конце операции необходимо выхаживание в течение 5...7 оборотов детали. Для тонкого шлифования применяют станки повышенной точности.

Суперфиниширование и полирование – процессы удаления разупроченного на предыдущих операциях тонкого слоя и достижения необходимой шероховатости поверхности (рис. 3.54). Суперфиниширование цилиндрических шеек выполняют при вращении детали и осциллирующем движении мелкозернистых брусков вдоль оси шпинделя. Давление брусков на обрабатываемую поверхность составляет не более 3 МПа, оно уменьшается к концу операции. Шейки коленчатых валов, например, полируют на станках типа 3875 с применением абразивных лент из шлифовальной шкурки марки 15А М40 В М 433.

Притирка – процесс совместной обработки деталей, работающих в паре, для получения плотного контакта рабочих поверхностей (рис. 3.55). Притирают, например, клапаны двигателей к седлам, плунжеры топливной аппаратуры к гильзам, зубчатые колеса друг к другу. Обработка происходит при относительном возвратно-вращательном или поступательном движении притираемых деталей. В зону обработки подают свободные зерна электрокорунда, карбида кремния, карбида титана, карборунда или алмазную пасту в индустриальном масле. Чтобы следы резания не накладывались друг на друга, необходимо каждый последующий ход притирки начинать с нового относительного положения притираемых деталей. Эту функцию, например, во время притирки клапанов к седлам, выполняет механизм углового смещения шпинделей.

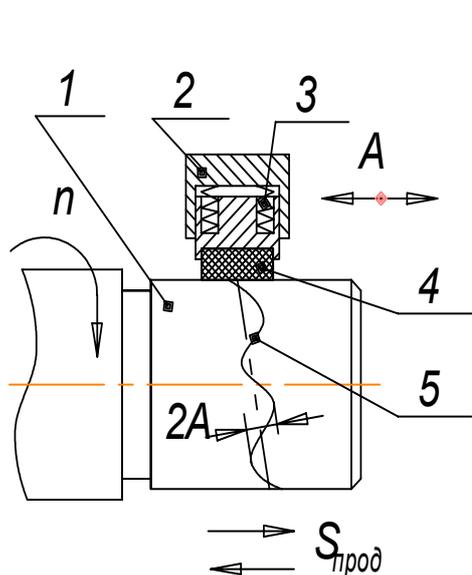


Рис. 3.54. Схема суперфиниширования поверхности: 1 – заготовка; 2 – корпус инструмента; 3 – пружины; 4 – абразивный брусок; 5 – траектория относительного движения инструмента; n – частота вращения заготовки; $S_{прод}$ – подача осевая; $2A$ – амплитуда относительного движения инструмента

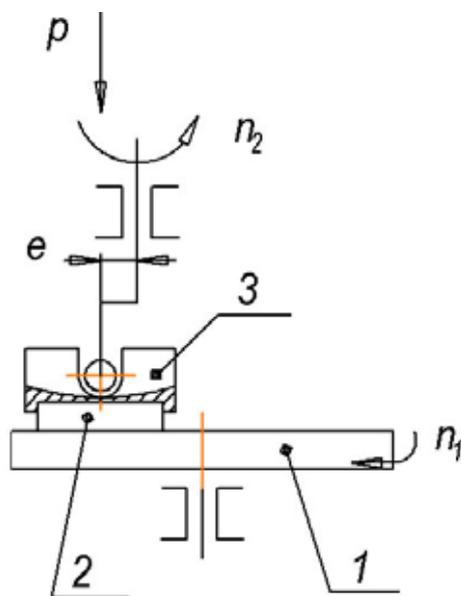


Рис. 3.55. Схема притирки поверхностей: 1 – притир; 2 – заготовка; 3 – держатель заготовки; n_1 – частота вращения притира; e – радиус кривошипа механизма вращения заготовки; n_2 – частота вращения заготовки; P – усилие прижатия заготовки к притиру

Хонингование – процесс доводки внутренних цилиндрических поверхностей абразивными брусками, которые закреплены в головке и совершают вращение с одновременным возвратно-поступательным движением (рис. 3.56). В процессе хонингования бруски постоянно прижимаются к поверхности детали с давлением 0,05...1,40 МПа. Хонингование обеспечивает точность размеров 5 или 6 качества и шероховатость поверхности до Ra 0,16 мкм. Погрешность размера обработанного отверстия составляет 0,005...0,020 мм, а отклонения от круглости не превышают 0,005 мм. В качестве инструментальных материалов применяют хонинговальные бруски

из синтетических алмазов, закрепленных в металлической связке М1 (порошковый состав из 80 % меди и 20 % олова). Для обработки восстанавливаемых деталей широко используют бруски из алмазов марки АСВ (алмаз синтетический высокопрочный). Толщина алмазоносного слоя в брусках 1...2 мм. Зерна практически не теряют своих режущих свойств до полного изнашивания брусков. Алмазное хонингование по сравнению с хонингованием электрокорундовыми брусками производительнее в 4...6 раз, улучшает шероховатость поверхности на два класса и повышает точность обработки в 1,5...2,0 раза.

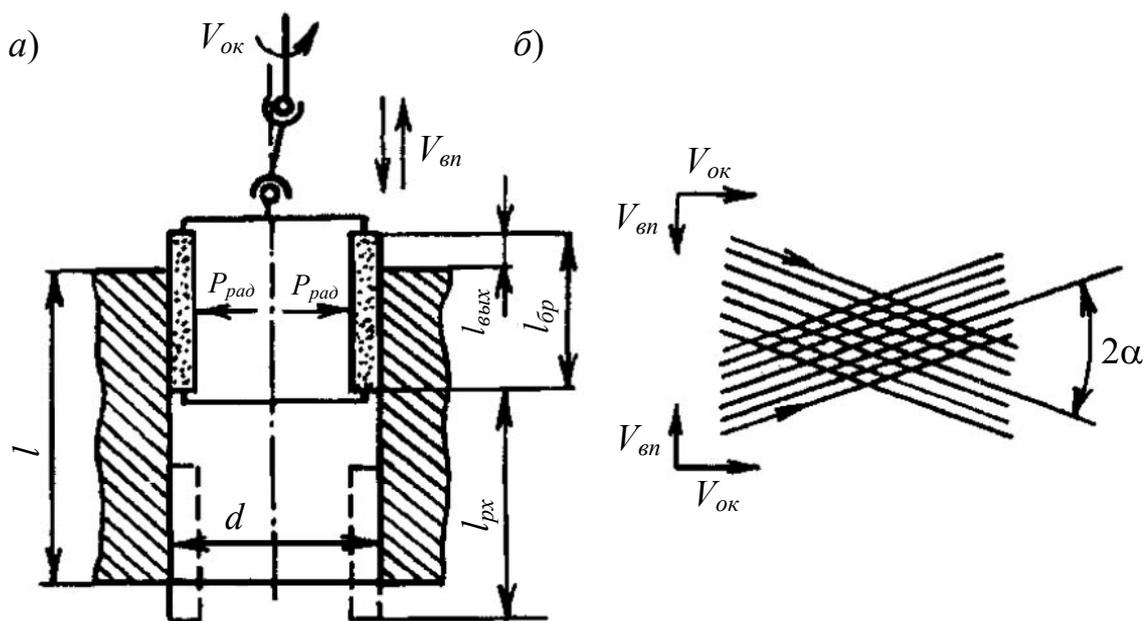


Рис. 3.56. Схема хонингования поверхности отверстия: l и d – длина и диаметр обработки; $l_{бр}$, l_{px} и $l_{вых}$ – длина брусков, ход и длина выхода брусков; $P_{рад}$ – усилие прижатия брусков к детали; $V_{ок}$ и $V_{вп}$ – скорости окружного и возвратно-поступательного движения инструмента; 2α – угол пересечения рисок от инструмента

Хонингование применяют для обработки стальных и чугунных деталей, в том числе с хромовыми и железными покрытиями. Скорость резания при хонинговании в 20 раз меньше, чем при шлифовании, поэтому деталь практически не нагревается, а ее поверхностные слои не претерпевают структурных изменений.

Ремонтные заготовки при их механической обработке устанавливают в приспособлениях, которые обеспечивают необходимую точность расположения обрабатываемых поверхностей и повышают производительность труда.

Шатунные шейки коленчатого вала, например, шлифуют в центросместителях, которые обеспечивают необходимый радиус кривошипа и точный поворот заготовки (во время вспомогательного перехода) относительно оси коренных шеек, равный нормативному углу между кривошипами.

3.13.6. Восстановление соединений способом ремонтных размеров

Научное обоснование способа дал проф. В.В. Ефремов в 50-х годах XX века.

Способом *ремонтных размеров* (РР) восстанавливают подвижные соединения. Восстанавливаемый элемент более дорогой и трудоемкой детали обрабатывают под заранее установленный РР, а сопрягаемую деталь заменяют.

Способ обеспечивает взаимозаменяемость деталей одного РР. Наличие заранее установленных РР позволяет организовать массовый выпуск заменяемых деталей на специализированных заводах. Машиностроение, например, освоило выпуск поршней, поршневых колец, вкладышей подшипников коленчатого вала и других деталей ремонтных размеров.

Значение РР устанавливают в зависимости от величины и характера износа поверхности, а также от припуска на механическую обработку. Этот припуск в целях экономии материала и сбережения остаточной долговечности детали устанавливают минимальным.

Значение первого ремонтного размера будет отличаться от номинального размера (рис. 3.57) на величину удвоенных максимального износа и припуска на механическую обработку на сторону. Предполагается, что ось восстановленного элемента совпадет с его первоначальной осью. Первые ремонтные размеры для валов d_{p1} и для отверстий D_{p1} определяют по формулам

$$d_{p1} = d_n - 2(z'' + t), \text{ мм}; \quad (3.48)$$

$$D_{p1} = D_n + 2(z'' + t), \text{ мм}, \quad (3.49)$$

где d_n и D_n – номинальные размеры вала и отверстия, мм; z'' – максимальный износ на сторону, мм; t – припуск на механическую обработку на сторону, мм.

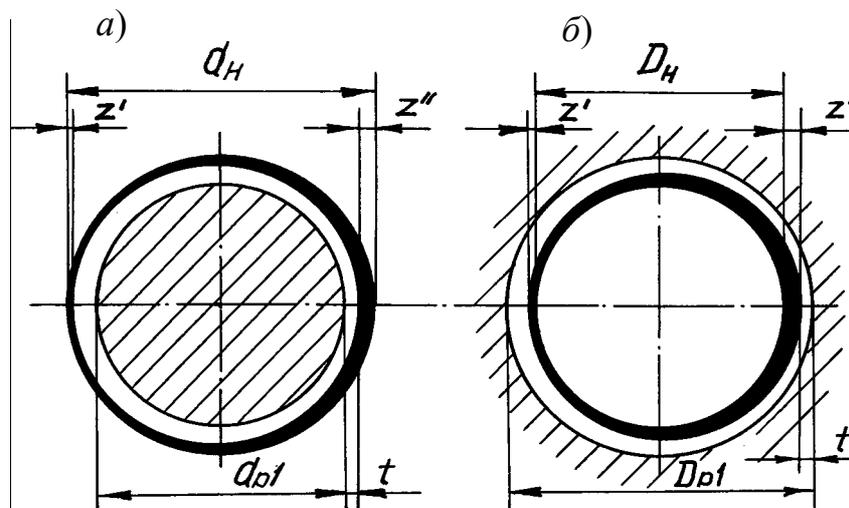


Рис. 3.57. Схема определения ремонтных размеров: а – для вала; б – для отверстия

Введем величину – коэффициент неравномерности износа r , который определим как отношение максимального износа детали на сторону к величине общего износа на диаметр z . Если минимальный износ детали на сторону обозначить через z' , то общий износ z будет равен сумме $z = z' + z''$, тогда коэффициент неравномерности износа равен

$$r = z''/z, \text{ а } z'' = rz. \quad (3.50)$$

Если подставить значение z'' в зависимости 3.48 и 3.49, то они приобретут вид

$$d_{p1} = d_n - 2(rz + t), \text{ мм}; \quad (3.51)$$

$$D_{p1} = D_n + 2(rz + t), \text{ мм}. \quad (3.52)$$

При равномерном износе детали, когда $z' = z''$ коэффициент неравномерности износа равен $r = 0,5$, а при одностороннем износе, когда $z' = 0$, $r = 1$. Таким образом, значение коэффициента r изменяется в пределах $0,5 \dots 1$. Значения износов и коэффициента их неравномерности определяют опытным путем.

Для чистового точения и растачивания припуск на обработку восстанавливаемых деталей чаще составляет $0,05 \dots 0,10$ мм, а для шлифования – $0,03 \dots 0,05$ мм на сторону.

Если выражение $2(rz + t)$, которое принято называть ремонтным интервалом, обозначить через i , то расчетные формулы для определения первых и последующих ремонтных размеров упростятся:

$$d_{p1} = d_n - i, \quad d_{p2} = d_n - 2i, \quad \dots, \quad d_{pn} = d_n - ni; \quad (3.53)$$

$$D_{p1} = D_n + i, \quad D_{p2} = D_n + 2i, \quad \dots, \quad D_{pn} = D_n + ni, \quad (3.54)$$

где n – номер ремонтного размера.

Зная предельно допустимые размеры валов d_{\min} и отверстий D_{\max} , можно определить число k возможных ремонтных размеров детали:

$$k = (d_n - d_{\min}) : i; \quad k = (D_{\max} - D_n) : i. \quad (3.55)$$

Предельно допустимые размеры валов и отверстий определяют из условий обеспечения жесткости и механической прочности деталей и удельного давления в соединениях.

Ремонтные размеры могут быть категориальными (установленными ремонтными документами для определенной категории ремонта) и пригодными. В последнем случае исключена взаимозаменяемость восстановленных деталей.

Цилиндры двигателей имеют до 3 категориальных ремонтных размеров с ремонтным интервалом $0,5$ мм, шейки коленчатых и распределительных валов имеют до 6 таких размеров с ремонтным интервалом $0,25$ мм.

Способом РР можно восстанавливать также резьбовые поверхности путем рассверливания или растачивания изношенной резьбы и нарезания

ремонтной резьбы. Резьбы нарезают только после полного удаления изношенных витков. Шаг резьбы сохраняют, а диаметр ее выбирают из ряда стандартных значений.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются особенности обработки ремонтных заготовок? 2. Изложите особенности и порядок выбора технологических баз при механической обработке восстанавливаемых деталей. 3. В каких случаях применяют лезвийную обработку ремонтных заготовок? 4. Приведите особенности абразивной обработки ремонтных заготовок. 5. Приведите новые инструментальные материалы для лезвийной и абразивной обработки.

Практическое занятие № 5

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ПОД РЕМОНТНЫЙ РАЗМЕР

Цель занятия – приобретение навыков в расчетах и назначении ремонтных размеров восстанавливаемых деталей.

Последовательность выполнения работы следующая:

– изучить технологические процессы механической обработки ремонтных заготовок и методику определения ремонтных размеров (параграф 3.13.6);

– получить задание у преподавателя. Данные индивидуального задания приведены в табл. 3.29;

Таблица 3.29

Задания для расчетов ремонтных размеров

Деталь	Обрабатываемый элемент		Наибольший износ на сторону, мм
	Наименование	Номинальный диаметр, мм	
Гильза цилиндра	Внутренняя поверхность	92	0,15
Коленчатый вал	Коренные и шатунные шейки	70 и 60	0,07
Распределительный вал	Опорные шейки	52	0,06
Поршневой палец	Рабочая поверхность	25	0,03
Толкатель	Цилиндрическая поверхность	16	0,03

- выбрать вид обработки резанием и рассчитать припуск на обработку;
- определить ремонтный интервал;
- принять допустимое изменение размера детали в результате обработки резанием 1,5 мм;
- рассчитать число ремонтных размеров.

Содержание отчета: название и цель работы; изображение восстанавливаемого элемента детали; расчеты ремонтного интервала и числа ремонтных размеров детали; выводы по работе.

Лабораторная работа № 4

ОБРАБОТКА ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ПОД РЕМОНТНЫЙ РАЗМЕР

Цель работы – изучить оборудование и освоить технологию шлифования и полирования шеек коленчатого вала под ремонтный размер.

Оборудование и приборы: станки 3В423 и 3845, скоба СР-75 (ГОСТ 11098-75), индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 868-63), индикаторный прибор для измерения радиуса кривошипа, радиусные шаблоны, коленчатый вал двигателя УМЗ-451М.

Порядок выполнения работы:

- составить перечень переходов обработки шатунных шеек коленчатого вала;
- измерить шейки изношенного вала и рассчитать операционные размеры на обработку шеек под ближайший ремонтный размер;
- определить радиус галтелей и кривошипов;
- установить заготовку в центросместители станка 3В423;
- шлифовать 1-ю и 4-ю шатунные шейки;
- переустановить заготовку;
- шлифовать 2-ю и 3-ю шатунные шейки;
- снять заготовку со станка;
- установить заготовку на полировальный станок 3845;
- полировать шейки;
- снять деталь со станка;
- произвести контрольные измерения диаметра и соосности шеек, радиуса галтелей и кривошипов.

Содержание отчета: название и цель работы; описание оборудования, приспособлений и инструментов; сведения об абразивных инструментах; краткие теоретические сведения о способе восстановления деталей под ремонтные размеры; перечень технологических переходов обработки; расчетные зависимости и результаты расчетов; порядок выполнения операции; результаты измерений; выводы по работе.

3.14. Измерения в процессах восстановления деталей

3.14.1. Значение и содержание измерений

Соответствие действительных значений параметров деталей их нормативным значениям – признак высокого качества этих деталей. Это обеспечивает нормативную послеремонтную наработку агрегатов, собранных из таких деталей. Объективную информацию о значениях физических величин, с помощью которых описывают состояние деталей, получают измерениями в составе технического контроля.

Технический контроль – это проверка соответствия продукции или процессов установленным техническим требованиям.

Под *точностью* детали понимают степень приближения значений геометрических параметров ее элементов к значениям этих параметров, определенных ремонтным чертежом. Заданная точность элементов определяется тем, что их *погрешности* находятся в пределах установленных допусков.

Виды отклонения действительных геометрических поверхностей детали от номинальных приведены на рис. 3.58. Здесь задана номинальная поверхность в виде цилиндра, а номинальные профили представляют окружность в сечении, перпендикулярном оси вращения, и прямоугольник в сечении вдоль оси. Образуются следующие отклонения: расположения поверхностей ΔL ; формы поверхности $\Delta \Phi$; размера элемента Δd ; волнистости; шероховатости.

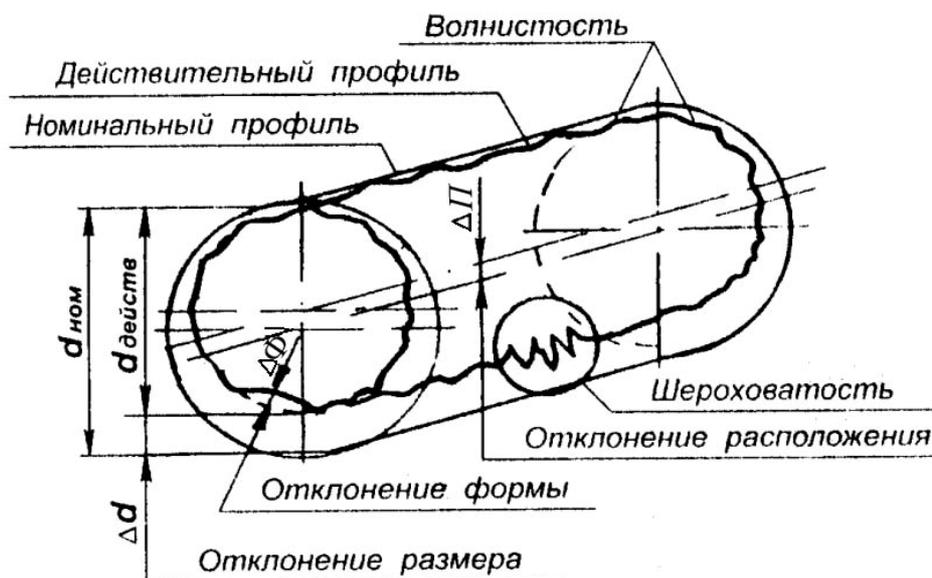


Рис. 3.58. Виды отклонений геометрических параметров цилиндрической детали:
 $d_{ном}$ и $d_{действ}$ – номинальные и действительные размеры

3.14.2. Основные определения

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных средств. Измерения бывают прямые, косвенные, абсолютные и относительные.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми прямыми измерениями.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин.

Относительные измерения – измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принятой за исходную.

Истинное значение физической величины идеальным образом отражает соответствующее свойство объекта. Это значение установить чаще всего невозможно, поэтому определяют ее действительное значение.

Действительное значение величины устанавливают измерением с допустимой погрешностью. Чем меньше погрешность измерений, тем в большей степени действительное значение приближается к истинному.

Погрешность измерений – разность между полученным значением измеряемой величины и ее истинным значением.

Средство измерений – техническое средство (рис. 3.59), предназначенное для измерения физических величин. Средства измерений бывают накладными (их устанавливают на деталь) и стационарными (деталь устанавливают на средство).

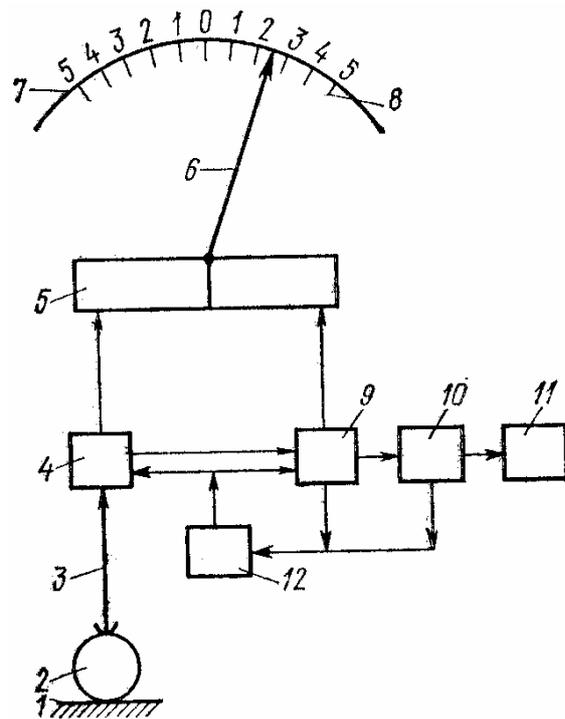


Рис. 3.59. Схема средства измерений: 1 – установочный элемент; 2 – измеряемая деталь; 3 – чувствительный элемент; 4 – измерительный механизм; 5 – отсчетный механизм; 6 – указатель; 7 – шкала; 8 – отметка шкалы; 9 – преобразовательный элемент; 10 – пороговое устройство; 11 – регистрирующее устройство; 12 – устройство настройки

торой относительно отметок шкалы определяет показания средства измерений.

Проверка средства измерений – определение метрологическими органами погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению.

3.14.3. Измерения линейных и угловых величин

Применяют *универсальные* и *специальные* средства измерений. Первые используют для измерения величины в пределах отрезка, установлен-

ного технической характеристикой средства. Вторые средства в виде калибров дают качественную оценку одного значения величины.

В ЕСДП предусмотрены 19 квалитетов точности линейных размеров: 01, 0, 1, ..., 17. Элементы восстанавливаемых деталей обрабатывают преимущественно по 5...8 квалитетам.

Для измерения линейных размеров применяют штангенинструменты, микрометрические инструменты и рычажно-зубчатые приборы. Цена деления первых 0,05 или 0,1, вторых – 0,01 и третьих – 0,001, 0,002 или 0,01 мм.

Угловые размеры определяют с помощью угломеров. Их линейки вводят в соприкосновение со сторонами измеряемого угла. В зависимости от конструкции угломеры бывают двух видов. Средствами первого вида с угольником измеряют углы 0...90 °, без угольника – 90...180 °. Угломерами второго вида измеряют наружные углы 0...180 ° и внутренние – 40...180 °. Отсчет производят по двум шкалам: основной (цена деления 1°) и нониусной (цена деления 2').

При обработке заготовок выбирают средство измерений в зависимости от вида и погрешности измеряемой величины. Используют методы выбора: по коэффициенту уточнения (запасу точности); на основе информационной теории измерительных устройств; безошибочности контроля.

Наиболее распространенным является метод *безошибочности* контроля, при котором выбор средств измерений производят по известным значениям номинального размера d , допуска обработки IT и погрешности измерений δ . Допускаемые погрешности измерений при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливает ГОСТ 8.051-81. Эти погрешности приняты равными 20...35 % от допуска на обработку заготовки. Предельные погрешности измерения для наиболее распространенных средств приведены в табл. 3.30.

Средства измерений заготовок с наиболее распространенными значениями линейных размеров от 6 до 120 мм следующие.

При измерении линейных размеров наружных поверхностей точностью 5 и 6 квалитетов применяют микрометры рычажные типа МР и МРИ, скобы рычажные типа СР при использовании в стойке, головки рычажно-зубчатые типа ИГ с ценой деления 0,001 мм, оптиметры вертикальные типа ОВ-3 и горизонтальные типа ОГ-3, микроскопы инструментальные. При уменьшении точности измеряемых элементов до 7 квалитета вводят скобы индикаторные типа СИ при настройке на нуль по концевым мерам длины и микрометры гладкие типа МК. Детали, выполненные грубее 9 квалитета точности, измеряют штангенциркулем ШЦ-П с ценой деления 0,05 мм.

Погрешности измерения деталей

Наименование приборов и инструментов	Класс применяемых концевых мер	Интервалы размеров, мм			
		1...10	50...80	300...500	
		Предельные погрешности, мкм			
Оптиметры горизонтальный и вертикальный, измерительные машины при измерении наружных размеров	0	±0,35	±0,6	±1,8	
	1	±0,4	±0,8	±3,0	
	2	±0,7	±1,3	±4,5	
Оптиметр горизонтальный, измерительная машина с оптиметром и микроскопом при измерении внутренних размеров	0	—	±1,1	—	
	1	—	±1,3	—	
	2	—	±1,8	—	
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	0	±0,5	±0,8	±1,8	
	1	±0,6	±1,0	±3,0	
	2	±0,7	±1,4	±4,5	
	3	±1,0	±2,0	±8,0	
То же, 0,002 мм	1	±1,0	±1,4	±3,5	
	2	±1,2	±1,8	±5,0	
	3	±1,4	±2,5	±8,0	
То же, 0,005 мм	2	2,0	2,5	5,0	
	3	2,2	3,0	8,5	
Индикаторы с ценой деления 0,01 мм при работе в пределах одного оборота стрелки:					
	0-го класса точности	3	±10	±10	±13
	1-го класса точности	3	±15	±15	±16
2-го класса точности	3	±20	±20	±22	
Микрометр 0-го класса точности	—	±4,5	±6	±15	
То же, 1-го класса точности	—	±7,0	±9	±25	
То же, 2-го класса точности	—	±12	±14	±35	
Штангенциркули с ценой деления, мм:					
	0,05	—	±40	±45	—
0,1	—	±75	±75	±90	

Измерения линейных размеров внутренних поверхностей с точностью по 5...7 квалитетам предполагают применение микроскопов инструментальных типа МРИ-2, БМИ-1, оптиметров горизонтальных типа ОГ-3 и нутромеров с ценой деления 0,001 или 0,002 мм с настройкой по установочным кольцам. Размеры отверстий, выполненных с точностью по 8...10 квалитетам, измеряют нутромерами индикаторными типа НИ с ценой деления 0,01 мм. При измерении отверстий диаметром свыше 80 мм могут применяться нутромеры типа НМ микрометрические. При более грубых измерениях применяют штангенциркули типа ШЦ-I и ШЦ-II с ценой деления, соответственно, 0,05 и 0,1 мм.

Большой объем измерений требует повышения их производительности. Определение технического состояния большого количества неслож-

ных деталей одного вида, например, поршневых пальцев, клапанов и толкателей обуславливает внедрение автоматических средств. При этом выполняются механическая подача деталей на позицию измерения, непосредственное измерение размера, сортировка деталей на годные и бракованные. Область эффективного применения автоматических средства для измерения линейных величин этих деталей начинается с объемов ремонта 5...8 тыс. агрегатов в год.

Производительное измерение параметров отверстий (размеров, формы и расположения относительно базовых поверхностей) производят с помощью пневматического прибора ротаметрического типа (рис. 3.60). С помощью его также сортируют детали на размерные группы. Работа прибора основана на использовании зависимости между расходом сжатого воздуха под определенным давлением и значением зазора между деталью и калибром, через который проходит воздух.

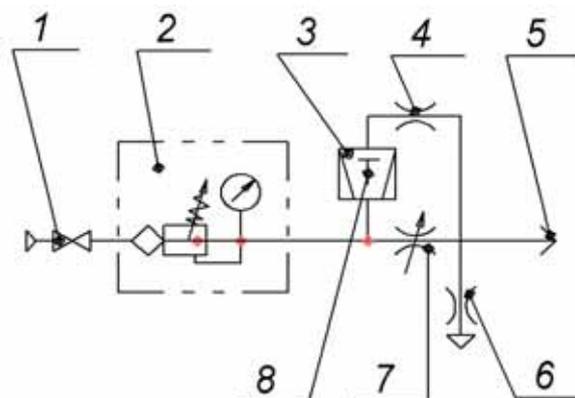


Рис. 3.60. Схема пневматического прибора ротаметрического типа: 1 – вентиль; 2 – блок; 3 – коническая трубка; 4 – дроссель; 5 – измерительная оснастка (калибр); 6 и 7 – вентили; 8 – поплавок

Воздух под давлением 0,3...0,5 МПа через вентиль 1 и блок 2 фильтра со стабилизатором давления поступает в коническую трубку 3, в которой находится поплавок 8, и к вентилю 7. Пройдя коническую трубку и дроссель 4, потоки воздуха объединяются и по отдельным каналам поступают к измерительной оснастке и вентилю 6 и выходят в атмосферу. Поплавок находится во взвешенном состоянии в струе сжатого воздуха. Высота, на которую поднимается поплавок, зависит от расхода сжатого воздуха. Верхняя плоскость поплавка служит указателем при считывании размера. Цена деления шкалы составляет 0,2...2,0 мкм.

3.14.4. Измерения параметров формы и расположения поверхностей

Плоские поверхности оценивают прямолинейностью и плоскостностью. Отклонения от прямолинейности определяют с помощью линейек поверочных типа ЛД, ЛТ и ЛЧ. Для измерения плоскостности применяют линейки типа ШП, ШД, ШМ и УТ. Плоскостность измеряют также с помощью плит чугунных или из твердокаменных пород (гранита, диабазы, диорита и габбро).

Для определения погрешностей формы цилиндрических поверхностей используют такие параметры: овальность, огранка, бочкообразность,

седлообразность, изогнутость оси, конусообразность и нецилиндричность. Последний параметр включает все отклонения формы поверхности от круглого цилиндра. Погрешности формы определяют путем сопоставления номинальных и действительных размеров детали в одном и том же ее сечении.

Погрешности расположения поверхностей включают такие параметры: отклонение от соосности, радиальное и торцовое биения, отклонения пересекающихся и скрещивающихся осей, непараллельность и перпендикулярность осей или поверхностей.

Для проверки отклонения формы и расположения поверхностей применяют средства контроля линейных размеров в составе различных приспособлений (табл. 3.31).

Таблица 3.31

Характеристика методов контроля и средств измерения формы и расположения поверхностей

Отклонение формы или расположения поверхностей	Рекомендуемые средства измерения	Метод контроля
1	2	3
Отклонение от цилиндричности	Универсальные	Измерения диаметра детали в нескольких ее положениях
	Индикатор на стойке легкого типа, призмы	Измерения биения поверхности детали, установленной на призмы
Отклонение профиля продольного сечения	Универсальные	Измерения в нескольких направлениях и сечениях
Отклонение от прямолинейности и плоскостности	Лекальные линейки, поверочные линейки, щупы	Проверка “на просвет” и измерение зазора щупом
	Поверочные линейки и поверочные плиты	Проверка “на краску”
Отклонение формы заданного профиля	Шаблоны (профильные калибры), щупы	Проверка “на просвет” и измерение зазора щупом
Отклонение от соосности относительно общей оси	Комплексный проходной калибр	Проверка калибром
	Скалка с индикаторами	Измерения при вращении скалки
Торцовое биение	Прибор ПБ с индикатором, угловой рычаг	Проверка биения торца при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе	Проверка биения торца при вращении детали на призмах
Отклонение от параллельности плоскостей	Индикатор на универсальном штативе, поверочная плита	Измерение расстояния от одной плоскости до другой на заданной длине
Отклонение от параллельности оси и плоскости	Индикатор на универсальном штативе, калиброванная скалка, поверочная плита	Измерение расстояния от верхней образующей скалки до плиты в двух положениях на заданной длине

1	2	3
Радиальное биение	Прибор ПБ с индикатором	Измерение стрелы прогиба при вращении в центрах
	Индикатор, призмы, индикатор на универсальном штативе	Измерение стрелы прогиба или относительного биения шеек при вращении детали в центрах
	Прибор ПБ с индикатором, оправка	Измерение биения наружной поверхности относительно внутренней на оправке при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе, прямой рычаг	Измерение биения внутренней поверхности относительно наружной при вращении детали на призмах

Прибор для измерения параметров формы и расположения восстановленных поверхностей имеет корпус с опорными элементами, индикаторы и эталон детали. В составе прибора может быть устройство для перемещения детали относительно опорных поверхностей или образцового перемещения индикаторов. Измерительные базы детали соприкасаются при работе прибора с его опорными элементами. Индикаторы устанавливают на корпусе, скалке или другом устройстве. Измерения выполняются относительным методом, показания индикаторов при соприкосновении их щупов с поверхностями эталонов устанавливают на “нуль”.

С помощью прибора (рис. 3.61) измеряют диаметральные размеры юбки поршня в двух сечениях с ручным поворотом детали относительно ее оси.

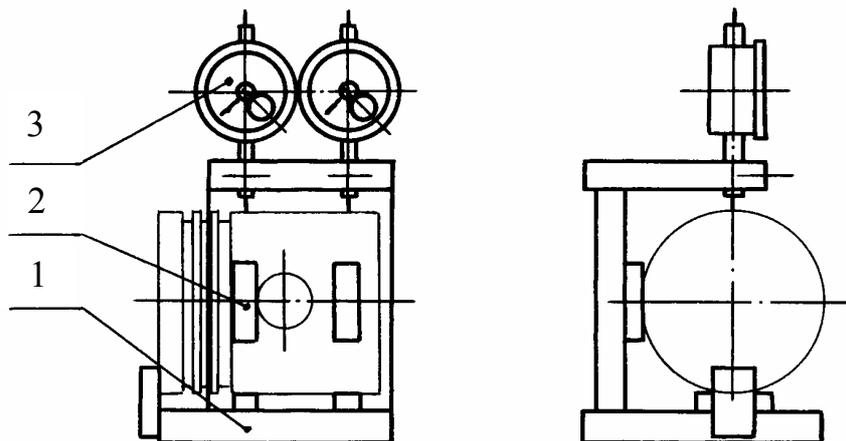


Рис. 3.61. Прибор для измерения размеров, эллипсообразности и конусообразности юбки поршня: 1 – основание; 2 – опоры; 3 – индикаторные головки

Перед измерениями детали на опорные элементы 2 прибора устанавливают эталон поршня, имеющий форму образцового цилиндра номинального диаметра, а стрелки индикаторов при этом совмещают с нулевыми значениями шкал. Затем снимают эталон и устанавливают измеряемую деталь. Измеряют размеры детали сначала в положении,

при котором ось поршневого пальца горизонтальна (положение 1), а затем в процессе поворотов детали вокруг ее оси в одну и другую сторону на угол примерно 45° (положения 2 и 3). Значение размера в правом сечении детали, отстоящем от ее торца на 5 мм, в положении 1 определяет диаметр юбки. Показания левого индикатора в этом положении детали определяют конусообразность юбки, а разность показаний каждого индикатора в положениях 1, 2 и 3 – ее эллипсообразность.

3.14.5. Измерение шероховатости

ГОСТ 2789-73 предусматривает 14 классов шероховатости и определяет такие ее параметры: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_z – высота неровности профиля по десяти точкам; R_{\max} – наибольшая высота неровности профиля; S – средний шаг неровностей; t_p – относительная опорная длина профиля, где индекс p означает числовое значение уровня профиля.

Шероховатость измеряют на базовой длине профиля, которая в зависимости от класса шероховатости имеет значения: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5 и 8,0 мм. В классах 6...12 применяется параметр R_a , в классах 1...5, 13 и 14 – параметр R_z . Наиболее полную оценку шероховатости дает параметр R_a .

Применяют качественный и количественный способы оценки шероховатости поверхности. Качественный способ основан на сравнении обработанной поверхности с образцом-эталоном или эталонной деталью. Область применения этого способа непрерывно сокращается. Количественный способ основан на измерении шероховатости приборами контактного или бесконтактного типа, которые делятся на *профилометры* и *профилографы*. Профилометры пригодны для измерения шероховатости R_z 20...10 мкм и R_a 2,5...0,02 мкм. У профилографа алмазная игла взаимодействует с зеркалом, на которое падает тонкий луч света. При перемещении по шероховатой поверхности игла с зеркалом совершают колебания. Отраженный от зеркала луч света направляется через систему других зеркал на вращающийся барабан со светочувствительной бумагой, на которой записывается профилограмма, отображающая неровности с увеличением по вертикали в 200...100000 раз и по горизонтали – в 0,5...2000 раз. Записывающее устройство дает в прямоугольной системе координат значения параметров шероховатости R_z 0,02...250 мкм и R_a 0,05...60 мкм. Профилографы применяют для измерения шероховатости поверхностей ответственных деталей или образцов шероховатости в лабораторных условиях. Профилометры определяют значение шероховатости без ее графического изображения.

Шероховатость поверхности изображают кривой пилообразной формы. В действительности профиль поверхности выглядит иначе. Отдельные неровности имеют полую форму. Угол между плоскостью основания выступа и касательной к его боковой поверхности составляет после полирования $1...3^\circ$, шлифования – 10° и точения – 20° .

Характеристика основных приборов для измерения шероховатости поверхностей приведена в табл. 3.32.

Характеристика приборов для измерения шероховатости поверхностей

Тип	Параметры	Пределы измерения, мкм	Базовые длины, мм	Кратность увеличения	Условия контроля
Профилометр мод. 170621	Ra	0,02...10	0,8...8,0	–	Цеховые
Профилометр мод. 170621	Ra	0,02...25	0,25...2,5	–	Цеховые
Профилограф-профилометр мод. 280	Ra	0,02...100	0,025	По вертикали 500...200000	Цеховые и лабораторные
Профилограф	Ra	0,02...25	0,08; 0,25	По горизонтали	
Профилометр	Rz	0,2...100	0,8; 2,5	2...1000 (9 ступеней)	

Вопросы для самоконтроля

1. В чем разница между истинным и действительным значениями измеряемой величины? 2. Каким образом выбирают средство для измерения диаметра отверстия? 3. Приведите схему прибора для измерения соосности средних коренных опор блока цилиндров относительно крайних. 4. Чем отличается профилометр от профилографа?

3.15. Термическая обработка заготовок

3.15.1. Содержание, назначение и виды

Термическая обработка ремонтных заготовок из металлов или сплавов представляет собой в общем виде множество операций, включающее нагрев заготовок, взаимодействие с насыщающей средой, выдержку при заданной температуре, механическое воздействие и охлаждение.

Цель термической обработки заключается в получении требуемой структуры, а, следовательно, необходимых физико-механических свойств материала. По степени воздействия на эти свойства термическая обработка значительно эффективнее других видов обработки.

При восстановлении деталей с помощью термической обработки подготавливают заготовки к механической обработке, снимают внутренние напряжения в них с целью исключения трещин и упрочняют поверхности.

Термическую обработку заготовок подразделяют на термическую обработку без механических и химических воздействий, химико-термическую обработку, сочетающую тепловое воздействие с изменением химического состава поверхностного слоя заготовки и термомеханическую обработку, сочетающую тепловое воздействие с пластическим деформированием материала.

3.15.2. Термическая обработка без механических и химических воздействий

Собственно термическая обработка заготовок включает отжиг I и II рода, закалку с полиморфным превращением или без него, отпуск и старение.

Отжиг I рода (гомогенизационный, рекристаллизационный и релаксационный) устраняет неоднородность, возникшую в металлах и сплавах в результате их предшествующей обработки.

Гомогенизационный (диффузионный) отжиг (рис. 3.62, а, 1) устраняет неоднородность химического состава наплавленного металла за счет протекания диффузионных процессов при высокой температуре. Чем сильнее начальная неоднородность, тем более продолжительной должна быть выдержка при указанной температуре.

Рекристаллизационный отжиг (рис. 3.62, а, 2), который включает нагрев металла выше температуры его рекристаллизации (0,4...0,5 от абсолютной температуры плавления), позволяет устранить структурную неоднородность (текстуру) и упрочнение (наклеп), вызванные предшествующим холодным пластическим деформированием, и повысить пластичность материала.

Релаксационный отжиг (рис. 3.62, а, 3) позволяет избежать трещин за счет значительного снижения внутренних остаточных напряжений, возникающих при охлаждении сварных соединений и наплавленных покрытий.

Отжиг II рода (перекристаллизационный, изотермический, нормализационный и графитизирующий) приводит сплав в структурное равновесие.

Перекристаллизационный отжиг требует нагрева металла выше температуры фазового перехода. При последующем медленном охлаждении протекают фазовые превращения и образуется мелкозернистая равновесная структура с улучшенными свойствами. При нагреве стали несколько выше первой критической точки A_{c1} происходят неполная перекристаллизация и превращение только перлита в аустенит. Такой *неполный* отжиг (рис. 3.62, а, 5) для заэвтектоидных сталей вызывает сфероидизацию цементита (отжиг на зернистый перлит) и, как следствие, снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием. При *полном* отжиге (рис. 3.62, а, 4) сталь нагревают выше точки A_{c3} , при этом образуется аустенитная структура и происходит полная перекристаллизация при охлаждении.

При *изотермическом* отжиге (рис. 3.62, а, 6) доэвтектоидную сталь нагревают на 30...50 °С выше A_{c3} , а заэвтектоидную – выше A_{c1} , выдерживают при этой температуре, быстро охлаждают несколько ниже A_{c1} и выдерживают до полного распада аустенита, затем охлаждают с любой скоростью.

Изотермический отжиг часто заменяют для легированных и высокоуглеродистых сталей полным отжигом, который требует меньшего времени.

Для сокращения продолжительности термической обработки сталь часто охлаждают на спокойном воздухе (*нормализация*) (рис. 3.62 а, 7). Нормализация, например, исправляет структуру перегретой стали сварных конструкций.

Графитизирующий отжиг применяют как для сталей, так и для чугунов. Он позволяет получать свободный углерод в виде графита благодаря распаду цементита при высокой температуре. Это снижает коэффициент трения и повышает износостойкость материала.

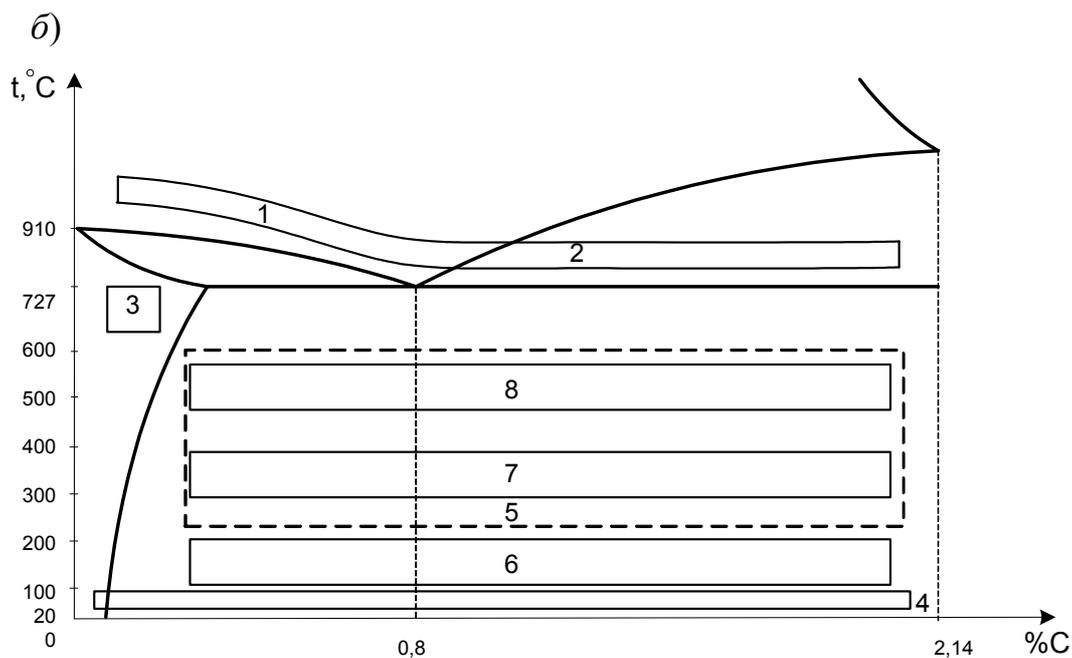
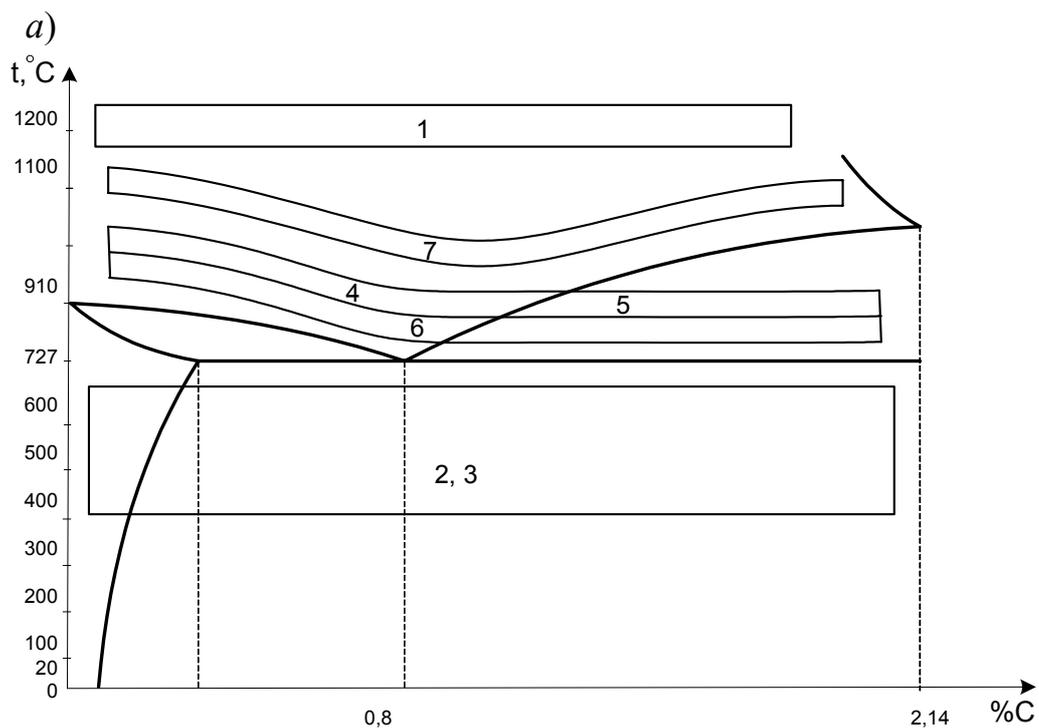


Рис. 3.62. Участок диаграммы состояния Fe – C со значениями температуры t различных видов термической обработки углеродистой стали:

a – отжиг I рода: 1 – гомогенизационный; 2 – рекристаллизационный; 3 – релаксационный; отжиг II рода: 4 и 5 – перекристаллизационный полный и неполный, соответственно; 6 – изотермический; 7 – нормализационный;

б – закалка с полиморфным превращением: 1 – полная; 2 – неполная; закалка без полиморфного превращения – 3; старение: 4 – естественное; 5 – искусственное; отпуск: 6 – низкий; 7 – средний; 8 – высокий

Закалка с полиморфным превращением реализуется в тех металлах и сплавах, в которых перестраивается кристаллическая решетка. Доэвтекто-

идные стали нагревают для превращения перлита в аустенит (полная закалка – рис. 3.62, б, 1) или сохраняют в заэвтектоидных сталях избыточный цементит (неполная закалка – рис. 3.62, б, 2). Во время ускоренного охлаждения со скоростью выше критической аустенит превращается в мартенсит. Твердость и износостойкость стали возрастают. Закалку с полиморфным превращением называют закалкой на мартенсит.

Закалка без полиморфного превращения (рис. 3.62, б, 3) происходит в тех сплавах, в которых по мере нагрева и выдержки увеличивается растворимость второго компонента и избыточная фаза растворяется в матричной фазе. Последующее быстрое охлаждение фиксирует состояние неравновесного пересыщенного твердого раствора, не характерное для низких температур. Такая закалка широко применяется для некоторых легированных сталей, алюминиевых, магниевых, никелевых, медных и других сплавов. Существенного упрочнения и снижения пластичности сплавов, подвергаемых закалке без полиморфного превращения, не наблюдается. В последующем такая неравновесная система при комнатной температуре стремится к равновесию и выделению избыточной фазы (*естественное старение* – рис. 3.62, б, 4). Некоторый подогрев закаленного сплава значительно ускоряет этот процесс (*искусственное старение* – рис. 3.62, б, 5).

Закалка и частичное старение повышают твердость и прочность. Полное старение приводит сплав к двухфазному равновесному состоянию и, следовательно, к исходным свойствам.

Отпуск после закалки с полиморфным превращением переводит закаленный сплав в равновесное состояние подобно старению. Это снижает твердость и внутренние напряжения и повышает пластичность сплава. Отпуск включает нагрев закаленного сплава до температур не выше критической, выдержку и охлаждение с заданной скоростью. Различают низкий отпуск стали (150...200 °С – рис. 3.62, б, 6), средний (300...400 °С – рис. 3.62, б, 7) и высокий (500...600 °С – рис. 3.62, б, 8).

Закалка углеродистых инструментальных сталей с низким отпуском обеспечивает высокие твердость и износостойкость, сохраняя структуру мартенсита отпуска. Закалка среднеуглеродистых сталей со средним отпуском дает максимальную упругость и достаточную твердость, что необходимо для рессор, пружин и деревообрабатывающего инструмента. При среднем отпуске происходит распад мартенсита на зернистую дисперсную феррито-цементитную смесь (троостит). Закалка с высоким отпуском для среднеуглеродистых сталей обеспечивает еще большее приближение к равновесному состоянию и получение грубозернистой феррито-цементитной смеси (сорбит), имеющей достаточные прочностные свойства, высокую ударную вязкость и наилучшую обрабатываемость резанием. Поэтому закалку с высоким отпуском называют *улучшением* и применяют для ответственных деталей.

Нагрев закаленной стали до температуры, близкой к A_{c1} , приводит к близкому к равновесному состоянию и распаду мартенсита на еще более грубую, чем сорбит, феррито-цементитную структуру зернистого перлита.

В зависимости от характера охлаждения при закалке различают следующие ее виды (рис. 3.63): в одной среде (непрерывная), в двух средах, ступенчатая, изотермическая, с самоотпуском. Графики совмещены с диаграммой распада переохлажденного аустенита.

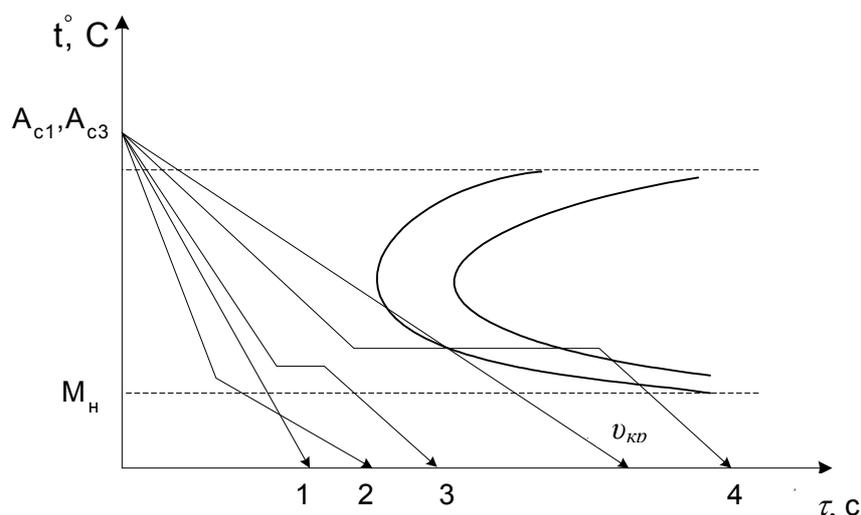


Рис. 3.63. Виды закалки в зависимости от характера охлаждения (на примере эвтектоидной стали): 1 — в одной среде; 2 — в двух средах; 3 — ступенчатая; 4 — изотермическая; t — температура; $v_{кр}$ — критическая скорость охлаждения при закалке; τ — текущее время

Непрерывную закалку ведут со скоростью выше критической в одной охлаждающей среде (рис. 3.63, 1). С целью уменьшения напряжений, остающихся в детали после закалки, перед началом мартенситного превращения закаливаемую деталь перемещают в другую среду, обеспечивающую меньшую скорость охлаждения (рис. 3.63, 2), например, из воды в масло. Вместо такой закалки для мелких деталей часто применяют *ступенчатую* закалку (рис. 3.63, 3) с охлаждением и выдержкой в расплаве солей, имеющем температуру на 20...40 °C выше точки начала мартенситного превращения, и последующим охлаждением в масле или на воздухе.

При *изотермической* закалке (рис. 3.63, 4) заготовки выдерживают до полного распада аустенита в среде с температурой, обеспечивающей получение требуемой структуры, например, троостита.

В ряде случаев, когда требуются твердая поверхность и способность воспринимать ударные нагрузки, ведут закалку *с самоотпуском*. При этом, не дожидаясь полного охлаждения детали, ее извлекают из охлаждающей среды. Оставшееся внутри детали тепло обеспечивает отпуск закаленного материала.

В зависимости от вида нагрева различают газопламенную, плазменную, лазерную, электроннолучевую, индукционную и печную закалку. Последние два ее вида широко применяют в ремонтном производстве.

При высокой температуре в результате взаимодействия металлов и сплавов с воздушной средой происходят нежелательные явления окисления и обезуглероживания. *Окисление* – это образование непрочных оксидов железа и других элементов, а *обезуглероживание* – выгорание углерода в поверхностном слое. Чем выше температура, тем интенсивнее протекают эти диффузионные процессы. Нагрев в среде инертных газов, специальных контролируемых газовых средах или в расплавах солей и металлов позволяет избежать этих явлений.

Охлаждающие среды играют важную роль при термической обработке. Так, например, при закалке используют воду, масло, водомасляные эмульсии, водные растворы солей. Наиболее простой закалочной средой является вода, однако она обладает высокой охлаждающей способностью в области мартенситного интервала и может вызвать повышенные внутренние напряжения и образование трещин.

В табл. 3.33 приведены составы солей, которые часто применяют для нагрева под закалку.

Таблица 3.33

Составы соляных смесей, применяемых для нагрева заготовок под закалку

Состав смеси	Температура плавления, °С	Рекомендуемые температурные отрезки, °С
50 % поваренной соли (NaCl) + 50 % кальцинированной соды (Na ₂ CO ₃)	560	590...900
100 % хлористого бария (BaCl)	962	1020...1350
50 % поваренной соли (NaCl) + 50 % хлористого кальция (CaCl ₂)	595	630...850
100 % поваренной соли (NaCl)	800	850...920
100 % хлористого калия (KCl)	768	820...920
100 % сильвинита (NaCl·KCl)	700	780...950

Предпочтительны такие закалочные среды, которые обладают высокой охлаждающей способностью в области значений температуры наименьшей устойчивости аустенита (500...650 °С) и пониженной в области мартенситного превращения (≤ 300 °С). Масло обладает низкой охлаждающей способностью, поэтому чаще применяется для легированных сталей, имеющих более высокую прокаливаемость, чем углеродистые.

3.15.3. Химико-термическая обработка

Химико-термическая обработка (ХТО) сочетает тепловое воздействие с диффузионным насыщением поверхности металлов одним или несколькими элементами. Она позволяет получать в поверхностном слое заготовки сплав практически любого состава с необходимыми свойствами. Диффузионное насыщение при нагреве возможно в тех случаях, когда насыщающий и насыщаемый компоненты взаимодействуют, т.е. образуют

твердые растворы или химические соединения. Повышение температуры ХТО экспоненциально повышает скорость диффузионных процессов.

Науглероживание (цементация) является одним из наиболее распространенных процессов ХТО. Поверхностный слой стали насыщают углеродом с последующей закалкой и низким отпуском, что повышает его твердость, износостойкость и усталостную прочность. Цементации подлежат углеродистые и легированные стали, содержащие до 0,25 % С (так называемые цементуемые стали – 10, 15, 20, 20Х, 20ХГТ и др.). После науглероживания содержание углерода в поверхностном слое достигает 0,8...1,0 %.

Науглероживание ведут в твердых, жидких или газообразных средах (карбюризаторах). В ремонтном производстве распространена цементация в твердом и газообразном карбюризаторе.

Углеродсодержащий порошок (сажу, древесно-угольную пыль, соду и др.) смешивают со связующим (патокой, канцелярским клеем и др.) и наносят в виде взвеси, пасты или шликера на заготовку и сушат. Толщина покрытия в 6...8 раз превышает требуемую толщину цементованного слоя.

Газовую цементацию ведут в специальных печах или агрегатах при температуре 920...950 °С, подавая в печь газ (природный газ, пропан, бутан и др.) или каплями керосин, уайт-спирит или веретенное масло. В течение 8...12 часов формируется слой толщиной 1,0...1,8 мм.

В результате цементации поверхностный слой детали приобретает структуру отпущенного мартенсита с твердостью около 60 HRC, а сердцевина остается вязкой и пластичной.

Азотирование – диффузионное насыщение поверхности металла азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости деталей.

Чаще всего азотируют среднеуглеродистые легированные стали типа 38ХМЮА, 38ХВФЮ (нитралои), в поверхностных слоях которых образуются твердые нитриды хрома, молибдена и алюминия. Твердость поверхности таких сталей после азотирования достигает 1200 HV, в то время как среднеуглеродистой стали – около 200 HV.

Как правило, перед азотированием проводят закалку с высоким отпуском (улучшением).

Цианирование – процесс одновременного насыщения поверхности металла углеродом и азотом с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности деталей.

Различают низкотемпературное (540...560 °С), среднетемпературное (820...860 °С) и высокотемпературное (920...960 °С) цианирование. При низких температурах идет преимущественно насыщение азотом, а при высоких – углеродом. Наиболее распространено цианирование в среде газов (смеси аммиака, природного газа, эндогаза и др.).

Цианируют чаще всего цементуемые легированные стали. После цианирования проводят закалку и низкий отпуск.

Борирование – процесс насыщения металла бором с целью повышения твердости и износостойкости. На поверхности сталей и чугунов формируется слой боридов FeB и Fe_2B толщиной около 0,1 мм с твердостью около 2000 HV. Борированные изделия успешно противостоят абразивному изнашиванию.

В ряде случаев после операций пластического деформирования, наплавки (например, низкоуглеродистой сварочной проволокой типа Св-08) и железнения проводят химико-термическую обработку (цементацию, цианирование или другие ее виды) с целью придания поверхности максимальных твердости и износостойкости.

Как правило, после химико-термической обработки проводят закалку с низким отпуском во избежание продавливания твердого диффузионного слоя.

3.15.4. Термомеханическая обработка

В ряде случаев эффективным способом упрочнения является *термомеханическая обработка*, сочетающая как собственно термическую обработку, так и пластическое деформирование. Для сплавов, имеющих полиморфные превращения, распространены высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) и патентирование.

На рис. 3.64 приведены примеры типовых режимов термомеханической обработки.

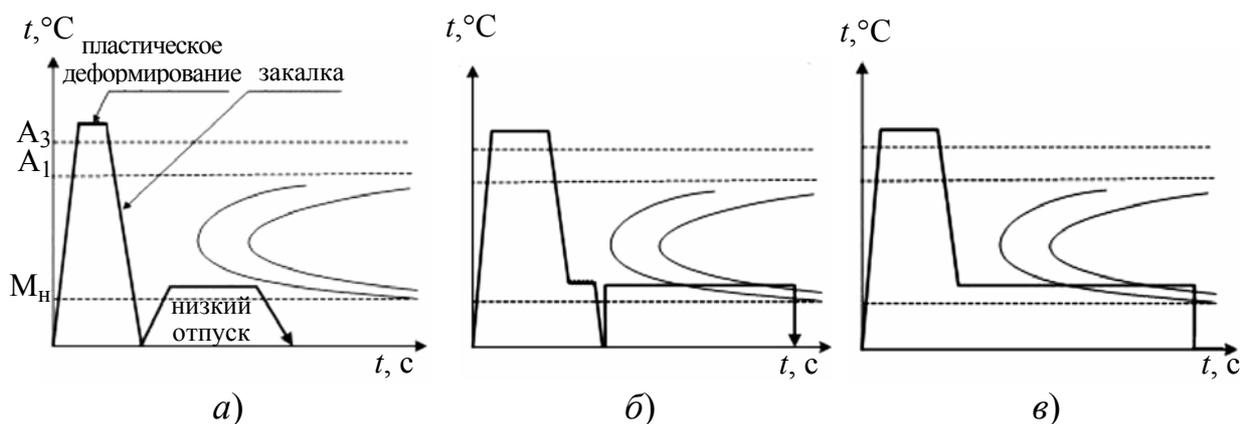


Рис. 3.64. Типичные режимы термомеханической обработки: а – высокотемпературная; б – низкотемпературная; в – патентирование

Пластическое деформирование при ВТМО протекает выше температуры рекристаллизации в аустенитной области, поэтому с целью исключения разупрочняющих рекристаллизационных процессов проводят закалку с низким отпуском.

Упрочняющий эффект при НТМО еще выше, поскольку пластическое деформирование ведут при температуре ниже температуры рекристаллизации.

В случае патентирования холодное пластическое деформирование ведут до нагрева и после закалки на троостит, что обеспечивает высокий комплекс механических свойств.

3.15.5. Термическое оборудование

Оборудование для термической обработки делят на основное и вспомогательное.

К основному оборудованию относят нагревательные печи, печиванны, закалочные баки, с помощью которых выполняют основные операции термической обработки.

Условное обозначение термических печей содержит буквы и числа. Буквы определяют вид нагрева, тип печи, среду и агрегатность (табл. 3.34), а цифры – активные размеры рабочего пространства (ширину, длину, высоту или диаметр и высоту) в дециметрах в числителе и максимальную рабочую температуру в сотнях градусов Цельсия в знаменателе.

Например, обозначение СНЗА-5,0.10.3,2/10 означает – сопротивления (электрический), камерный, с защитной атмосферой, агрегат с размерами печного пространства 500×1000×320 мм и рабочей температурой до 1000 °С.

Таблица 3.34

Буквенное обозначение печей для термической обработки

Первая буква		Вторая буква		Третья буква		Четвертая буква	
Знак	Вид нагрева	Знак	Основной конструктивный признак	Знак	Характер среды	Знак	Отдельные особенности
Г	Газовый	А	Карусельная	А	Азот	А	Агрегат
С	Сопротивление	Б	Барабанная	В	Вакуум	Л	Лабораторная
		В	Ванна	Г	Металлы	В	Вертикальная
И	Индукционный	Г	Колпаковая	З	Защитная атмосфера	М	Механизированная
		Д	Выдвижной под				
Т	Пламенный	Е	Подвесной конвейер	М	Масло	Н	Непрерывного действия
		И	Пульсирующий под	С	Соль (селитра)		
		К	Конвейерная	О	Окислительная атмосфера	П	Периодического действия
		Н	Камерная				
		П	Протяжная	П	Пар водяной – вода		
		Р	Рольганговая				
		Т	Толкательная	Ц	Цементационный газ		
		Ш	Шахтная				
		Э	Элеваторная				

Для индукционного нагрева применяют специальные генераторы и установки.

К вспомогательному оборудованию относят правильные прессы, контрольно-измерительные приборы и аппаратуру, машины для очистки деталей и др.

3.15.6. Термическая обработка в процессах восстановления деталей

При назначении режимов термической обработки учитывают ряд факторов. Чем больше легирующих элементов в стали, тем значительно смещаются критические точки и сильнее влияет термическая обработка на различные ее свойства. Поэтому при выборе температуры нагрева значения критических точек следует выбирать из марочников сталей и сплавов. Время нагрева сплава до выбранной температуры зависит преимущественно от содержания легирующих элементов, температуры нагрева, формы изделий, типа печи, способа укладки заготовок в печи. Время нагрева τ_n можно определить по эмпирической формуле

$$\tau_n = 0,1 \cdot D \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ с}, \quad (3.56)$$

где D – размерная характеристика заготовки (размер сечения), мм; K_1 – коэффициент нагревательной среды (для газа – 2, расплава соли – 1, расплава металла – 0,5); K_2 – коэффициент формы (для шара – 1, цилиндра – 2, параллелепипеда – 2,5, пластины – 4); K_3 – коэффициент равномерности нагрева (всесторонний нагрев – 1, односторонний – 4).

Вид термической обработки заготовок назначают в зависимости от их требуемых свойств.

С целью обеспечения обрабатываемости резанием заготовок необходимо получать в сталях равновесные или близкие к ним структуры, содержащие зернистый (а не пластинчатый) перлит. Если восстанавливаемые детали ранее проходили упрочняющую обработку и имеют высокую твердость, то заготовки подвергают отжигу II рода или улучшению. После такой термической обработки проводят, например, точение или нарезание рваной резьбы под напыление.

В табл. 3.35 приведены режимы термической обработки, обеспечивающие хорошую обрабатываемость резанием конструкционных сталей.

Подготовка к резанию сложнолегированных сталей и специальных сплавов имеет ряд особенностей. Например, мартенситностареющая сталь Н18К8М5 имеет наилучшую обрабатываемость резанием сразу после закалки. Последующее старение вызывает повышение твердости и снижение скорости резания в 5 раз. Такая же закономерность имеет место для хромоникелевых аустенитных коррозионно-стойких сталей, а также всех стареющих или дисперсионно-твердеющих сплавов.

Сварка и наплавка со значительным вложением тепла в заготовку в неравновесных условиях приводят к возникновению остаточных напряжений, значения которых могут достигать предела текучести. Необходимо снимать или уменьшать эти напряжения, поскольку они повышают склонность деталей к хрупкому разрушению, коррозионному растрескиванию и снижают предел выносливости. В этом случае необходим отжиг I рода. Та-

кую обработку легированных сталей, склонных к образованию неравновесных закалочных структур и повышенной хрупкости, проводят сразу после сварки или наплавки.

Таблица 3.35

Режимы термической обработки, обеспечивающие лезвийную обработку некоторых сталей

Марки сталей	Рекомендуемая обработка	Особенности структуры	Примечание
20	Нормализация	Мелкая феррито-перлитная структура	
40, 45, 40X, 40	Нормализация	Мелкая феррито-перлитная структура	Допустимо улучшение (закалка с высоким отпуском на феррит + перлит зернистый)
18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 25ХГНМТ, 25ХГНМЮА	Изотермический отжиг	Феррито-перлитная структура с частично сфероидизированным перлитом	
12ХНЗА, 20Х2Н4А	Нормализация + высокий отпуск 640...680 °С	Мелкая феррито-перлитная структура (перлит частично до 20 % сфероидизирован)	
60С2	Нормализация + высокий отпуск 650...680 °С	Мелкая перлитная структура (перлит частично сфероидизирован)	
65Г	Рекристаллизационный отжиг при 670...680 °С	Частично ($\geq 30\%$) сфероидизированный перлит	При больших объемах фрезерования и сверления время нагрева увеличивают в 1,5 раза

Термическая обработка снимает или снижает остаточные напряжения, а также восстанавливает или улучшает структуру и свойства металла в ЗТВ у сварного шва. Для низко- и среднеуглеродистых нелегированных и среднелегированных сталей используют высокий отпуск или нормализацию, для высоколегированной хромоникелевой аустенитной стали – релаксационный отжиг, а для высоколегированных хромистых сталей – высокий отпуск. Как правило, термическую обработку проводят сразу после сварки.

В электрохимических покрытиях возникают остаточные напряжения, которые могут привести к их растрескиванию или даже отслоению. После их нанесения с целью полной или частичной релаксации внутренних напряжений также проводят отжиг. Термическая обработка железных, хромовых, кобальтовых, никелевых и медных покрытий в виде нагрева до $(0,20...0,25) T_{пл}$ ($T_{пл}$ – температура плавления) приводит к значительному

снижению внутренних напряжений, а нагрев до $(0,30...0,35) T_{пл}$ – к полному их снятию.

Если при восстановлении размеров и формы деталей используют пластическое деформирование в несколько переходов, то проводят рекристаллизационный отжиг. Он обеспечивает снятие наклепа и восстановление пластичности металла, исключает образование трещин. Для углеродистых сталей температура рекристаллизационного отжига составляет $600...770$ °С. Чем выше степень легированности стали тугоплавкими элементами, тем выше эта температура. Так, например, для стали 10X18H10T она составляет $1100...1150$ °С.

Как правило, во второй половине процесса восстановления детали перед чистовой обработкой резанием ведут упрочняющую термическую обработку (закалку с отпуском). Цель обработки заключается в придании детали необходимых прочности и твердости. В табл. 3.36 приведены режимы такой обработки.

Таблица 3.36

Режимы окончательной термической обработки изделий из конструкционных сталей

Марка стали	Закалка		Отпуск		Предел прочности, МПа
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	
30	870	Вода	250	Воздух	1200
40	840	То же	250	То же	1300
45	830	То же	450	То же	550
			350		1100
			250		1150
			160		1200
50	810	То же	500	То же	800
30X	860	Масло	500	Вода или масло	900
40X	860	То же	500	То же	1000
50X	830	То же	520	То же	1100
18ХГТ	880	То же	200	То же	900
20ХГР	880	То же	200	То же	1400
25ХГМ	860	То же	200	То же	1200
30ХГТ	850	То же	200	То же	1500
40ХС	900	То же	540	Масло	1250
30ХМА	880	То же	540	Вода или масло	950
40ХН	820	Вода или масло	500	То же	1000
20ХНЗА	820	Масло	500	То же	950
30ХГСА	880	То же	540	То же	1100
40ХНМА	850	То же	620	То же	1100
38ХМЮА	940	То же	640	То же	1000

Легированные стали при закалке и отпуске предпочтительнее охлаждать в масле, а углеродистые – ввиду их низкой прокаливаемости – в воде.

Термическая обработка чугуновых изделий во многом аналогична обработке стальных заготовок.

Термическая обработка коленчатого вала из высокопрочного чугуна ВЧ70 двигателя ВА3-2103 включает нагрев ТВЧ, охлаждение раствором из спрейера и отпуск. Частота токов при нагреве 10 кГц, отдаваемая мощность 10 кВт, время нагрева 14 с. Зазор между шейкой вала и индуктором 1,5...2,0 мм. Для исключения закалки галтелей вала под витки индуктора устанавливают ферритовые вставки. Для охлаждения применяют 2 %-ный раствор тосола ОЧЗ или 2 %-ный раствор нитрита натрия. Отпуск при температуре 160...190 °С длится в течение 2 ч. Хранение вала без отпуска не допускается.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью ведут термическую обработку восстанавливаемых деталей?
2. Каким образом повышают твердость поверхностей?
3. Как в условиях ремонтной мастерской организовать цементацию деталей?
4. Какое оборудование необходимо для закалки заготовок?

3.16. Восстановление свойств деталей

Кроме геометрических параметров у деталей восстанавливают основные эксплуатационные свойства: износостойкость, статическую и циклическую прочность, жесткость и герметичность.

3.16.1. Износостойкость трущихся элементов

Износостойкость поверхностей трущихся деталей определяется их способностью оказывать сопротивление изнашиванию. В ряде случаев свойство является определяющим, от которого зависит послеремонтная наработка агрегата с восстановленными деталями.

Если восстановление деталей предусматривает нанесение покрытий, то одна или реже обе поверхности пары трения создают из материалов, отличающихся от материалов новых деталей. В этом случае используют принцип “местного качества”, который заключается в экономически эффективном создании необходимых свойств в ограниченном объеме или поверхностном слое детали. Износостойкость поверхностей восстанавливают вместе с восстановлением геометрических параметров детали. Процесс включает нанесение покрытия из необходимого материала, термическую и механическую обработку заготовки и использование приработочных материалов. При этом учитывают совместимость материалов трущейся пары, обеспечивают необходимые состав и строение их поверхностных слоев и низкое сопротивление сдвигу на границе раздела трущихся тел. Последнее требование выражается правилом положительного градиента механических свойств по глубине поверхностного слоя

$$d\tau / dz > 0, \text{ Н}\cdot\text{м}^{-3}, \quad (3.57)$$

где τ – разрушающее напряжение сдвига, Па; z – значение координаты, направленной в глубь слоя перпендикулярно поверхности трения, м.

Совместимость материалов трущихся поверхностей заключается в исключении их схватывания при нарушении сплошности масляного слоя. Материалы пары трения подбирают таким образом, чтобы они при трении

образовывали на границе раздела поверхностей легко разрушающиеся адгезионные связи. Наиболее работоспособны пары, в контакте трения которых имеют место упругие деформации, а один из материалов имеет низкое сопротивление сдвигу. Твердый материал сочетается с мягким, у которого температура рекристаллизации ниже рабочей температуры поверхности трения. Твердый материал сочетается с твердым (сочетание пар из азотированной, хромированной или закаленной сталей). Нанесение прирабочных покрытий (в том числе медьсодержащих материалов на одну из поверхностей) повышает их надежность. Следует избегать сочетания мягких материалов, а также сочетания одноименных материалов. При незначительных перегрузках в таких парах образуются очаги схватывания и происходит глубинное вырывание фрагментов материалов с их налипанием на поверхности трения.

По однородности строения покрытия могут быть *гомогенными* (однофазными) и *гетерогенными* (многофазными). Гетерогенные покрытия обладают более высокими триботехническими свойствами, чем гомогенные. Фазы гетерогенного покрытия отличаются друг от друга химическим составом и свойствами и разделены границами. Непрерывная фаза по объему покрытия или его слою является матрицей, а фаза из отдельных фрагментов является армирующей, или упрочняющей. Высокой износостойкостью обладают покрытия, структура (типа Г. Шарпи) которых состоит из частиц твердой фазы, удерживаемых в прочной стальной, никелевой или кобальтовой матрице. Наиболее часто роль матричной фазы играют твердые растворы металлов, а упрочняющей – высокотвердые химические соединения: карбиды, бориды, нитриды, оксиды и интерметаллиды.

Гетерогенные покрытия получают:

- созданием композиций из эвтектики и избыточных фаз. Такие покрытия образуются при наплавке, они имеют наибольшее применение;
- образованием метастабильных пересыщенных твердых растворов с последующей термической обработкой. Дисперсионное твердение (выделение вторичных высокотвердых фаз) при этом дополнительно упрочняет наплавленные покрытия;
- сохранением исходного композиционного строения частиц в покрытии за счет их неполного плавления, например, при напылении;
- введением дисперсной упрочняющей фазы в электрохимическое покрытие при его нанесении.

Износостойкостью покрытий можно управлять, изменяя их *пористость*. Поры играют роль резервуаров для смазочного вещества, которое по мере нагрева в начальный период работы агрегата поступает в зону трения, способствуя восстановлению граничной пленки. Наиболее просто пористые покрытия получают при газотермическом напылении.

Износостойкость деталей в паре трения повышают *финишной антифрикционной безабразивной обработкой* (ФАБО), суть которой состоит в том, что поверхности трения покрывают тонким слоем латуни, бронзы или меди в присутствии масляно-глицериновой смеси.

Стальные или чугунные поверхности обезжиривают и покрывают глицерином или его раствором. Затем наносят покрытие путем натирания медного сплава стержнями, щетками или вращающимися сферическими или цилиндрическими роликами. Толщина антифрикционного слоя латуни на стали при ФАБО составляет 2...3 мкм, бронзы и меди – 1...2 мкм. Шероховатость исходной поверхности должна быть около Ra 2,5 мкм. Как правило, ФАБО несколько уменьшает шероховатость поверхности, однако при начальной шероховатости Ra 0,63...0,08 мкм ФАБО не изменяет ее значение.

Покрытия, нанесенные ФАБО, обеспечивают положительный градиент механических свойств (мягкая пленка покрывает более твердую поверхность), увеличивают площадь фактического контакта и снижают силу трения, пластифицируют поверхность трения.

3.16.2. Восстановление статической прочности деталей

Прочность детали – это ее способность сопротивляться разрушению.

Повреждения, приводящие к снижению прочности стенок корпусных деталей и панелей, представляют собой ослабление сечений из-за изнашивания, а также трещины, разрывы и пробоины по причине усталости или аварийных нагрузок. Применяют наплавку, установку и закрепление накладок и ДРД, а также сварку трещин.

При восстановлении толщины нагруженных деталей наплавкой и закреплением накладок сваркой учитывают материал детали, размеры повреждения и другие факторы. Состав материала при сварке в большой степени определяет прочность сварного соединения. Химический состав электродов или прутков должен быть примерно таким, как и состав металла детали, или отличаться в сторону увеличения доли легкоокисляющихся элементов.

Трещины устраняют сваркой, установкой стяжных вставок и нанесением полимерных композиций. На пробоины стенок устанавливают металлические накладки, которые закрепляют сваркой или клеем.

Нанесение клеевых полимерных композиций отличается простотой, небольшой трудоемкостью и не требует сложного оборудования. Наиболее распространены в ремонте композиционные материалы на основе *эпоксидных смол*. Последние являются полимерами, содержащими в своих молекулах эпоксидные группы $\text{C}_2\text{H}_2 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_2$, которые обладают высокой реакционной способностью.

Сырьем для производства эпоксидных смол служат газообразные продукты нефтепереработки – дифенилонпропан и эпихлоргидрин. Смолы представляют собой вязкие жидкости, свойства которых приведены в табл. 3.37.

Таблица 3.37

Основные эпоксидно-диановые смолы

Марка	Средняя молекулярная масса	Содержание эпоксидных групп, % массы
ЭД-14	540...620	13,9...15,9
ЭД-16	480...540	16,0...18,0
ЭД-20	390...430	19,9...22,0
ЭД-22	не более 300	21,1...23,5

Наибольшее применение получила смола ЭД-16. Смолы ЭД-20 и ЭД-22 имеют меньшую вязкость и применяются для заделки узких трещин. Последние смолы обладают большими прочностью при изгибе и ударной вязкостью, но значительно уменьшают свой объем при отверждении, что приводит к снижению прочности их соединения с металлом.

Неотвержденные эпоксидные смолы легко растворяются в органических растворителях (ацетоне, толуоле и др.) и в таком состоянии имеют ограниченное применение. Ценные физико-механические свойства они приобретают в отвержденном состоянии.

Отвердители смол делятся на две группы – холодного (16...20 °С) и горячего (100...200 °С) отверждения.

К первой группе относят полиэтиленполиамин (ПЭПА), этилендиамин, гексаметилентриамин и др.

Во вторую группу входят ангидриды декарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.), ароматические амины (триэтаноламин, метафенилендиамин и др.) и амины кислот (дициандиамин). Амины и кислоты повышают теплостойкость и прочность смол.

Характеристика наиболее распространенных отвердителей для смолы ЭД-16 приведена в табл. 3.38.

Таблица 3.38

Характеристика отвердителей

Отвердитель	Содержание в композиции, % массы	Температура плавления, °С	Температура отверждения, °С
ПЭПА	9,0...12,6	–	20...120
Гексаметилендиамин	9,0...13,5	42	20...120
Малеиновый ангидрид	27...40	63...64	120...150
Фталевый ангидрид	43...62	132	120...180
Дициандиамин	7...8	200...205	180...200

Режимы отверждения некоторых эпоксидных составов приведены в табл. 3.39.

Таблица 3.39

Режимы отверждения эпоксидных составов на основе
эпоксидной смолы ЭД-16

Отвердитель	Температура отверждения, °С	Минимальное время отверждения, ч
Полиэтилен-полиамин	20	24
	40	8...10
	60	2...3
	80	1...1,6
	100	1
Фталевый ангидрид	15	20
	30	15
	50	10
	100	7
	180	0,5
	200	0,5

Пластификаторы добавляют для придания эпоксидной композиции эластичности, потому что отвержденные смолы хрупкие и не выдерживают вибраций и ударов. Жидкие пластификаторы снижают начальную вязкость состава, повышают его жизнеспособность (период времени, в течение которого сохраняются исходные технологические свойства), облегчают введение в него наполнителей, снижают теплостойкость и склонность к старению. В качестве пластификаторов используют высокомолекулярные малолетучие жидкости – дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат, трикрезилфосфат, низкомолекулярные полиамидные смолы Л-18, Л-19 и Л-20.

Наполнители в виде тонкоизмельченных порошков вводят в эпоксидную композицию для снижения внутренних напряжений, уменьшения усадки, лучшего заполнения зазоров, регулирования вязкости, повышения электро- и теплопроводности и снижения стоимости состава.

Виды и массовая доля некоторых наполнителей в составах приведена в табл. 3.40.

Таблица 3.40

Рекомендуемое количество наполнителей (% от массы смолы)
для приготовления эпоксидной композиции

Наполнитель	ЭД-16	ЭД-20
Железный порошок	200	160
Графит	80	40
Алюминиевая пудра	25	20
Бронзовая пудра	130	80
Кварцевая мука	230	150
Портландцемент	200	120
Измельченный асбест	100	85
Белая сажа	–	35
Фарфоровая мука	150	145

Эпоксидная композиция, например, состава (массовые части) – ЭД-16 (100), ДБФ (15), железный порошок (160) и ПЭПА (10) – обладает такими свойствами: предел прочности при сжатии 54...60 МПа, при изгибе – 40...45 МПа, твердость по Бринелю 120...150 МПа, ударная вязкость 4,0...5,0 кДж/м² и теплостойкость по Мартенсу 60 °С.

Процесс приготовления эпоксидной композиции следующий. Смолу разогревают при температуре 60...70 °С до жидкого состояния и в нее вводят необходимое количество пластификатора. После тщательного перемешивания веществ в смесь вводят наполнитель и непосредственно перед употреблением – отвердитель. Композиция должна быть использована в течение последующих 25...30 мин.

Эпоксидные композиции относят к термореактивным пластмассам, которые при нагревании переходят в неплавкие и нерастворимые вещества. Токсичная во время приготовления композиция становится безвредной после ее полного отверждения.

Эпоксидные композиции применяют для заделки трещин и пробоин в стенках корпусных деталей, аккумуляторных батареях и электроизолирующих деталях, для заделки трещин в стенках баков и радиаторов, герметизации мест сварки или пайки, а также для нанесения покрытий на внутренние трущиеся поверхности втулок и вкладышей, изношенные шейки валов или опоры подшипников.

3.16.3. Восстановление усталостной прочности

Вращающиеся валы, детали подвесок и панели кузовов воспринимают циклические нагрузки, которые приводят к потере усталостной прочности и разрушению.

Усталостные повреждения развиваются с поверхностного слоя, поэтому предел выносливости в отличие от других прочностных характеристик (пределов упругости, текучести и др.) во многом зависит от состояния поверхности детали. Усталостные повреждения возникают в виде микротрещин, которые превращаются в макротрещины.

Усталостному изнашиванию или разрушению наиболее подвержены коленчатые валы. Основные способы повышения их усталостной прочности включают локализацию неопасных трещин, уменьшение шероховатости поверхности и создание наклепа в поверхностном слое.

Трещины, отнесенные к разряду неопасных, подлежат разделке по всей длине абразивным кругом для образования канавки радиусом 1,5 мм и глубиной 0,2...0,4 мм, т.е. заведомо меньшей, чем глубина залегания трещины. Острые кромки притупляют по периметру. Трещина не развивается при эксплуатации детали, если в зоне канавки будет создан наклеп. Ложе канавки упрочняют виброударным инструментом в течение 5...8 с для создания сжимающих напряжений. Наклеп производят с помощью пневматического инструмента (марок 57, КМП-14М, КМП-2М) с энергией удара 2,5...5,0 Дж. Местное упрочнение является эффективной мерой по упроч-

нению слоя после снятия поврежденного металла в зоне концентраторов напряжений.

Полирование участков деталей, на которых могут появиться трещины, повышает усталостную прочность деталей.

Усталостную прочность восстанавливаемых деталей повышают наклепом за счет поверхностного пластического деформирования: обкатыванием, дробеструйной обработкой, центробежной обработкой, чеканкой и алмазным выглаживанием. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности элементов деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и электролиза.

Наибольшее применение получило *обкатывание* роликами.

Предел выносливости коленчатого вала двигателя Д-50 повышается в 1,57...1,67 раза в результате обкатывания галтелей профильным подпружиненным роликом, изготовленным из твердого сплава Т15К6. Усилие упрочнения составляет 7,5...11,0 кН, ось ролика с осью детали образует угол 36 °.

Дробеструйная обработка применяется для увеличения усталостной прочности элементов сложных деталей (шатун, рессорных листов, деталей сварных соединений). Механические дробеметы обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии, чем пневматические, они позволяют регулировать скорость полета дроби. Дробеструйной обработке подвергают также основания зубьев шестерен, коромысла клапанов, звенья цепей, поворотные кулаки и другие детали. Упрочнение наклепом увеличивает срок службы сварных швов в 4 раза, а крупномодульных зубчатых колес – в 15 раз.

Наклеп *ротационным* упрочнителем применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Процесс ведут на токарном станке с помощью приспособления (см. рис. 3.50). К повышению усталостной прочности на 30...60 % приводят увеличение скорости обода упрочнителя и времени обработки.

Эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их *чеканка*. Однако обработка пневматическим молотком приводит к увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям высокие износостойкость и усталостную прочность. С увеличением силы выглаживания высота микронеровностей уменьшается до определенного предела, а затем может несколько возрасти за счет перенаклепа поверхности и ее разрушения. Усталостная прочность при этом повышается более чем в два раза.

После алмазного выглаживания поверхностные слои приобретают более однородное строение, резко сокращается число поверхностных дефектов и концентраторов напряжений.

Предел выносливости деталей с электрохимическими и детонационными покрытиями повышают с 80 до 140 МПа электронно-лучевой обработкой при локальном нагреве до 1100...1300 °С.

3.16.4. Восстановление жесткости

Характерные повреждения упругих элементов – изменение рабочих размеров и жесткости. Уменьшение жесткости, например, клапанных пружин двигателя приводит к уменьшению его мощности и перерасходу топлива.

Жесткость ψ определяют отношением силы или момента, приложенных к детали, к величине полученной деформации:

$$\Psi = \frac{P}{\delta}, \text{ Н/м или } \Psi = \frac{M}{\varphi}, \text{ Нм/рад}, \quad (3.58)$$

где P – сила, Н; M – момент, Нм; δ – осевая деформация, м; φ – угловая деформация, рад.

Восстановление винтовой пружины заключается в том, что вначале пружину растягивают на величину a (рис. 3.65), т.е. формально совмещают начальную точку графика ее жесткости с началом координат, а затем придают пружине первоначальную жесткость, т.е. вращают линию графика относительно начала координат до совмещения ее с линией графика новой пружины.

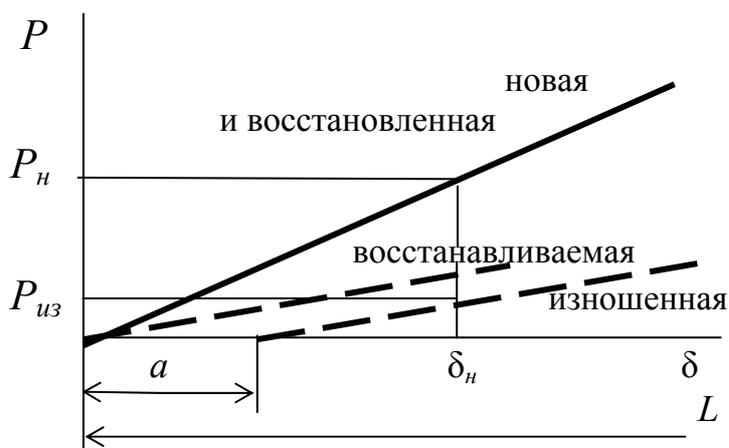


Рис. 3.65. Зависимость силы P , необходимой для осевого деформирования новой, восстанавливаемой и изношенной пружин от величины δ ; P_n и δ_n – нормативные значения силы и деформации; $P_{из}$ – сила, необходимая для деформирования изношенной пружины на величину δ_n ; a – уменьшение длины пружины за время эксплуатации; L – начальная длина пружины в свободном состоянии

Сущность восстановления жесткости заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования. Деформированию подлежит тот объем детали, в котором действуют основные рабочие напряжения (нормальные и касательные) при работе детали. С целью восстановления жесткости применяют механическую, химико-термическую и термомеханическую обработку. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений в глубь материала восстанавливаемого элемента.

Основные виды механической обработки заготовок при восстановлении жесткости: дробеструйная обработка, обкатывание и ультразвуковая обработка.

Дробеструйную обработку применяют для восстановления жесткости пружин, торсионов и рессорных листов. Предварительная химико-термическая обработка и закалка ТВЧ повышают глубину наклепа в 2,0...2,5 раза.

Для дробеструйной обработки пружин клапанов и подвески применяют стальную дробь диаметром 0,6...0,8 мм, продолжительность наклепа составляет 4...12 мин. Листовые пружины и торсионы обрабатывают стальной дробью диаметром 0,8...1,2 мм. Упрочнение дробеструйным наклепом увеличивает срок службы спиральных пружин в 2,4 раза, а рессор – в 6 раз.

Поверхности *обкатывают* вращающимися роликами, рабочий профиль которых соответствует профилю обрабатываемой поверхности. Ролики прижимают к поверхности нормальной силой, которая вызывает в точке контакта преимущественно напряжения сжатия.

Сущность *ультразвуковой* обработки заключается в воздействии на упрочняемую поверхность стальным или твердосплавным шаром, прижатым к ней и вибрирующим с частотой ~ 20 кГц. Ультразвуковой инструмент многократно пластически деформирует поверхность незначительной статической силой в условиях трения скольжения. Среднее давление, создаваемое в поверхностном слое детали, в 3...9 раз меньше, чем при обкатывании шариком, но большая доля энергии затрачивается непосредственно на искажение кристаллической решетки. Ультразвуковая обработка по сравнению с другими способами пластического деформирования дает наибольшее изменение свойств поверхностного слоя: улучшение шероховатости с Rz 20...6,3 мкм до Rz 0,8...0,4 мкм и формирование остаточных напряжений сжатия до 1100...1200 МПа.

Химико-термическая обработка при восстановлении жесткости пружин обеспечивает глубокую прокаливаемость материала и заключается в нагреве заготовок со скоростью 225...275 °C/с до температуры 880...920 °C в порошковой смеси дисперсностью 20...50 мкм. Смесь содержит компоненты (% массы): феррованадий, ферросилиций, феррохром, ферромарганец и ферромolibден – по 10...14; ферротитан и алюминий – по 2...8; графит – остальное. Далее следует охлаждение в масле. На шлифе витка восстановленной пружины видны две зоны – мелкодисперсного мартенсита твердостью до 65 HRC и сорбита отпуска твердостью до 45 HRC. Наличие в поверхностном слое такого мартенсита снижает тенденцию развития усталостных трещин, а также замедляет развитие диффузионных процессов и релаксацию напряжений. До глубины слоя 0,8 мм формируются остаточные напряжения сжатия.

Применяют комбинированную обработку нагревом и пластическим объемным деформированием путем обкатывания.

Термомеханическое восстановление упругих элементов впервые разработано в Беларуси. Высокотемпературная механическая обработка, свя-

занная с температурой нагрева заготовки выше температуры рекристаллизации, приводит к деформированию аустенита, а низкотемпературная происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации, что приводит к деформированию мартенсита. Контроль жесткости упругих элементов заключается в измерении осадки или угла поворота и сравнении их с нормативными значениями при приложении заданного усилия или момента, соответственно.

3.16.5. Герметизация стенок и стыков

Герметизация – это обеспечение непроницаемости стенок или стыков деталей.

При восстановлении деталей чаще применяют герметизирующие (разделительные) материалы, которыми заполняют поры в стенках или зазоры в контакте деталей. Разделительные материалы исключают контакт несовместимых сред – герметизируемой и окружающей.

Стык уплотнения должен представлять собой неоднородное тело с градиентом деформационно-прочностных характеристик. Простейшая модель такого стыка (рис. 3.66) представляет собой трехслойный элемент, обладающий свойствами жидкости, вязкоупругой среды и твердого тела. Деформацию стыка $\varepsilon(\tau)$ можно представить в виде

$$\varepsilon(\tau) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3, \quad (3.59)$$

где $\varepsilon_1 = \sigma\tau/\eta$ – деформация ньютоновской жидкости; σ – напряжение, Па; τ – время, с; η – вязкость, Па·с; $\varepsilon_2 = \sigma I/\psi(\tau)$ – замедленная упругая деформация; $I = 1/G$ – податливость; G – модуль упругости при сдвиге, Па; $\psi(\tau)$ – функция замедленной упругости; $\varepsilon_3 = \sigma/E$ – упругая деформация Гука; E – модуль Юнга, Па.

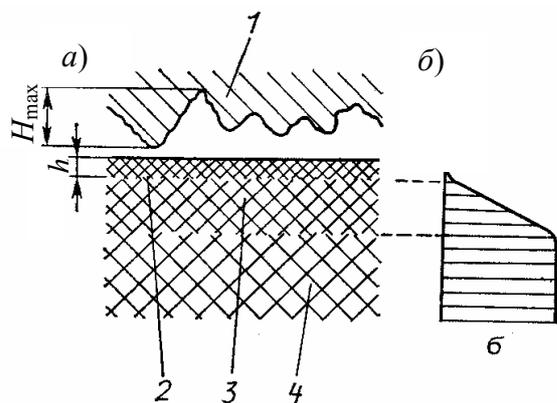


Рис. 3.66. Модель трехслойного герметизирующего элемента: *a* – устройство стыка; *б* – эпюра распределения давления (σ) в стыке; 1 – сопрягаемая деталь; 2, 3 и 4 – участки герметизатора, обладающего, соответственно, свойствами жидкости, вязкоупругой среды и твердого тела; H_{\max} – наибольшая высота микронеровностей; h – толщина слоя жидкости

Толщина слоя жидкости, обеспечивающей герметичность, составляет 0,1...60 мкм в зависимости от шероховатости сопряженной детали.

В наибольшей мере требованиям, предъявляемым к герметизирующим материалам, отвечают полимерные герметики. Полимеры – химически стойкие, непроницаемые для многих сред материалы. По ряду показа-

телей (прочности, упругости, вязкости) они занимают промежуточное место между жидкостью и твердым телом.

Герметики – пастообразные или вязкотекучие массы на основе полимеров и олигомеров, в том числе отверждающиеся, образующие в зазоре слои, которые препятствуют утечке герметизируемых сред.

Герметики бывают терморезактивными и термопластичными.

Терморезактивные герметики необратимо переходят из исходного текучего состояния в эксплуатационное эластическое вследствие образования химических связей. К ним относятся: вулканизирующиеся материалы на основе каучуков; составы на основе олигомеров с реакционными группами OH, COOH, SH, NCO и др.; анаэробные герметики на основе смол акрилового или метакрилового ряда, полимеризующиеся при отсутствии кислорода в зазорах соединений.

Термопластичные герметики обратимо переходят из исходного вязкотекучего в пластическое или высокоэластическое состояние. Они делятся на невысыхающие и высыхающие.

Невысыхающие герметики получают из высоко- и низкомолекулярных каучуков (полиизобутиленового, бутилкаучука, этиленпропиленового и др.), полностью насыщенных или с малым количеством двойных связей в молекулах. Невысыхающий герметик УН-01 выпускают на основе полиизобутиленового каучука, а герметики 14НГ-1 и 14НГ-2 – на основе этиленпропиленового каучука.

Для уплотнения стыков в узлах машин выпускают жидкие уплотняющие прокладки.

Жидкие уплотняющие прокладки ГИПК (Государственного института полимерных клеев) не “прикипают” к уплотняемым соединениям, а после разборки узлов легко удаляются с поверхности разъема. Удельный расход материала составляет 200...400 г/м².

Высыхающие герметики представляют собой в исходном состоянии растворы эластомеров в органических растворителях. После улетучивания последних они переходят в эластическое состояние, которое сохраняется в эксплуатации. Высыхающие герметики готовят на основе высокомолекулярных вулканизирующихся синтетических каучуков (бутадиен-стирольных, бутадиен-нитрильных, полихлоропреновых и др.), а также термоэластомеров в сочетании со смолами.

По признаку отверждения различают вулканизирующиеся, полимеризующиеся и нетвердеющие герметики.

К *вулканизирующимся* относят герметики на основе тиоколов, силоксановых и фторсодержащих каучуков.

Полимеризующиеся герметики – группа анаэробных материалов. Это многокомпонентные жидкие вещества, которые при хранении на воздухе длительно сохраняют исходное вязкотекучее состояние, но быстро отверждаются при температуре 15...20 °С в зазорах порядка 0,1 мм. Неотвер-

жденные герметики легко проникают в зазоры, а после полимеризации делают соединения герметичными и прочными. Основу анаэробных герметиков обычно составляют полимеризующиеся соединения акрилового ряда. Отсутствие кислорода инициирует превращение этих соединений в пространственно сшитые полимеры. Превращение происходит с высокой скоростью, сопровождается резким увеличением вязкости композиций и снижением диффузии кислорода. В состав герметиков входят также инициаторы, ускорители и ингибиторы полимеризации, пластификаторы, загустители, красители и другие компоненты.

В России выпускают две группы анаэробных герметиков: акриловые – Анатерм и составы повышенной термической и химической стойкости – Унигерм. Диапазон их рабочих температур от -60 до $+200$ °С. Они стойки в воде, нефтяных и моторных маслах, органических растворителях, ряде кислот и щелочей.

Нетвердеющие герметики – это термопластичные пасты и мастики, переходящие при нагревании в вязкотекучее состояние. Представляют собой высоконаполненные (50...75 %) резиновые смеси на основе полиизобутилена, бутилкаучука, этиленпропиленового каучука и их сочетаний с полиэтиленом или полипропиленом.

Замазки – это герметики высокой вязкости в исходном состоянии. Верхний предел рабочей температуры ~ 70 °С. При его превышении герметик размягчается, а затем твердеет, практически лишаясь эластичности.

Мастики – высоковязкие герметики, имеющие после затвердевания умеренную вязкость и небольшую эластичность. Ограниченно применяются мастики на основе термопластичных материалов (битумов, канифоли, церезина и др.), представляющие собой твердую массу, которую перед применением переводят в жидкое состояние путем нагрева.

Компаунды имеют после затвердевания высокие диэлектрические параметры и обычно низкую эластичность. Они содержат в качестве основы эпоксидные и ненасыщенные полиэфирные смолы, кремнийорганические каустики или исходные продукты синтеза полиметакрилатов и полиуретанов. В состав компаундов входят пластификаторы, наполнители, отвердители, инициаторы полимеризации и пигменты.

Для уплотнения стыков, резьбы и пропитки стенок с течами применяют импортные материалы Локтайт серии 500. Локтайт 510 служит для уплотнения плоских поверхностей, Локтайт 542 – для уплотнения соединений гидравлических трубопроводов, Локтайт 573 – это универсальный материал для уплотнения различных поверхностей, а Локтайт 577 применяют для уплотнения трубных резьб. Герметики выпускают в виде компаундов, замазок и мастик.

Герметики в виде подвижных жидкостей с вязкостью 10...20 Па·с наносят кистью, разбрызгиванием или окунанием. Пасты, замазки и мастики вязкостью 300...400 Па·с наносят шпателем или из тюбика.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите структуру материала износостойкого покрытия. 2. Какие причины приводят к уменьшению статической прочности деталей, и как она восстанавливается? 3. Перечислите основные технологические процессы восстановления герметичности стыков и стенок. 4. Какие материалы применяют для восстановления герметичности стыков? 5. Приведите общие и отличительные признаки технологии и структуры материала деталей при восстановлении усталостной прочности и жесткости.

Лабораторная работа № 5

УСТРАНЕНИЕ ПРОБОИН В СТЕНКАХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы – изучить СТО для приготовления и нанесения полимерных покрытий, соответствующие процессы, приобрести навыки устранения повреждений в виде пробоин в ненагруженных стенках корпусных деталей.

Оборудование и материалы: вытяжной шкаф, плитка электрическая, весы, гири, посуда, зубило, молоток, шлифовальная шкурка, шпатель, стальная накладка, лоскут стеклоткани, ацетон, эпоксидная смола, пластификатор, отвердитель, наполнитель.

Порядок устранения пробоин следующий.

Изучают процесс приготовления и нанесения эпоксидной композиции (параграф 3.16.2). Изучают инструкцию по охране труда. Работы по приготовлению и нанесению композиции выполняют в вытяжном шкафу. Выбирают и рассчитывают состав композиции.

Определяют границы пробоины. Изготавливают металлическую накладку толщиной 0,5...0,8 мм из расчета, чтобы она перекрывала границы пробоины на 15...20 мм со всех сторон. Вырезают также лоскут стеклоткани, размеры которого соответствуют размерам накладки. Зачищают поверхность восстанавливаемой детали и стальной накладки, чтобы границы зачищенной поверхности детали выходили на 5...10 мм за контур накладки. На зачищенной поверхности детали делают насечки зубилом. Соприкасающиеся поверхности обезжиривают ацетоном.

Готовят эпоксидный состав. Взвешивают необходимое количество эпоксидной смолы, помещают посуду со смолой в горячую воду с температурой 60...80 °С, взвешивают нужное количество пластификатора (дибутилфталата) и вводят его в смолу при непрерывном перемешивании в течение 5 мин. Не прекращая перемешивания, вводят в состав необходимое количество наполнителя и отвердителя.

Наносят шпателем композицию на стенку детали и накладку. На магнезитовую пластмассу, покрывающую поверхность детали, накладывают стеклоткань, которую закрывают накладкой из стали с нанесенным компаундом. Накладку прикатывают роликом и оставляют соединение до затвердевания состава. Время отверждения композиции уменьшается при нагревании детали до 100...120 °С.

Содержание отчета: название и цели работы; описание СТО и материалов; порядок приготовления композиции и очередность последующих работ.

3.17. Упрочнение восстанавливаемых деталей

3.17.1. Необходимость и содержание упрочнения

Нормативные документы требуют достижения 80 %-ной послеремонтной наработки техники от наработки новых машин. Эти документы определяют состояние деталей, поступающих на сборку, значения замыкающих размеров в соединениях и другие параметры.

Восстановленная деталь входит составной частью в отремонтированный агрегат, который, в свою очередь, – в машину. В идеальном случае ресурсы частей и целого должны быть равны друг другу. Однако в реальных случаях это условие часто не выполняется. Если ресурс агрегата превышает ресурс машины, а ресурсы деталей – ресурс агрегата, то излишние ресурсы составных частей оказываются невостребованными. Чаще ресурсы составных частей машины оказываются недостаточными, что обуславливает их трудоемкую замену в эксплуатации на новые, отремонтированные или восстановленные.

Если наработка детали меньше нормативной и отстает от наработки остальных деталей агрегата, то возникает потребность в повышении долговечности элементов этой детали за счет повышения износостойкости, твердости, усталостной прочности и других свойств. В общем случае под *упрочнением* детали понимают повышение значений ее физико-механических свойств, которые являются определяющими для обеспечения надежности ремонтируемого объекта.

Все многообразие способов упрочнения деталей может быть сведено в три группы: нанесение износостойких покрытий; модифицирование слоев; пластическое деформирование материала.

Капитальный труд М.С. Поляка в двух томах на темы упрочнения деталей издан в 1995 г.

3.17.2. Износостойкие покрытия

Механизм получения износостойких покрытий с новыми структурой и химическим составом, отличающимися от показателей материала основы, рассмотрены ранее в подразделе 3.16.1. Рассмотрим примеры упрочняющей наплавки.

Наплавка *пропиткой* композиционных сплавов. На деталь устанавливают форму, которая образует над восстанавливаемой поверхностью полость, высота которой равна толщине покрытия. В эту полость насыпают крупку литого карбида вольфрама или отходы металлокерамического твердого сплава. Над крупкой укладывают куски сплава, который обладает низкой температурой плавления и хорошей смачивающей способностью. В качестве такого сплава применяют, например, марганцевый мельхиор. При

нагреве заготовки в печи до температуры, превышающей температуру плавления сплава, получают композиционное покрытие.

Наплавка *взрывом* (плакирование). На жесткое основание устанавливают восстанавливаемую деталь. Над ней располагают пластину наносимого металла, поверх которой укладывают заряд гранулированного взрывчатого вещества. Взрыв вызывает удар пластины о поверхность изделия, в результате возникает контактное давление, достигающее тысяч МПа. Металл течет вдоль восстанавливаемой поверхности, оксидные пленки при этом разрушаются и образуется прочная металлическая связь.

При наплавке взрывом практически отсутствует перемешивание основного и присадочного металлов. Процесс применяют, например, при упрочнении лопастей турбин.

Биметаллический лист из сталей 45 и Х6Ф1 получают сваркой взрывом с последующей горячей прокаткой в лист толщиной 6...12 мм. Из него изготавливают лемехи культиваторов и зубья борон.

Наплавка *самораспространяющимся высокотемпературным синтезом* (СВС). Она основана на использовании тепла, которое выделяется при химическом взаимодействии некоторых элементов с бором, углеродом, азотом, кремнием, другими металлоидами, а также с металлами. Материалы подбирают так, чтобы образовавшиеся в результате реакции вещества обладали высокими значениями энергии активации. Поэтому реакция взаимодействия протекает в локальной зоне, перемещающейся по веществу за счет теплопередачи от очага реакции.

Схема химической реакции процесса имеет вид



где a_i и b_j – коэффициенты; B_i – восстановители (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W и др.); O_j – окислители (B, C, N, Si, S, Se, Al и др.); BO – целевой продукт.

Восстановителями являются порошки металлов, а окислители находятся в твердом, жидком или газообразном состоянии. Полученный продукт представляет собой тугоплавкое соединение, которое при температуре процесса находится в твердом состоянии. Химическое взаимодействие протекает в конденсированной фазе даже в том случае, когда окислитель находится в газообразном состоянии.

При наплавке СВС часто получают карбиды тугоплавких металлов, которые образуют прочное соединение с основным металлом за счет плавления наружного слоя восстанавливаемой поверхности. При этом образуется композиционное покрытие на основе железа, включающее карбиды Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Fe_7C_3 , TiC, а окисленный алюминий всплывает в расплаве в виде шлака Al_2O_3 .

При *электроннолучевой наплавке* материал и поверхность детали нагреваются потоком электронов. Способ обеспечивает высококонцентрированное вложение энергии в нагреваемую поверхность.

Малый объем обрабатываемого металла и кратковременность теплового воздействия обеспечивают незначительные термические деформации соединяемых деталей. Толщина покрытий составляет от нескольких десятых миллиметра до 1,5 мм.

В последние десятилетия внимание исследователей привлечено к изучению аморфного состояния поверхностных слоев металлических сплавов, в том числе получаемых при восстановлении деталей. Эти слои характеризуются отсутствием дальнего порядка во взаимном расположении атомов и называются *металлическими стеклами*.

Металлические стекла характеризуются уникальным сочетанием электрических, магнитных, механических и химических свойств. Так, часть из них имеет удовлетворительную пластичность наряду с высокой твердостью и прочностью при растяжении, приближающейся к теоретической.

Например, твердость сплава $Fe_{80}B_{20}$ составляет 1100 HV, а предел его прочности при растяжении 3130 МПа, для сплава $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$ – 890 HV и 3330 МПа и для сплава $Fe_{80}P_{13}C_7$ – 760 HV и 3040 МПа, соответственно. В то же время эти сплавы имеют хорошую пластичность.

Металлические стекла имеют характеристики упругости (модули E и G) на 25...30 % более низкие по сравнению со свойствами сплавов в кристаллическом состоянии. Коэффициент теплового расширения части таких материалов близок к нулю. Еще одним достоинством металлических стекол является их уникальная коррозионная стойкость, в частности, устойчивость к питтингу в растворах кислот. Она объясняется наличием однородной пассивной пленки, образующейся на поверхности материала.

Применение новых промышленных ускорителей электронов с энергией 1,5 МэВ и более и мощностью 50 кВт позволяет наплавку углеродистых, легированных и жаропрочных сталей, серого чугуна и меди. Применяют наплавочные материалы в виде порошков никеля и железа: ПР-Н80Х13С2Р, ПР-Н67Х18С5Р4, ПР-Н73Х16С3Р3, ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-10Р6М5, ПГ-10Н-04, ФБХ-6-2. Толщина насыпного слоя 1...5 мм, ширина слоя 8...40 мм, мощность электронного пучка 1,5...15 кВт, скорость наплавки 8...110 мм/с.

Покрытия, полученные электроннолучевой наплавкой, содержат небольшое количество кислорода и азота, $(4...19) \cdot 10^{-3} \%$ и $(1...7) \cdot 10^{-3} \%$, соответственно. Столь низкое содержание газов в металле, наплавленном без защиты, объясняется возникающим потоком в зоне облучения порошка, состоящем из активированных газов, паров металла и ультрадисперсных частиц. Этот поток препятствует контакту расплавленного металла с воздухом и исключает поры в покрытии.

Электроннолучевая наплавка имеет высокую производительность и широкие технологические возможности. Например, по сравнению с индукционной ее производительность выше в 10...15 раз. Способ применим для наплавки любых материалов, он позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления основного металла, структуру основного и наплавленного металлов.

3.17.3. Модифицированные слои

Модифицирование поверхностного слоя материала предполагает создание его износостойкой структуры. Износостойкие слои создают за счет структурно-фазовых (физико-термических) и элементарно-фазовых (химико-термических) превращений и внедрения в трущийся слой частиц твердого материала. Износостойкие слои создают как в материале детали (если нанесение покрытия не предусмотрено), так и в материале покрытия.

Ниже приведены некоторые перспективные способы получения износостойких слоев.

Лазерная обработка применяется в двух видах.

Первый вид характеризуется фазовыми превращениями при быстром нагреве и последующем охлаждении слоя, а также за счет ударной волны из-за испарения верхних слоев металла. Химический состав поверхности при этом не изменяется. Лазерная закалка происходит вследствие локального нагрева материала в поверхностном слое детали и быстрого охлаждения этого слоя за счет интенсивного отвода тепла в материал детали. В результате на поверхности образуется закаленный слой толщиной 0,1...0,5 мм. Твердость закаленных поверхностей чугунов и углеродистых низколегированных сталей достигает 60...70 HRC с повышением износостойкости чугунов в 5 раз, а сталей – в 3...4 раза. Лазерная закалка актуальна для деталей, восстанавливаемых до ремонтного размера, когда поверхностный упрочненный слой удаляется (например, шлифованием шеек коленчатого вала или растачиванием гильзы цилиндра). Предварительно на поверхность детали наносят поглощающие покрытия – гуашь, слои оксида хрома, фосфатной пленки и др. Процесс ведут на установках с вращением детали. Лазерный луч скользит по упрочняемой поверхности, оставляя винтовую линию.

Лазерная закалка шеек коленчатых валов из высокопрочного чугуна обеспечивает глубину упрочнения 0,6...0,7 мм, упрочненная поверхность составляет 70...90 % опорной поверхности, микротвердость составляет 8,5 ГПа. Износостойкость увеличивается в 1,9...2,1 раза по сравнению с показателем неупрочненных деталей. Лазерные дорожки представляют собой винтовые линии. Режим обработки: мощность излучения 700...750 Вт, диаметр луча в зоне обработки 3,0...3,5 мм, подача луча 35...40 мм/мин, частота вращения детали 4,0...4,5 мин⁻¹. В качестве оборудования применяют непрерывный CO₂-лазер ЛГН-702.

Второй вид лазерной обработки состоит в частичном изменении химического состава поверхностного слоя (лазерное легирование) путем расплавления этого слоя и добавления легирующих элементов.

Модифицирование поверхностного слоя детали *ионно-лучевой* обработкой заключается в бомбардировке поверхности пучком ионов с энергией $\geq 10^4$ эВ и последующим объемным легированием. Процесс ведут в вакууме. При повышении энергии ионов наблюдается аморфизация материала. Обработка происходит без изменения первоначальных размеров детали. С помощью этого способа можно легировать металлы практически любыми элементами, независимо от их взаимной растворимости. Превращения происходят в слое толщиной до 0,2 мм.

Практическое применение нашла ионная *имплантация* азота или азота и хрома в материал режущего инструмента. Износостойкость при этом повышается в несколько раз. Повышается также коррозионная стойкость материала.

НИИ импульсных процессов с опытным производством (Минск) исследует процесс *соударения* потока металлических стальных частиц со стальными деталями. Обнаружено явление сверхглубокого проникновения частиц в материал детали на глубину 10...400 исходных размеров частиц. В результате материал заготовки приобретает структуру композиционного материала. Необычность явления заключается в превышении расчетного количества энергии частиц на преодоление сопротивления материала по сравнению с исходной кинетической энергией этих частиц. Принципиально важным результатом является то, что введение даже небольшого количества материала (в тысячных и сотых долях процента) увеличивает значения физико-механических свойств на десятки или сотни процентов. Стойкость металлорежущего инструмента, например, после взрывного легирования увеличивается на 40...80 %.

3.17.4. Поверхностное пластическое деформирование

Упрочнение материала при его пластическом деформировании основано на преднамеренном искажении кристаллической решетки металла в результате механического воздействия. Результат упрочнения может быть усилен термической обработкой, легированием и другими способами. Наиболее достоверно природу упрочнения объясняет дислокационная теория.

Зерна металла состоят из отдельных блоков, образующих мозаичную структуру. Оси блоков направлены друг к другу под углом в несколько угловых минут. По границам блоков скапливаются дислокации. Свойства металлов зависят от размера блоков и угла их разориентировки. Границы блоков являются областями с повышенной поверхностной энергией. Вдоль этих границ, особенно при нагреве, диффузия протекает во много раз быстрее, чем сквозь кристалл.

Пластическое деформирование характеризуется необратимым смещением блоков зерен друг относительно друга с дроблением этих блоков и изменением их формы. Различают два вида относительного смещения блоков: скольжение и двойникование. При *скольжении* смежные атомные плоскости последовательно смещаются друг относительно

но друга на один параметр решетки (рис. 3.67, а). При *двойниковании* перемещение блоков зерен сопровождается поворотом одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части (рис. 3.67, б). Смещенная часть кристалла становится зеркальным отражением неподвижной его части. Двойникование требует в два раза больше энергии, чем скольжение, при одной и той же степени деформации. Деформирование двойникованием протекает в металлах при пониженной температуре, при ударных или циклических нагрузках.

При сдвиге отдельных частей металла по поверхности скольжения образуется слой с искаженной кристаллической решеткой и мелкими осколками зерен, создающими “шероховатость” по поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению блоков. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение является *наклепом*, в результате которого предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Сдвиг в кристаллах железа происходит при касательных напряжениях 290 МПа, хотя теоретическое значение прочности составляет 23000 МПа, т.е. почти в 100 раз больше. Этот факт подтверждает наличие в кристаллах металла отклонений от его идеального строения в виде вакансий и дислокаций.

Прочность кристалла в зависимости от плотности дислокаций (их длины в единице объема материала) приведена на рис. 3.68. Наибольшая прочность достигается при отсутствии дислокаций (прочность бездефектных усов железа толщиной 0,5...2,0 мкм и длиной до 10 мм равна 13,5 ГПа). Деформирование металла приводит к увеличению числа дислокаций. Вначале, по мере увеличения плотности дислокаций, прочность кристалла уменьшается, а затем, достигнув минимального значения при некоторой критической плотности дислокаций, эта прочность начинает расти. На графике выделена зона упрочнения металлов. Рост плотности дислокаций приводит к их образованию не только параллельно друг другу, а и в разных направлениях. При этом затрудняется свободное перемещение порожденных дислокаций, появляются их скопления и петли, а границы зерен и блоков становятся преградами движения других дислокаций. Дислокации выходят на поверхность, при этом изменяются внутренние напряжения.

Однако максимальный предел прочности, который обеспечивают существующие способы упрочнения, составляет не более одной трети от теоретической прочности.

Все способы поверхностного пластического деформирования (ППД) в зависимости от вида деформирующего инструмента и характера контакта с упрочняемой поверхностью подразделяются на три группы: статические, динамические и комбинированные. При их выборе учитывают форму и

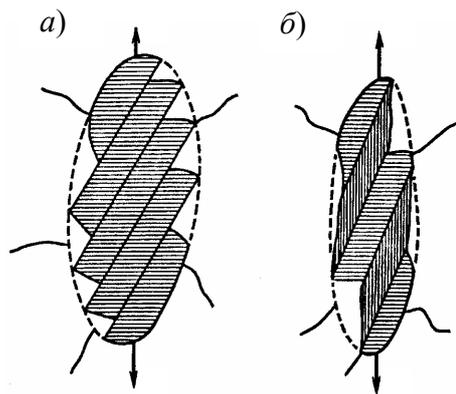


Рис. 3.67. Перемещение атомных слоев при пластическом деформировании материала: а – скольжением; б – двойникованием

размеры детали, ее прочность и жесткость, требования к точности и степени упрочнения и тип производства.

Статические способы ППД рабочих поверхностей деталей: обкатывание, раскатывание и дорнование с применением мерного или регулируемого инструмента.

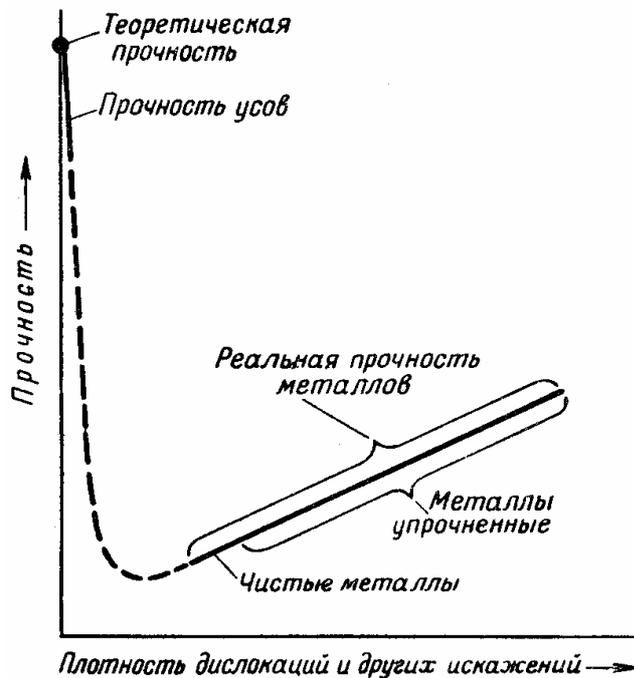


Рис. 3.68. Зависимость прочности материала от плотности дислокаций и других искажений

металлической или стеклянной дробин) или специального инструмента на упрочняемую поверхность. Процессы применяют для упрочнения различных деталей: пружин, рессор, гребных винтов, нервюр и лонжеронов самолетов и др.

Сущность упрочняющей чеканки, например, заключается в том, что по упрочняемой поверхности наносят удары с помощью специального приспособления. При этом исходная твердость повышается на 30...50 %, а глубина наклепа доходит до 3 мм. Инструмент состоит из ударника с бойком с профильным радиусом 3...5 мм. Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Комбинированные способы упрочнения ППД объединяют статические или динамические способы с химическими или термическими воздействиями.

Основной недостаток современных композиционных материалов заключается в несовершенстве переходного слоя “матрица – упрочняющий компонент”. Использование самоорганизующихся технологий получения композиционных материалов позволит устранить этот недостаток. Следует предположить, что структура перспективных материалов будет подобна структурам живой природы.

Деформирующими элементами являются шарики или ролики, которые находятся в непрерывном контакте с заготовкой и оказывают на нее постоянное давление.

Обкатывание крупных резьб на валах уменьшает до двух раз износ резьбовых пар на машинах, работающих в условиях большой запыленности. Долговечность бронзовых или чугунных гаек при работе с такими валами повышается на 35...40 %. Обкатывание роликами зубьев у их оснований повышает предел выносливости на базе 2 млн циклов не менее чем на 40 %.

Динамические способы ППД включают ударные виды воздействия деформирующих элементов в виде сыпучего рабочего тела (металлической или стеклянной дробин) или специального инструмента на упрочняемую поверхность.

Огромные перспективы раскрываются при создании материалов на базе замкнутых углеродных молекул (фуллеренов). Развитие самоорганизующихся технологий позволит создавать сплавы, легированные в неравновесных условиях замкнутыми молекулами углерода, с достижением уникальных механических свойств покрытий различного назначения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие причины обуславливают необходимость упрочнения элементов восстанавливаемых деталей? 2. Какие способы применяют для упрочнения поверхностей деталей? 3. Какие меры применяются для повышения износостойкости и усталостной прочности восстанавливаемых элементов? 4. За счет чего пластическое деформирование материала улучшает ряд свойств восстанавливаемых деталей?

3.18. Восстановление типовых деталей

Разнообразные по функциям и исполнению машины становятся однородными на уровне деталей. Анализ деталей по форме, материалам, размерам и служебному назначению показывает, что они могут быть отнесены к ограниченному числу типов. Для однотипных деталей разрабатывают типовые технологические процессы восстановления. Каждому типу деталей, как правило, соответствует свой участок восстановления, работающий по типовой технологии. Этот вид унификации получил наибольшее распространение в ремонтном производстве.

Рассмотренные ниже детали (корпусные, валы, гильзы и стержни с отверстиями) составляют 60...80 % массы агрегата. Их техническое состояние в наибольшей мере определяет надежность отремонтированных агрегатов.

3.18.1. Корпусные детали

К корпусным деталям относят станины, блоки и головки цилиндров, картеры сцеплений, крышки распределительных шестерен, корпуса масляных и водяных насосов и др. Материал корпусных деталей, полученных из отливок – серый чугун (СЧ18), алюминиевый (АЛ4) или цинковый (ЦАМ) сплавы. Наиболее распространен первый вид материала.

Корпусные детали ориентируют движущиеся детали агрегата при его работе. Отличительные признаки корпусных деталей: коробчатая форма, необходимая для образования закрытого рабочего объема для размещения различных механизмов агрегата; жесткие стенки, подверженные статическим и динамическим нагрузкам с оребренными приливами и бобышками, в которых выполнены гладкие и резьбовые отверстия или прямолинейные направляющие; наличие длинных отверстий, выполненных в собранных деталях (в том числе из разных материалов), когда плоскость соединения проходит через ось отверстий; наличие стыковых плоскостей; высокая точность размеров, формы и расположения основных цилиндрических и плоских поверхностей.

Основные повреждения корпусных деталей: трещины в стенках, обломы, коробление или износ стыков, разрушение резьбы, деформация или

износ направляющих и отверстий, коррозия. Детали с трещинами, проходящими через приливы с точными отверстиями, подлежат выбраковке.

В корпусных деталях восстанавливают прочность и герметичность стенок и геометрическую точность элементов.

Одна из наиболее сложных в технологическом отношении корпусных деталей – это блок цилиндров двигателя, который на операциях изготовления собирается с крышками коренных подшипников и картером сцепления. Эта сборочная единица не разуккомплектовывается при эксплуатации и ремонте. Точность размеров, формы и расположения стыковых поверхностей и отверстий оказывают решающее влияние на долговечность отремонтированного агрегата, поэтому эти показатели имеют малые допуски. Так, например (рис. 3.69), показатели точности элементов, определяющие надежность подшипников коленчатого и распределительного валов, имеют такие значения. Допуски на размеры отверстий соответствуют 5 или 6 качеству точности, суммарный допуск круглости и профиля продольного сечения отверстий – 6 или 7 степени, параллельность общей оси подшипников распределительного вала относительно крайних отверстий в коренных опорах – 8 или 9 степени, соосность средней коренной опоры относительно крайних – 5 или 6 степени. Шероховатость обработанных отверстий Ra 0,63 мкм.

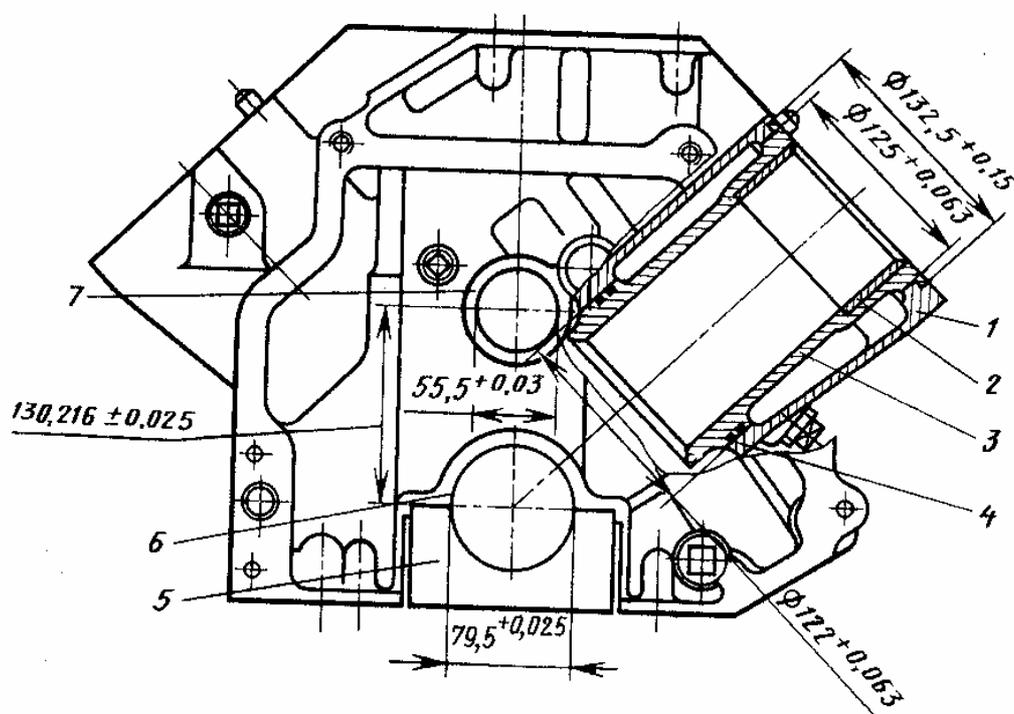


Рис. 3.69. Сборочная единица блок цилиндров с гильзами и втулками двигателя с рабочим объемом 5,5 л: 1 – блок цилиндров; 2 – вставка гильзы; 3 – гильза цилиндра; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – крышка коренного подшипника; 6 – поверхность коренной опоры; 7 – втулка распределительного вала

Схема технологического процесса восстановления корпусной детали следующая: предварительная механическая обработка поврежденных участков детали; изготовление ДРД; сварочные (в том числе связанные с закреплением ДРД) и наплавочные работы; отжиг для снятия внутренних напряжений от сварки; напыление поверхностей; механическая обработка сварных швов; нанесение полимерных покрытий; установка ДРД, закрепляемых силами упругости, клеем и штифтами; черновая механическая обработка стыков и отверстий; нарезание резьбы номинального и ремонтного размеров и установка спиральных резьбовых вставок; чистовая механическая обработка поверхностей; отделка поверхностей; очистка; контроль восстановления.

Механическая обработка в начале технологического процесса восстановления детали служит для удаления поврежденных элементов, придания восстанавливаемым поверхностям правильной геометрической формы, разделки трещин, выполнения упоров и стыков под установку ДРД.

Трещины разделяют с помощью шлифовальной машины ИП 2002. В качестве инструмента используют армированный абразивный круг. В концах трещин высверливают отверстия диаметром 3 мм. Трещины в чугунных стенках заваривают проволокой ПАНЧ-11 или -12 или штучными электродами ЦЧ-3А. Длина участков шва равна 20...25 мм, шов проковывают. Сварочные работы на деталях из алюминиевого сплава выполняют аргонодуговой сваркой.

Сварочные и наплавочные работы связаны с вложением тепла в материал детали и вызывают большие внутренние напряжения и сопутствующие деформации. Деформации чугунных заготовок могут быть уменьшены их нагревом перед сваркой, выдержкой при температуре 600 °С во время сварки и охлаждением вместе с печью. На место обломанных приливов корпусных деталей, выполненных из алюминиевого сплава, приваривают ДРД. Корпусная деталь из алюминиевого сплава, изготовленная кокильным литьем, после сварки должна пройти термическую обработку при температуре 180 °С в течение 10 час.

В следующей части технологического процесса наносят покрытия напылением.

Трещины и пробоины в несилевых стенках детали герметизируют накладками с помощью эпоксидных компаундов на основе смол ЭД16 или ЭД20.

Основные восстанавливаемые элементы корпусной детали – это направляющие и отверстия под подшипники.

В блоке цилиндров двигателя опоры коренных подшипников представляют собой точное прерывистое по длине отверстие, выполненное одновременно как в блоке цилиндров, так и в привинченных крышках.

В ремонтном производстве апробированы такие способы создания припусков на восстанавливаемых поверхностях: установка ДРД; нанесение

эпоксидных композиций; проточное холодное железнение; газопламенная наплавка латуни; электродуговое и плазменное напыление.

Изношенные резьбы восстанавливают нарезанием резьбы ремонтного размера или заваркой отверстий с последующим их сверлением и нарезанием резьбы номинального размера или ввинчиванием резьбовых вставок в предварительно нарезанную резьбу большего диаметра.

Опоры растачивают в одном установе на специальных станках. Плоские поверхности фрезеруют или шлифуют. Поверхности направляющих проходят закалку ТВЧ.

Контрольные операции в конце процесса восстановления состоят из проверки чистоты детали, ее герметичности, размеров геометрических элементов и их взаимного расположения, шероховатости поверхностей. Размеры отверстий контролируют индикаторными нутромерами, а шероховатость – профилометрами. Взаимное расположение поверхностей измеряют индикаторными средствами. Особое внимание уделяют чистоте и герметичности масляных каналов. Герметичность детали проверяют на стенде.

3.18.2. Валы, оси

Восстановленные валы служат в машинах для передачи момента и преобразования движений (поступательного во вращательное или наоборот). Наиболее сложные детали этого типа – это коленчатые (рис. 3.70) и распределительные валы. Детали имеют такие конструктивные элементы: шейки, кривошипы, кулачки, шпоночные пазы, торцы, стыки и отверстия.

Оси в отличие от валов не передают крутящие моменты и нагружены только поперечными силами и изгибающими моментами. Оси имеют часть перечисленных конструктивных элементов, принадлежащих валам.

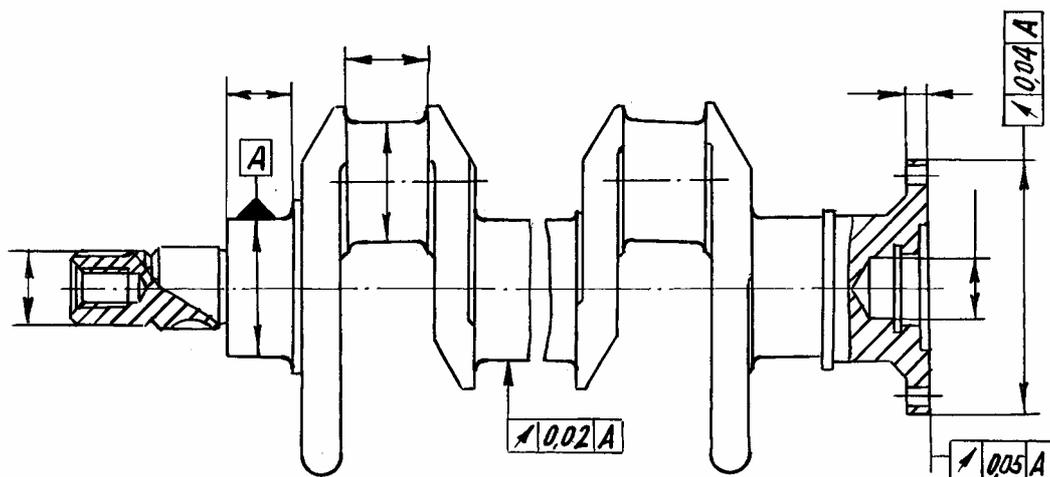


Рис. 3.70. Вал коленчатый

Коленчатые валы изготовлены из конструкционных (сталь 45) или легированных (18ХНВА) сталей или высокопрочного чугуна (ВЧ50, ВЧ70). Распределительные валы изготовлены из улучшаемых сталей 45,

40Г, 50Г или цементуемых сталей 20, 20Г. Шейки и кулачки валов закалены ТВЧ на глубину 1,5...3,5 мм до твердости 36...60 HRC.

Основные повреждения деталей: износ шеек, кулачков, пазов, отверстий и торцов, деформации, износ резьб, усталостные трещины. У деталей восстанавливают расположение, форму, размеры и шероховатость элементов, износостойкость трущихся поверхностей и усталостную прочность. При восстановлении осей нет необходимости восстанавливать последнее свойство.

Точность обработки восстановленных шеек и кулачков 5...7 качества, шероховатость поверхностей Ra 0,32...0,63 мкм, точность углового расположения кулачков и кривошипов $\pm 7,5'$, допуск на радиус кривошипа +0,05 мм, соосность шеек до 0,017 мм.

Последовательность технологических операций восстановления деталей следующая: определение места расположения и размеров усталостных трещин и принятие решения о целесообразности восстановления детали; правка; подготовка поверхностей под нанесение покрытий или установку ДРД; нанесение покрытий или установка и закрепление ДРД; термическая обработка; черновая механическая обработка; закалка шеек ТВЧ; чистовая механическая обработка; упрочнение галтелей; отделка шеек.

Чугунные детали с усталостными трещинами подлежат выбраковке. Отдельные неопасные трещины в стальных валах могут быть разделаны абразивным инструментом по всей длине с целью образования канавки радиусом 1,5...2,0 мм и глубиной 0,2...0,4 мм. Острые кромки следует притупить по периметру. Материал в контуре канавки пластически деформируют.

Правка детали необходима для придания прямолинейности ее оси, что в свою очередь позволяет уменьшить величину припусков на обработку, использовать все ремонтные размеры детали и уменьшить ее дисбаланс. Стальные валы правят под прессом с приложением статической нагрузки. Чугунные валы правят с нагревом или созданием преимущественно сжимающих напряжений в объеме одной шейки (поэлементная правка). При правке статической нагрузкой возможно появление трещин, поэтому целесообразна правка наклепом – нанесением ударов клепальным молотком по поверхностям щек.

Установки 01.01.112 и 05.12.226 “Ремдеталь” для правки, соответственно, колечатых и распределительных валов обеспечивают точность 0,02 мм. Последняя установка позволяет правку в автоматическом режиме.

В зависимости от твердости материала предварительную механическую обработку шеек ведут точением или шлифованием.

Шейки валов допускают обработку под ремонтные размеры. Ремонтный интервал шеек составляет, как правило, 0,25 мм. Восстановление деталей под ремонтные размеры обеспечивает минимальную трудоемкость процесса. Кулачки при первом восстановлении шлифуют “как чисто”, а

при последнем без нанесения покрытий – до допустимого размера их цилиндрической части. Затем необходимо наносить покрытия.

В процессе восстановления детали припуски под обработку создают на шейках, их торцах и на поверхностях отверстий под подшипники. Применяют установку ДРД, различные виды наплавки и напыления.

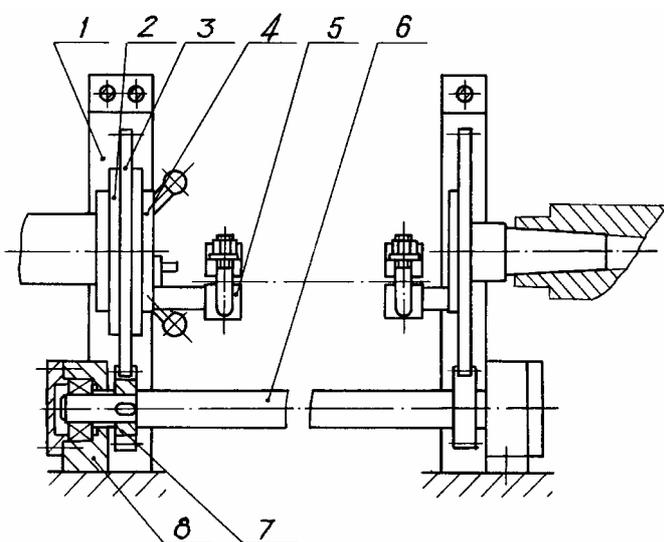


Рис. 3.71. Схема вращателя коленчатого вала для напыления покрытий на его шейки: 1 – кожух; 2 – планшайба; 3 – колесо зубчатое; 4 – диск; 5 – клемма; 6 – вал; 7 – шестерня; 8 – корпус подшипника

Ремонтные заготовки, например, распределительных валов получают с применением оборудования для наплавки или напыления шеек и кулачков (рис. 3.71).

Шейки с приваренными или припаянными ДРД окончательно шлифуют до номинального размера. Размер восстановленной шейки с ДРД, закрепленными силами упругости по упорам, обеспечивают предварительным шлифованием и подбором толщины ленты ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или

вибродуговой наплавкой. Отверстие обрабатывают с базированием детали по коренным шейкам, одна из которых – самая близкая к обрабатываемому отверстию.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или

В качестве технологических баз у распределительных валов используют центровые отверстия и боковую поверхность шпоночного паза, а у коленчатых валов – дополнительно коренные шейки.

Шейки коленчатых валов шлифуют на специализированных станках ЗВ423. Недостатком обработки является односторонний привод детали со стороны передней бабки, что приводит к деформации детали во время ее обработки. Этот недостаток устранен в станках ХШ2-01 и ХШ2-16 с двухсторонним приводом обрабатываемого вала со стороны передней и задней бабок. Последние станки обеспечивают равномерную подачу шлифовальной бабки на деталь. Нецилиндричность поверхности до 0,005 мм достигается выхаживанием детали в течение 5...7 ее последних оборотов.

Уменьшение конусообразности, овальности и седлообразности шеек коленчатого вала с 0,010 до 0,006 мм повышает срок службы вкладышей в 2,5...4,0 раза. Повышение точности поверхностей деталей достигается применением средств активного контроля в процессе обработки. В условиях ремонтного производства используют эти средства для деталей типа вал

на шлифовальных станках, оснащенных механическими, пневматическими или индуктивными приборами. На рис. 3.72 показана скоба для измерения диаметра шеек вала при их шлифовании.

Скобу устанавливают на кожухе шлифовального круга с помощью кронштейна. Устройство ориентируют относительно обрабатываемой детали с помощью опор 1 из твердого сплава.

Устройство ориентируют относительно обрабатываемой детали с помощью опор 1 из твердого сплава. Измерительное перемещение от детали передается посредством штанги с твердосплавными наконечниками к стержню индикаторной головки 4 с ценой деления 0,001 мм. Измерительное усилие 4...5 Н создается пружиной 3. Усилие прижима неподвижных наконечников обеспечивает пружина 6. Скобу устанавливают напротив середины шлифовального круга, это положение регулируют с помощью опоры 5. Ослабив болт 2, регулируют размер между опорными элементами скобы на размер обработки. Шейки обрабатывают при положении скобы, установленной на обрабатываемую деталь. Диаметр шейки измеряют в процессе обработки без остановки станка.

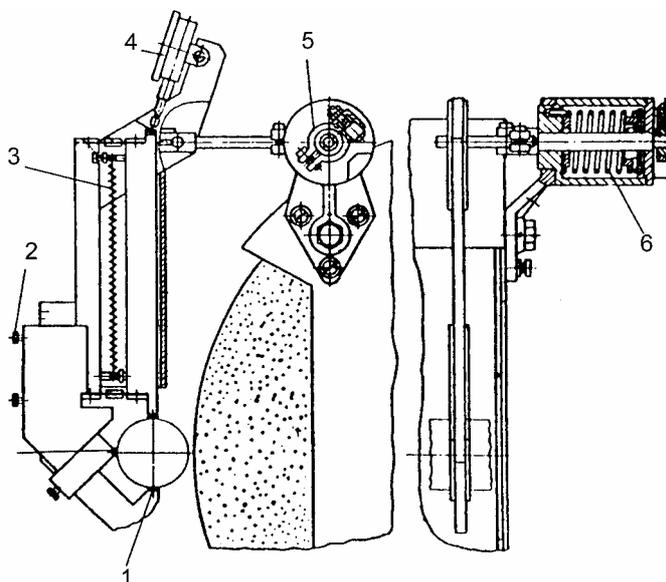


Рис. 3.72. Скоба для измерения диаметра шеек валов при их шлифовании: 1 – опоры детали; 2 – винт; 3 – пружина; 4 – головка индикаторная; 5 – опора; 6 – пружина

Шейки распределительного вала шлифуют в центрах на станке 3М151, а кулачки – на специальном копировально-шлифовальном станке 3М433У. Установочно-копирная наладка изготавливается отдельно для каждого типоразмера детали. Угловое перемещение заготовки относительно оси ее вращения перед шлифованием кулачков производят с помощью делителя, который установлен на шейке под шестерню и ориентирован шпонкой в пазу.

Усталостную прочность восстанавливают поверхностным пластическим деформированием. Операция обеспечивает создание остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, в котором уничтожаются субмикроскопические трещины, являющиеся возможными источниками усталостного разрушения.

Полирование является отделочной операцией, на которую оставляют припуск 0,005 мм. Для полирования коленчатых валов применяют специальные станки СШ-4516. В качестве инструмента используют шлифоваль-

ные шкурки на тканевой основе 0,2 Э 600×30 УГТ 23А М50-Н СФ Ж А ГОСТ 13344-79. При отсутствии специального полировального оборудования применяют ленточно-полировальные головки, которые устанавливают на шлифовальные станки, или изготавливают собственными силами станки с войлочными кругами или жимками. В последнем случае в качестве абразивного материала служит абразивная паста.

В заключение контролируют следующие параметры деталей: твердость восстановленных поверхностей; размеры (диаметр и длину) шеек и шероховатость их поверхностей; диаметры фланца и отверстий под болты и подшипник; длины от базового торца до торцов шеек; ширину шпоночных пазов; биения всех соосных цилиндрических поверхностей относительно крайних шеек; радиусы кривошипов и галтелей; угловое расположение всех кривошипов и кулачков относительно шпоночного паза.

Параметры расположения измеряют индикаторными приборами собственного изготовления, остальные параметры – универсальными средствами или калибрами.

3.18.3. Гильзы, пальцы

Распространенный материал вставных гильз цилиндров (рис. 3.73) – серый чугун СЧ24 или износостойкий чугун ИЧГ-33М твердостью 197...241 НВ. Наибольшему изнашиванию подвержено зеркало цилиндра. Центрирующие пояски и стыковые плоскости деформируются.

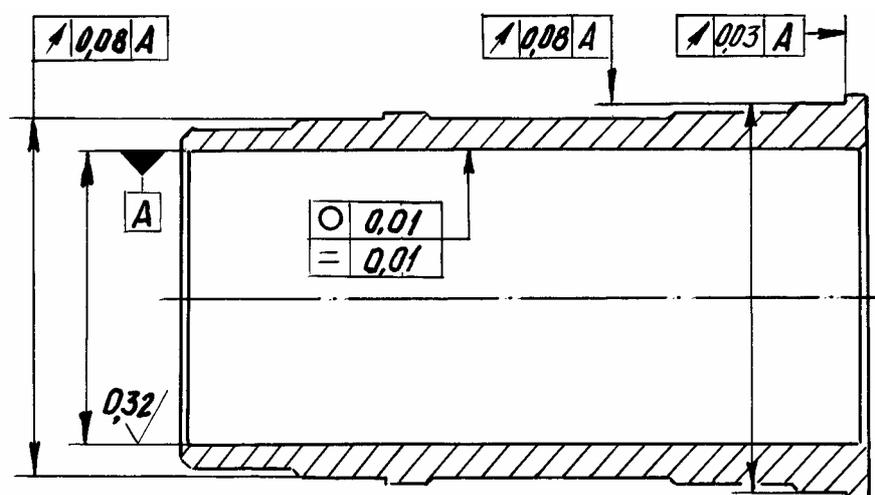


Рис. 3.73. Гильза цилиндра

Зеркало гильзы цилиндров при наличии припуска обрабатывают под ремонтный размер. Реже припуски под обработку зеркала цилиндра создают установкой ДРД в виде закаленной свертной стальной ленты, индукционным напеканием порошков, электроконтактной приваркой стальной ленты или термопластическим обжатием.

Постановка ДРД в виде свертной ленты включает предварительное растачивание восстанавливаемой детали, мерную отрезку двух стальных

полос, свертывание полос в трубу в приспособлении к прессу, их запрессовывание ДРД в гильзу, хонингование.

При центробежном индукционном напекании порошков гильзу устанавливают в патрон станда с горизонтальной осью вращения, засыпают в гильзу порцию материала из композиции порошков ПЖ1 и ПГ-ХН80СР2 в равных долях и включают привод с частотой 350...450 мин⁻¹. Порошок равномерно распределяется по поверхности гильзы. В ее отверстие вводят высокочастотный индуктор и включают напряжение. В течение 1,0...1,5 мин порошок нагревается и приваривается к гильзе. Выключают нагрев и спустя 1,2...2,0 мин выключают привод. Долговечность обработанных гильз с таким покрытием в 2...3 раза выше, чем у гильз без покрытия, расточенных под ремонтный размер.

Электроконтактная приварка стальной ленты на поверхность цилиндра обеспечивает прочное соединение ленты с деталью, хороший теплоотвод от зеркала цилиндра в тело гильзы и отсутствие зазоров в стыках ленты. Способ позволяет неоднократно восстановление гильз, в том числе расточенных до одного из ремонтных размеров. Преимущества приварки: небольшой нагрев детали, возможность приварки ленты с внедрением твердых сплавов и высокая производительность.

Установка для термопластического деформирования гильзы включает высокочастотный генератор, индуктор, спрейер, устройство возвратно-поступательного и вращательного движений гильзы. Гильзу устанавливают на стол, которому сообщают вращение и поступательное движение снизу вверх. Подают ток высокой частоты на индуктор и охлаждающий раствор в спрейер. Температура нагрева гильз составляет 840...880 °С.

Возможно нанесение на зеркало цилиндра хромовых, железных, железозофосфорных и железоникелевых покрытий электрохимическим способом.

Припуск на центрирующем пояске гильзы создают с помощью электродугового напыления на установке модели 01.15.102.

Восстановление плоскостности рабочего торца гильзы возможно путем его подрезки на 1 мм под установку компенсирующего кольца такой же толщины при узловой сборке гильз с блоком цилиндров.

Механическая обработка зеркала гильзы состоит из растачивания и хонингования.

Гильзу цилиндра диаметром 92 мм растачивают резцами с пластинками из твердого сплава ВК-3 или ВК-6 при частоте вращения шпинделя 300 мин⁻¹ и его подаче 0,1 мм/об на алмазно-расточном станке 2Е78. СОЖ – Аквол-11. Производительность обработки повышается, а шероховатость поверхности уменьшается за счет применения инструмента из сверхтвердых материалов, например, Эльбора-Р при частоте вращения шпинделя 750 мин⁻¹ или гексанита-Р при 1200 мин⁻¹. При обработке деталей инструментом из сверхтвердых материалов СОЖ не применяют.

Деталь при обработке устанавливают в пневматическом приспособлении. Перпендикулярность оси зеркала гильзы и допустимое биение ее центри-

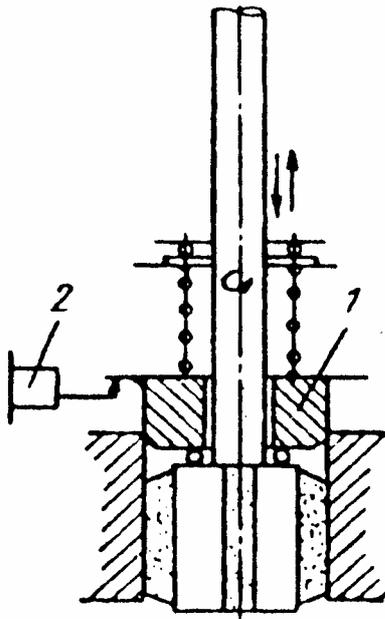


Рис. 3.74. Схема измерительного устройства хонинговального станка: 1 – жесткий калибр; 2 – электроконтактный преобразователь

рующего пояска относительно зеркала цилиндра обеспечивают базированием и обработкой.

Средства активного контроля размера отверстия при хонинговании (рис. 3.74) в своем составе имеют жесткий калибр 1. Этот калибр движется вместе с хонинговальной головкой и при достижении диаметром обрабатываемого отверстия заданного значения входит в него и вызывает срабатывание электроконтактного преобразователя 2, который выдает сигнал на прекращение обработки.

Приработочный износ гильз уменьшается в 3 раза при внедрении антифрикционного хонингования. Оно заключается в том, что после двух операций хонингования (чернового и чистового) поверхность обрабатывают брусками, содержащими приработочные антифрикционные материалы (графит, дисульфид молибдена).

На контрольной операции перспективно применение пневматических длиномеров для измерения внутреннего диаметра и конусообразности отверстий гильз цилиндров и сортировки их на размерные группы.

Поршневые пальцы изготовлены из стали 15Х или стали 45. Их материал проходит, соответственно, цементацию или улучшение. Поверхность пальцев закалена ТВЧ до твердости 58...65 HRC на глубину 1,0...1,5 мм. Деталь имеет допуск наружного диаметра $-0,010$ мм, шероховатость рабочей поверхности 0,16 мкм, допуск массы 2 г. Повреждения поршневого пальца – износ рабочей поверхности. Ремонтную заготовку поршневого пальца получают нанесением хромового покрытия на его трущуюся поверхность, термопластической (рис. 3.75) или электрогидравлической раздачей (см. рис. 3.48).

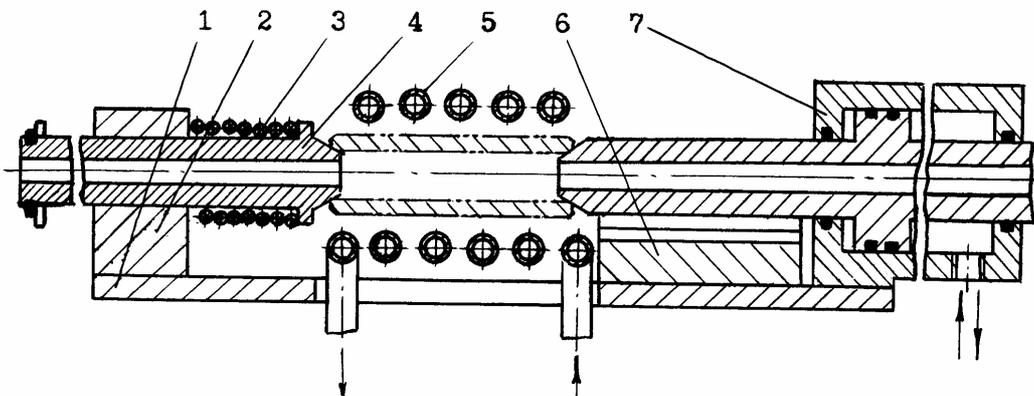


Рис. 3.75. Схема станда для термопластической раздачи поршневых пальцев: 1 – плита; 2 – кронштейн; 3 – пружина; 4 – шток полый; 5 – индуктор; 6 – призма направляющая; 7 – пневмоцилиндр

3.18.4. Шатуны, рычаги, коромысла

Шатуны участвуют в преобразовании поступательного движения во вращательное, а рычаги и коромысла – в передаче поступательного движения. Детали этого типа снабжены втулками.

Шатуны двигателей изготовлены из сталей 40, 45, 40Х, 45Г2, 40 ХМА, 18ХНМА и др. Материал втулок – бронза ОЦС 4-4-2,5, АЖ 9-4, материал болтов – сталь 35ХМА, 38ХА, 40Х и др. Твердость материала шатуна 228...268 НВ.

Основные повреждения шатунов: трещины различного характера, непараллельность осей, деформация и износ отверстий кривошипной и поршневой головок, повреждение резьбы болтов и гаек. Детали с повреждениями первого вида выбраковывают.

Рычаги и коромысла изготовлены из сталей 45, 45Л, материал их втулок такой же, как и материал втулки шатуна. Твердость закаленного бойка коромысла составляет 56...60 НRC.

Повреждения коромысел и рычагов – износ отверстий и бойков.

Допуск на размер отверстий головок шатуна соответствует 5...6 квалитетам, допуск на размер между осями этих отверстий и на параллельность их осей соответствует 8...9-й степени точности. Шероховатость восстановленных поверхностей отверстий и бойков Ra 0,16.

Ремонтные заготовки восстанавливаемых деталей получают нанесением электрохимических или газотермических покрытий на поверхности отверстий и запрессовыванием новых втулок в отверстия.

Механическая обработка отверстий заключается в хонинговании отверстия нижней головки и растачивании отверстия во втулке верхней головки.

Нормативную точность параметров расположения основных поверхностей обеспечивает механическая обработка шатуна в такой последовательности. Отверстие в кривошипной головке с нанесенным покрытием двукратно хонингуют с ориентированием инструмента по обрабатываемой поверхности, что обеспечивает снятие наименьшего припуска. Заготовку 3 (рис. 3.76) при растачивании отверстия под поршневой палец устанавливают на оправку 4, рабочий торец которой перпендикулярен к опорной цилиндрической поверхности. Заготовку с оправкой 4 ориентируют относительно шпинделя с помощью оправки 2 и в таком положении детали к ней и оправке прикладывают силы закрепления $P'_з$ и $P''_з$. Выводят оправку 2 из отверстия заготовки и его поверхность растачивают за счет вращения шпинделя с режущими инструментами с угловой частотой вращения ω и подачей S .

Обработка шатуна по приведенной схеме обеспечивает снятие равномерного припуска и параллельность осей отверстий в головках шатуна в пределах установленного допуска 0,04 мм на 100 мм длины.

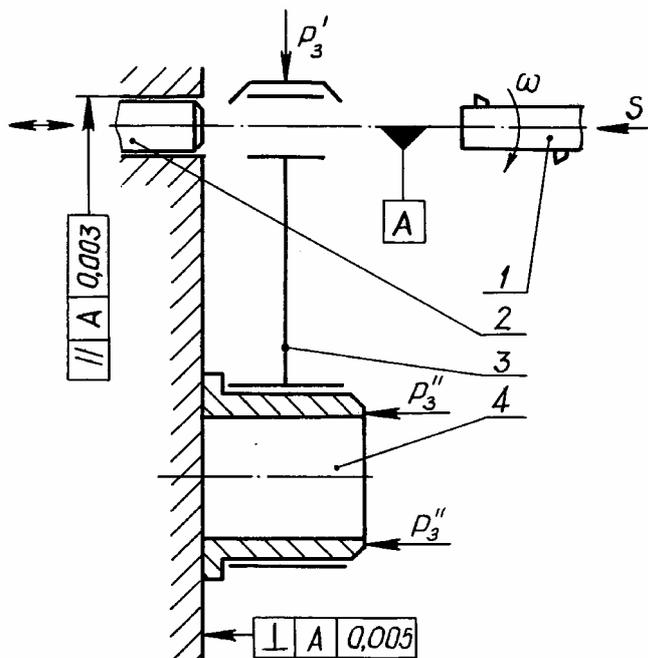


Рис. 3.76. Схема установки шатуна на горизонтально-расточной станок КК-1454 при обработке отверстия в верхней головке: 1 – шпиндель; 2 – центрирующая оправка; 3 – заготовка; 4 – установочная оправка; ω и S – угловая частота и подача шпинделя; P'_3 и P''_3 – силы закрепления

ют снятием металла с приливов.

Бойки коромысел при восстановлении наплавляют самофлюсующимися сплавами с последующим их шлифованием на заточном станке в приспособлении. Отверстие в запрессованной втулке растачивают.

Вопросы для самоконтроля

1. Для каких групп деталей разрабатывают типовые технологические процессы?
2. Приведите схему технологического процесса восстановления корпусных деталей.
3. Какие процессы чаще других применяются при создании припусков на восстанавливаемых поверхностях деталей – тел вращения?
4. Какие применяют способы создания припуска на рабочих поверхностях гильз?

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Источники экономической эффективности восстановления деталей.
2. Анализ способов создания ремонтных заготовок и предложения по их совершенствованию.
3. Новые материалы для восстановительных покрытий.
4. Развитие наплавки при создании ремонтных заготовок.
5. Температура и скорость частиц при напылении материалов и их влияние на качество покрытий.

Шатуны сортируют по размерным группам отверстий под поршневой палец. Эту операцию выполняют с помощью пневматического измерительного стенда. На автомобильных заводах (например, КамАЗ и ЗИЛ) имеется оборудование для контроля шатунов, в котором пневматические пробки установлены на станине таким образом, что их оси параллельны и находятся друг от друга на расстоянии, равном номинальному межосевому расстоянию между отверстиями шатуна. На таком оборудовании дополнительно измеряют расстояние между осями в детали, а также непараллельность осей в двух координатных плоскостях.

Нормативное значение массы головок шатунов обеспечива-

6. Электроконтактная приварка материала в процессах создания ремонтных заготовок.
7. Электроискровая обработка в процессах восстановления деталей.
8. Повышение производительности и снижение энергоемкости электрохимических процессов нанесения покрытий.
9. Повышение производительности и точности обработки резанием при восстановлении деталей.
10. Развитие термической обработки в ремонтном производстве.
11. Современные представления о восстановлении износостойкости трущихся элементов деталей.
12. Совершенствование процессов восстановления усталостной прочности деталей.
13. Развитие применения ДРД при восстановлении деталей.
14. Роль типизации технологических процессов восстановления деталей в повышении эффективности ремонтного производства.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- определение понятия ремонтной заготовки и ее виды;
- содержание процесса восстановления детали;
- классификацию способов создания ремонтных заготовок;
- методику расчета толщины восстановительного покрытия;
- классификацию и характеристику источников тепла, применяемых в процессах нанесения покрытий;
- материалы, применяемые для нанесения покрытий, их характеристику и область применения;
- особенности ремонтной сварки заготовок: стальных, чугунных и из цветных сплавов;
- особенности различных видов наплавки заготовок и применяемое оборудование;
- технологические расчеты наплавки сплошных и порошковых материалов;
- различные виды и особенности напыления и направления его совершенствования;
- сущность электроконтактной приварки металлического покрытия, материалы и оборудование;
- применение электроискровой обработки в восстановительном производстве;
- сущность нанесения покрытий химическим способом;
- область применения электрохимических покрытий, виды способов и направления их совершенствования;
- сущность и область применения ДРД;

- содержание и возможности пластического деформирования материала восстанавливаемых деталей;
- отличие обработки деталей с покрытиями от обработки деталей из монолитных материалов;
- принципы выбора технологических баз при обработке резанием ремонтных заготовок;
- основное металлорежущее оборудование;
- инструментальные материалы и рациональную область их применения для различных видов обработки;
- назначение, состав и область применения СОЖ;
- выбор средств измерений для определения значений различных величин;
- назначение и применение термической обработки в процессах восстановления деталей;
- основное термическое оборудование;
- условия, обеспечивающие высокую износостойкость восстанавливаемых поверхностей деталей за счет выбора материала и вида обработки;
- содержание процессов восстановления статической прочности деталей;
- необходимость восстановления герметичности стенок и стыков деталей;
- способы уплотнения стыков и применяемые материалы;
- способы заделки трещин и пробоин;
- механизм образования усталостных повреждений;
- основные способы восстановления усталостной прочности и жесткости деталей;
- необходимость и сущность упрочнения элементов деталей;
- основные процессы упрочнения деталей;
- содержание, необходимость и области применения различных видов технологической унификации;
- типовые процессы восстановления различных групп деталей.

Студент должен уметь:

- выбирать материал для нанесения покрытий исходя из условий работы детали;
- выбирать источник тепла и источник питания с учетом особенностей материалов заготовки и покрытия;
- выполнять технологические расчеты процессов наплавки;
- выбирать вид и назначать режимы электроконтактной приварки металлического покрытия при восстановлении различных деталей;
- выбирать вид и назначать режимы напыления при восстановлении различных деталей;
- применять электроискровую обработку в процессах упрочнения поверхностей;

- рассчитывать размеры ДРД в процессах восстановления деталей;
- рассчитывать режимы поверхностного пластического деформирования материала заготовок;
- определять рациональные области применения различных способов создания ремонтных заготовок;
- рассчитывать толщину наносимых покрытий;
- назначать технологические базы для обработки ремонтных заготовок;
- выбирать оборудование и назначать режимы механической обработки;
- выбирать СОЖ для различных видов обработки;
- измерять детали;
- выбирать оборудование и назначать виды термической обработки для получения необходимой структуры материала и его твердости;
- назначать материалы и структуру покрытия или слоя, поверхности которых участвуют в трении;
- составлять технологические процессы восстановления прочности детали, уплотнения стенок и стыков деталей;
- применять эпоксидные композиции для заделки трещин и пробоин;
- составлять технологический процесс восстановления усталостной прочности и жесткости и назначать режимы обработки;
- выбирать виды балансировки различных деталей;
- определять необходимость и назначать способы упрочнения элементов деталей;
- составлять типовые схемы восстановления деталей: корпусных, тел вращения и рычагов;
- давать технико-экономическую оценку различных способов создания ремонтных заготовок и рациональные области их применения.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Знания материала третьей главы оцениваются по результатам выполнения практических занятий и ответов студентов на вопросы, поставленные в конце изучаемых тем.

Высокой оценки заслуживают те студенты, которые демонстрируют знания:

- содержания процесса восстановления деталей;
- классификации и характеристики способов создания ремонтных заготовок;
- материалов, необходимых для нанесения покрытий;
- основных процессов нанесения восстановительных покрытий;
- механической и термической обработки заготовок и измерения различных параметров;
- восстановления типовых деталей и их различных свойств;
- необходимости упрочнения и различных его направлений.

4. УРАВНОВЕШИВАНИЕ И КОМПЛЕКТОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, СБОРКА, ОКРАШИВАНИЕ, ОБКАТКА И ИСПЫТАНИЕ АГРЕГАТОВ И МАШИН

4.1. Уравновешивание деталей и сборочных единиц

Отремонтированный агрегат считается *уравновешенным*, если при его работе равнодействующая всех сил, действующих на опоры, не изменяет значение и направление.

Динамические нагрузки на опоры работающего агрегата обусловлены поступательным и вращательным движением деталей, в том числе и восстановленных. Агрегат будет уравновешенным в том случае, если он собран из одноименных одинаковой массы деталей, движущихся поступательно, и вращающихся деталей, прошедших балансировку.

Движущиеся детали изменяют свою массу или становятся при эксплуатации не-уравновешенными в результате накопления загрязнений на их поверхностях, неравномерного изнашивания и деформирования. Это приводит к дополнительным нагрузкам в кинематических парах и накоплению усталостных повреждений в шейках валов, что, в свою очередь, снижает долговечность агрегатов.

4.1.1. Точность массы деталей

Многоцилиндровые двигатели, компрессоры, насосы и др. агрегаты устроены таким образом, что их поршни и штоки движутся при работе в противофазе по отношению друг к другу. Если массы этих деталей одинаковы, то инерционные нагрузки от них уравновешиваются.

Поступательно движущиеся детали с большой массой создают большие инерционные нагрузки на корпус агрегата, а детали с малой массой непрочные. Для деталей одного наименования, прошедших восстановление, устанавливают наибольшее m_{\max} и наименьшее m_{\min} значение их массы, допуск которой Δm_{∂} равен

$$\Delta m_{\partial} = m_{\max} - m_{\min}, \text{ Г.} \quad (4.1)$$

Если масса детали оказывается за пределами допуска (4.1), то прибегают к срезанию лишнего металла или к закреплению недостающего. Первый вариант применяют чаще. Эти работы выполняют на участках восстановления соответствующих деталей.

Имеются детали типа шатунов, части которых участвуют в двух движениях, одно из которых поступательное, поэтому отдельно ограничивают массы указанных частей. При этом верхнюю и нижнюю головки шатуна одновременно взвешивают на двух весах. Лишний металл с приливов на головках фрезеруют.

Однако детали одного агрегата должны обладать существенно меньшим допуском их массы $\Delta m_{\partial к}$ по сравнению с условием (4.1)

$$\Delta m_{\partial к} \approx (0,1 \dots 0,2) \Delta m_{\partial}, \text{ Г.} \quad (4.2)$$

Значения, например, массы деталей поршневой группы (поршня, поршневого пальца, поршневых и стопорных колец), входящих в сборочный комплект двигателя внутреннего сгорания, должны отличаться друг от друга не более как на 2...4 г. Эти сборочные единицы взвешивают на весах НПВ-1-2.

На комплектовочном участке детали сортируют на массовые *группы*, число n_m которых равно

$$n_m = \Delta m_{\partial} / \Delta m_{\partial к}. \quad (4.3)$$

4.1.2. Балансировка деталей и сборочных единиц

Балансировка (франц. balancier – качать, уравнивать) – это уравнивание сил инерции вращающихся деталей и сборочных единиц путем совмещения их осей инерции и вращения с помощью противовесов.

Вращающаяся деталь или сборочная единица является полностью *уравновешенной*, если результирующая сила и момент инерции равны нулю. Условия полной уравновешенности изделия следующие:

$$Mr_s = \sum_{i=1}^{i=k} m_i r_i = 0 \text{ (г·см) или } r_s = 0; \quad (4.4)$$

$$J_{lr} = \sum_{i=1}^{i=k} m_i l_i r_i = 0, \text{ г·см}^2, \quad (4.5)$$

где M – масса изделия, г; r_s – расстояние от центра масс изделия до оси его вращения, см; J_{lr} – центробежный момент инерции, г·см²; m_i , r_i и l_i – соответственно, масса (г) элемента детали, расстояние (см) от центра его масс до оси вращения изделия и плечо (см) действия центробежной силы элемента относительно оси, проходящей через центр масс изделия; $i = 1 \dots k$ – число конструктивных элементов изделия.

Первое условие соблюдается, если центр масс изделия находится на оси вращения. Второе условие выполняется, когда ось вращения изделия совпадает с одной из главных его осей инерции. Первое и второе условия соблюдаются одновременно, если ось вращения изделия совпадает с одной из его главных центральных осей инерции, т.е. главной осью инерции, проходящей через центр масс. Изделие является уравновешенным статически, если выполняется первое условие, и уравновешенным динамически, если выполняется второе условие.

В реальных условиях различают статическую, динамическую и смешанную неуравновешенность вращающихся деталей или сборочных единиц.

Статическая неуравновешенность (рис. 4.1, а) наблюдается у дискообразных деталей малой высоты (маховиков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, чугунных шкивов и др.), когда имеется только неуравновешенная сила. Способы статической балансировки состоят в совмещении

центра масс детали с осью ее вращения путем снятия или добавления металла. При этом определяют направление дисбаланса – линию, которая проходит через ось вращения детали перпендикулярно ей и центр неуравновешенной массы. Затем излишний металл снимают в удобном на этой линии месте, по одну сторону с неуравновешенной массой от оси вращения, или добавляют металл, если неуравновешенная масса находится по другую сторону от оси вращения детали. Массу m снимаемого (добавляемого) металла определяют по формуле

$$m = Mr_s/R, \text{ г}, \quad (4.6)$$

где R – расстояние от оси вращения до центра масс снимаемого (добавляемого) металла, см.

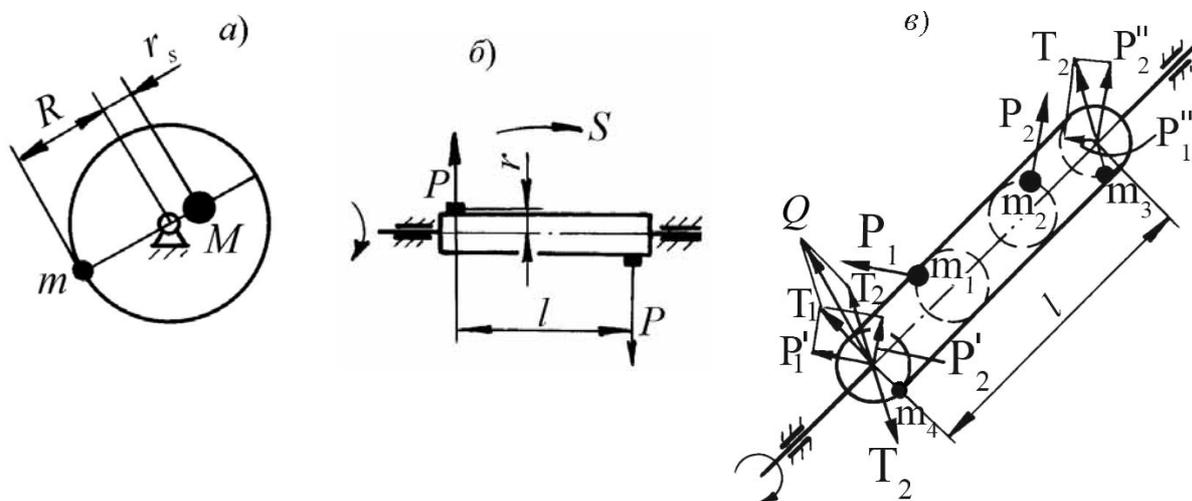


Рис. 4.1. Виды неуравновешенности деталей: *a* – статическая; *б* – динамическая; *в* – смешанная

Балансировку ведут на роликах, горизонтальных призмах, качающихся дисках и на станках.

Устройства для статической балансировки деталей на роликах и горизонтальных призмах приведены на рис. 4.2 и 4.3. Деталь 1 устанавливают без зазора на оправку 2, которую, в свою очередь, устанавливают на ролики или призмы. Неуравновешенная деталь повернется вокруг своей оси, при этом ее “тяжелая” часть окажется внизу. Балансировка на призмах дает более точные результаты, однако в этом случае требуется, чтобы их рабочие поверхности располагались горизонтально. Эти устройства показывают только направления дисбаланса, определение его значения затруднено и требует практического навыка.

Устройство для статической балансировки деталей на качающемся диске (рис. 4.4.) лишено приведенного недостатка. Его статически отбалансированный диск 2 имеет опоры (цилиндрическую поверхность и плоскость) для балансируемой детали. Соосно цилиндрической поверхности

установлено острие 3, которое соприкасается с ответным коническим углублением опоры 4. Две стрелки 1 диска расположены во взаимно перпендикулярных направлениях. Деталь устанавливают на диск и ориентируют центрирующим пояском. Если диск с деталью наклонились, то их приводят в горизонтальное положение путем перемещения по поверхности детали компенсирующего груза. Место нахождения груза и его масса показывают направление и величину дисбаланса.

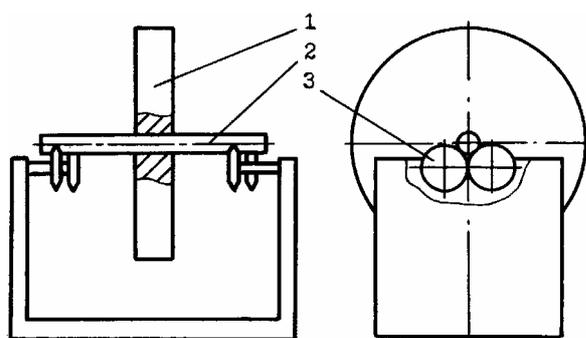


Рис. 4.2. Схема устройства для статической балансировки деталей на роликах:
1 – деталь; 2 – оправка; 3 – ролики

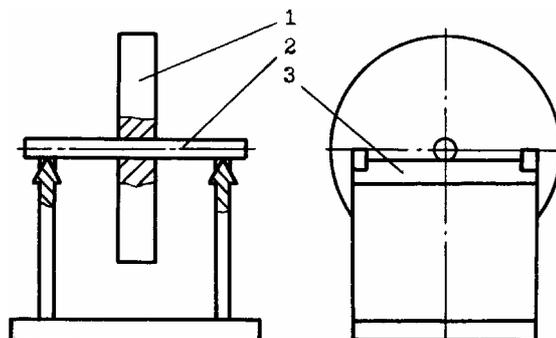


Рис. 4.3. Схема устройства для статической балансировки деталей на призмах:
1 – деталь; 2 – оправка; 3 – призмы

Статическую балансировку деталей в динамическом режиме (при их вращении) выполняют на станке модели 9765.

Динамическая неуравновешенность (см. рис. 4.1, б) имеет место в том случае, если центр масс находится на оси вращения изделия, а во время его вращения возникает статический момент S от двух равных сил P на плече l . Статический момент S вызывает переменные по направлению нагрузки на опоры изделия при его вращении. Динамическую неуравновешенность устраняют снятием или добавлением двух равных масс в плоскости действия момента S , чтобы появился новый момент, уравновешивающий начальный. Этот вид неуравновешенности выявляют при вращении изделия.

Смешанная неуравновешенность (см. рис. 4.1, в) наиболее часто встречается в реальных условиях, когда имеется сила инерции от неуравновешенной массы и статический момент центробежных сил. Этот вид неуравновешенности характерен для длинных деталей.

Система любого числа неуравновешенных сил сводится к двум силам, которые расположены в двух произвольно выбранных перпендикулярно оси детали плоскостях, удобных для уравновешива-

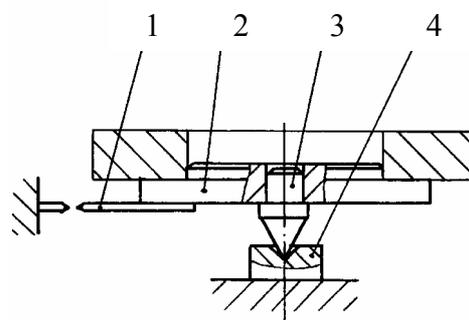


Рис. 4.4. Схема устройства для статической балансировки деталей на качающемся диске:
1 – стрелки; 2 – диск; 3 – острие; 4 – опора

ния. Такие плоскости называют плоскостями *коррекции*. Например, у коленчатого вала эти плоскости проходят через крайние противовесы.

Пусть имеются неуравновешенные массы m_1 и m_2 . Заменяем центробежные силы P_1 и P_2 их составляющими P_1' и P_1'' и P_2' и P_2'' в плоскостях коррекции, расположенных друг от друга на расстоянии l . Сложим эти составляющие в каждой плоскости по правилу параллелограмма и получим равнодействующие T_1 и T_2 . В точке приложения силы T_1 приложим две равные между собой, но противоположно направленные силы T_2 . В результате получаем две неуравновешенные силы T_2 и Q в плоскостях коррекции. Сила Q является векторной суммой сил T_1 и T_2 . Момент $T_2 l$ определяет динамическую неуравновешенность, а сила Q – статическую. Полное уравновешивание изделия достигается установкой противовесов m_3 и m_4 на линиях действия сил T_2 и T_1 .

Направление (фазу) и значение дисбаланса mR (г·см) на каждом конце вала определяют на балансировочных станках моделей, например, БМ-4У, 4274, МС-9716 или фирмы Schenk (Германия). Динамически балансируют сборочные единицы (коленчатые валы с маховиками, карданные валы и др.), вращающиеся при работе агрегата в двух и более опорах.

Принцип действия балансировочного станка (рис. 4.5) заключается в следующем. Изделие устанавливают на упругие опоры (люльки) 1 и приводят во вращение с частотой $720 \dots 1100 \text{ мин}^{-1}$ от электродвигателя 6. Под действием центробежных сил инерции опоры будут колебаться вдоль горизонтальной оси. С перемещающимися опорами заодно движутся и обмотки датчиков перемещений 2, находящиеся в магнитном поле постоянных магнитов. В каждой обмотке наводится ЭДС, значение которой пропорционально амплитуде колебаний. Сигнал от датчика поступает в блок усиления 3 и в измененном виде фиксируется миллиамперметром 4, шкала которого приведена в единицах дисбаланса (г·см). Сигнал об угле поворота шпинделя (фазе), при котором опора переместилась на максимальное расстояние, поступает на безынерционную лампу 5 стробоскопа, которая освещает небольшой участок обода вращающегося лимба 7.

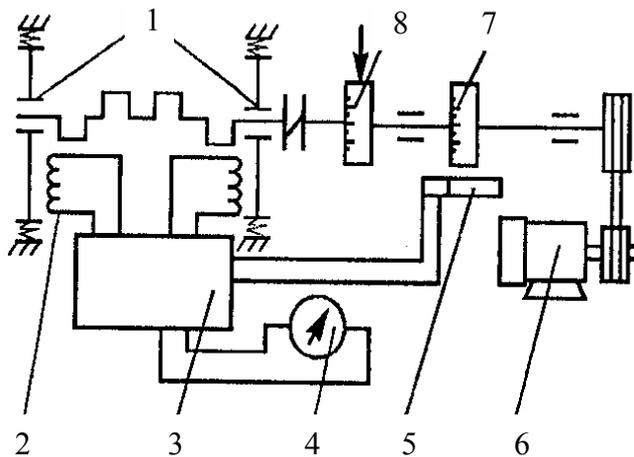


Рис. 4.5. Схема станка для динамической балансировки деталей: 1 – опоры (люльки); 2 – датчик перемещений; 3 – блок усиления; 4 – миллиамперметр; 5 – лампа стробоскопа; 6 – электродвигатель; 7 – лимб стробоскопа; 8 – маховик

Деления (от 0 до 360°) с числами

на лимбе показывают угол его поворота. В течение одного оборота изделия лампа загорается в момент наибольшего перемещения опоры и высвечивает соответствующее значение угла (фазы). Рабочий воспринимает лимб установленным с неподвижными цифрами. Значение и направление дисбаланса изделия поочередно измеряют на каждой из опор.

После остановки станка высверливают лишний металл в каждой из плоскостей коррекции. Для этого ручным вращением детали за маховик 8 устанавливают ее в нужное угловое положение. При отключенном электродвигателе люльки неподвижно фиксируются электромагнитами. С помощью радиально-сверлильного станка или электрической дрели высверливают металл необходимой массы. Значение ее пропорционально показаниям миллиамперметра.

Детали балансируют на участках их восстановления, а сборочные единицы – на сборочном участке.

Характеристика уравниваемых сборочных единиц, например, автомобильного двигателя приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сборочные единицы и детали двигателя с рабочим объемом 4,8 л, требующие балансировки, и их характеристика

Сборочные единицы и детали	Вид балансировки: С – статическая; Д – динамическая	Допустимый дисбаланс, г·см
Ротор фильтра центробежной очистки масла со стаканом в сборе	Д	10
Диск сцепления ведомый	С	18
Диск сцепления нажимной	С	36
Маховик	С	36
Коленчатый вал	Д	30
Коленчатый вал с маховиком и сцеплением	Д	30
Двигатель в сборе	Д	40

Перспективна балансировка V-образного двигателя в сборе путем снятия металла с маховика (задняя балансировочная плоскость) и со шкива коленчатого вала (передняя балансировочная плоскость). Балансировку ведут на обкаточном стенде, укомплектованном балансировочным прибором, с принудительным вращением коленчатого вала от электродвигателя при вывернутых свечах зажигания.

Минский завод им. Октябрьской революции выпускает приборы ПСБ-2 (табл. 4.2) для определения на обкаточных стендах направления и величины дисбаланса двигателя. В комплект прибора входят вибродатчик, датчик опорного сигнала и электронный блок. С помощью прибора поочередно измеряют величины в плоскостях коррекции.

Техническая характеристика прибора ПСБ-2

Параметры, размерность	Значения
Диапазон рабочих частот при измерении параметров дисбаланса, Гц	5...45
Полоса пропускания фильтрующей части измерительного пульта, Гц	0,1
Максимальное время, необходимое для измерения параметров дисбаланса в одном масштабе измерения, без учета времени разгона, с	15
Количество масштабов измерения (коэффициент масштабирования 10)	2
Форма представления параметров корректирующего дисбаланса при измерении (система координат)	полярная или прямоугольная
Потребляемая мощность, Вт	60
Габаритные размеры, мм	
– длина	520
– ширина	275
– высота	340
Масса, кг	36

Вопросы для самоконтроля

1. Как влияет неуравновешенность деталей на послеремонтную наработку агрегата? 2. В каком случае агрегат считают уравновешенным? 3. С какой целью добиваются равенства масс одноименных деталей, движущихся поступательно? 4. Приведите способы балансировки вращающихся деталей.

4.2. Сборочные комплекты деталей

Сборочный комплект (ГОСТ 3.1109-82) – это группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки этого изделия.

Составными частями изделия служат материалы и детали. Материалы (клеи, герметики, набивки, шплинтовочная проволока и др.) включают в сборочный комплект с учетом их норм расхода. Детали сборочного комплекта удовлетворяют требованиям номенклатурного, размерного и массового подбора.

Комплектование агрегата составными частями – это составление его сборочного комплекта.

4.2.1. Точность замыкающих размеров

Одно из условий вхождения деталей в сборочный комплект состоит в обеспечении нормативных значений замыкающих размеров в соединениях этих деталей.

Сборочная размерная цепь представляет собой замкнутый контур взаимосвязанных (линейных или угловых) составляющих и замыкающего размеров, которые имеют численные значения и допуски.

Замыкающий размер – это перекося осей деталей, зазор или натяг в соединении, которые определяются значениями составляющих размеров.

Точность замыкающего размера определяется степенью совпадения его фактического значения с нормативным.

Составляющие размеры – это звенья размерной цепи, которые вызывают изменение замыкающего размера. По характеру воздействия на замыкающий размер составляющие размеры могут быть увеличивающими или уменьшающими, т.е. при их увеличении замыкающий размер увеличивается или уменьшается, соответственно.

Требуемая точность замыкающего размера достигается пятью способами: полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, регулированием и пригонкой.

При *полной* взаимозаменяемости точность замыкающего размера обеспечивается включением в размерную цепь любого звена без подбора, выбора или изменения его значения. Решают прямую задачу взаимозаменяемости – назначают допуски составляющих размеров из расчета, чтобы их сумма не превышала допуск замыкающего размера $\delta_{A\Delta}$

$$\sum_{i=1}^{m-1} \delta_{A_i} \leq \delta_{A\Delta}, \quad (4.7)$$

где i – номер звена размерной цепи; m – число звеньев размерной цепи; δ_{A_i} – допуск i -того составляющего звена.

Этот способ применяют при сборке распространенных соединений: вкладыш – шейка, вкладыш – опора, клапан – втулка и др.

Неполная взаимозаменяемость предусматривает достижение точности замыкающего звена не у всех соединений, а у обусловленной их части при включении в размерную цепь любого звена без подбора, выбора или изменения его величины. Условие такого вида взаимозаменяемости рассчитывается вероятностным методом

$$t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 \delta_{A_i}^2} = \delta_{A\Delta}, \quad (4.8)$$

где t – коэффициент, который определяется в зависимости от принятого процента риска P (табл. 4.3); λ_i – коэффициент относительного рассеяния (для нормального закона распределения $\lambda^2 = 1/9$).

Таблица 4.3

Зависимость коэффициента t от процента риска P
при распределении случайной величины по закону Гаусса

P	0,1	0,2	0,27	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0	32,0
t	3,29	3,12	3,00	2,80	2,57	2,33	2,17	2,06	1,96	1,65	1,00

При значении процента риска менее одного можно использовать детали с увеличенными допусками в 1,5...2,0 раза по сравнению с допусками, обеспечивающими полную взаимозаменяемость.

При *групповой* взаимозаменяемости точность замыкающего размера достигается включением в размерную цепь звеньев, принадлежащих к од-

ной из размерных групп, на которые звенья предварительно сортируют. Так собирают поршни с гильзами цилиндров, поршни с поршневыми пальцами, поршневые пальцы с шатунами и др. соединения. Допуск замыкающего звена $\delta'_{A\Delta}$ при этом равен

$$\delta'_{A\Delta} = \frac{\delta_{A\Delta}}{n}, \quad (4.9)$$

где $\delta_{A\Delta}$ – допуск замыкающего звена, рассчитанный по формуле (4.7); n – число размерных групп.

Производительную сортировку деталей с отверстиями на размерные группы после их обработки производят с помощью пневматического измерительного стенда (рис. 4.6). Работа стенда основана на использовании зависимости расхода сжатого воздуха от зазора между деталью и калибром, через который воздух выходит в атмосферу.

Стенд снабжен вертикальной стеклянной конической трубкой 5 с поплавком, который находится во взвешенном состоянии в струе сжатого воздуха, подаваемого в зазор под установленным давлением 0,3...0,5 МПа. Высота, на которую поднимается поплавок, зависит от расхода сжатого воздуха. Верхняя плоскость поплавка служит указателем при считывании размера. Цена деления шкалы 6 составляет 0,2...2,0 мкм. Постоянство давления подаваемого сжатого воздуха обеспечивают стабилизаторы 3 и 11.

Способ *регулирования* предусматривает достижение точности замыкающего размера путем изменения

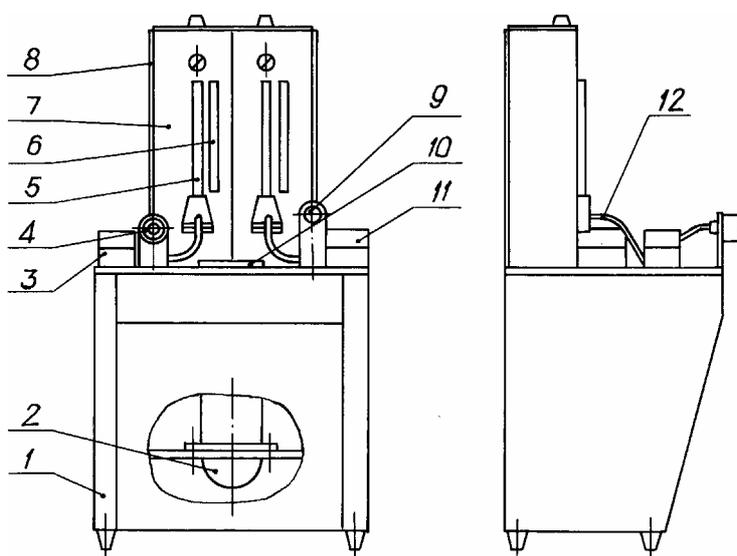


Рис. 4.6. Схема пневматического измерительного стенда: 1 – корпус; 2 – баллон; 3 и 11 – стабилизаторы давления; 4 и 9 – пневматические калибры; 5 – стеклянная трубка; 6 – шкала; 7 – панель; 8 – щиток; 10 – плита; 12 – трубка воздушная

величины компенсирующего звена без снятия слоя металла. Способ применяют, например, при достижении нормативного зазора между клапанами и толкателями, концами оттяжных рычагов сцепления и выжимным подшипником.

Пригонка – способ достижения точности замыкающего звена путем изменения толщины компенсирующего звена за счет снятия слоя металла, например, для достижения необходимого температурного зазора в стыке поршневого кольца.

4.2.2. Назначение и состав комплектовочных работ

На участок сборки агрегатов поступают годные детали с сортировочного участка, восстановленные – с участков их восстановления и запасные части – со склада. На пути их следования располагают комплектовочный участок, который примыкает к сборочному. Здесь накапливают, учитывают и непрерывно пополняют трехсменный запас деталей. Наличие комплектовочного участка разрешает противоречие между вероятностным характером поступления изделий и материалов на сборку и требованиями непрерывности и ритмичности производства.

Комплектование агрегатов деталями и сборочными единицами является вспомогательным процессом сборки агрегатов, благодаря которому сборщики высвобождаются от несвойственных им функций, при этом повышается производительность и качество сборки. Влияние комплектования на качество при ремонте изделий проявляется в большей мере, чем при их изготовлении, поскольку агрегаты собирают из деталей различного технического состояния.

Размеры деталей сборочного комплекта должны обеспечить нормативные зазоры или натяги в их соединениях. Подбор по массе деталей, движущихся при работе поступательно, частично обеспечивают уравнивание собраных агрегатов.

Состав комплектовочных работ:

- номенклатурный подбор деталей и сборочных единиц, входящих в агрегат, и материалов (мастик, герметиков и др.) с разбивкой их для каждого рабочего места (позиции) сборки;
- подбор деталей, входящих в соединения, по ремонтным размерам (поршень – цилиндр, коленчатый вал – вкладыши, распределительный вал – втулки и др.);
- подбор деталей, входящих в соединения, по размерным группам (поршень – цилиндр, поршень – поршневой палец, поршневой палец – шатун и др.);
- подбор деталей по массе (шатун, поршневые комплекты);
- подбор зубчатых колес, составляющих пару, по зазору в зацеплении;
- выполнение пригоночных работ (например, поршневых колец к цилиндру);
- подготовка соединений к сборке (ослабление затяжки регулировочных винтов и болтов коромысел и толкателей, разборка шатунов с крышками и др.)

Таким образом, состав сборочного комплекта агрегата удовлетворяет следующим условиям.

1. Множество деталей и масса вспомогательных материалов необходимы и достаточны для сборки агрегата.

2. Одноименные соединения состоят из деталей одних ремонтных размеров, если такие предусмотрены.

3. Соединения, формируемые по принципам групповой взаимозаменяемости, состоят из деталей одних размерных групп.

4. Разброс масс поступательно движущихся деталей не превышает нормативного значения.

5. Межосевые расстояния отверстий в корпусных деталях для установки валов превышают беззазорные межосевые расстояния соответствующих зубчатых колес на величину нормативного радиального зазора в зацеплении.

Пример комплектования деталями двигателя приведен в табл. 4.4. В таблицу включены детали, которые подбирают друг к другу по размерам или массе. Остальные детали входят в сборочный комплект по наименованию и количеству без подбора.

Таблица 4.4

Основные детали сборочного комплекта двигателя

Деталь		Комплектовочные параметры, № сопрягаемой детали				
№	Наименование	Ремонтный размер	Размерная группа	Величина выступания	Межосевое расстояние	Массовая группа
1	2	3	4	5	6	7
1	Блок цилиндров с крышками коренных опор и втулками распределительного вала	Диаметр отв. во втулках распределительного вала, 10 под толкатели, 14	Расстояние между осью коренных опор и плоскостью под головку, 6	–	Расстояние между осями отверстий, 15	–
2	Гильза цилиндра	Диаметр отверстия, 4	Диаметр отверстия, 4	Высота, 1	–	–
3	Головка цилиндров с втулками клапанов	Диаметр отв. во втулках, 13	–	–	–	–
4	Поршень	Диаметр юбки, 2	Диаметр юбки, 2 Диаметр отв. под палец, 5	–	–	Масса поршня
5	Поршневой палец	–	Диаметр наружный, 4 и 6	–	–	Масса пальца
6	Шатун со втулкой	–	Диаметр отв. во втулке, 5	–	Расстояние между осями отв., 1	Масса головок
7	Коленчатый вал	Диаметр коренных и шатунных шеек, 8 и 9	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7
8	Шайба упорная	Высота, 1 и 7	–	–	–	–
9	Вкладыши ко- ренные и ша- тунные	Диаметр отв., 7	–	–	–	–
10	Распреле- дильный вал	Диаметр шеек, 1	–	–	–	–
11	Шайба распреле- дильного вала	Высота, 12	–	–	–	–
12	Фланец распреле- дильного вала	Высота, 11	–	–	–	–
13	Клапан	Диаметр стержня, 3	–	–	–	–
14	Толкатель	Диаметр наружный, 1	–	–	–	–
15	Шестерни ко- ленчатого и распреле- дильного валов	–	–	–	Беззазор- ное межко- соевое рас- стояние, 1	–

4.2.3. Способы комплектования и применяемое оборудование

Сборочный комплект деталей агрегата состоит из трех частей. Первая часть включает материалы и многочисленные крепежные детали. Вторая часть комплекта включает детали, которые обрабатывали под ремонтные размеры или которые входят в соединения, составляющие размерные группы или подобранные по массе. Третья часть комплекта состоит из остальных деталей.

Первую часть деталей комплекта в сменном объеме доставляют в начале смены на рабочие места сборщиков и помещают в соответствующие ячейки. Вторую и третью части комплектов формируют на комплектующем участке и выдают из расчета возможности сборки отдельных агрегатов. Первая и третья части комплекта деталей удовлетворяют условию 1 подраздела 4.2.2.

Наибольшие трудности представляет формирование второй части комплекта деталей. На рабочих местах комплектования имеются детали различных ремонтных размеров, размерных и массовых групп. К базовой детали агрегата добавляют детали, образующие с ней размерные цепи. Добавляемые одноименные детали должны составлять сборочные единицы и быть одного ремонтного размера (условия 1 и 2). Далее в комплект добавляют детали, образующие размерные цепи с предыдущими деталями, при этом добиваются обеспечения условий 1 – 4, т.е. число добавляемых дета-

лей соответствует комплектовочной ведомости, все они одного ремонтного размера и одной массовой группы, детали в каждом соединении одной размерной группы. Таким же образом последовательно добавляют в сборочный комплект детали, образующие каждый раз с предыдущими деталями размерные цепи до тех пор, пока все эти цепи не будут составлены.

Условие 5 обеспечивают во время сборки агрегата следующим образом. После того как в агрегат установлены валы, на которые затем будут установлены зубчатые колеса, измеряют расстояния между осями этих валов. От этого расстояния отнимают нормативный зазор в зацеплении. Полученное значение равно беззазорному расстоянию между осями зубчатых колес. Последнее расстояние измерено при определении технического состояния пары колес ремонтного фонда или при составлении пары новых колес и указано на их связке.

Комплектовочный участок оснащают оборудованием для разборки сборочных единиц, ранее обработанных в сборе, верстаками, столами, рольгангами, измерительно-сортировочными средствами и шкафами для них, тарой, стеллажами и подъемно-транспортными средствами. В помещении участка сосредоточены значительные материальные ценности, поэтому оно имеет прочные стены, ворота и потолок, а также оснащено охранной сигнализацией.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие цели преследуют при подготовке сборочных комплектов? 2. Какими способами добиваются нормативной точности замыкающих размеров в соединениях? 3. В чем заключается суть групповой взаимозаменяемости? 4. Каким образом повышают производительность сортировки деталей на размерные группы? 5. Обоснуйте место расположения комплектовочного участка на территории производственного корпуса. 6. Приведите правила и порядок образования сборочного комплекта деталей агрегата.

Практическое занятие № 6

СБОРОЧНЫЙ КОМПЛЕКТ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТА

Цель занятия – приобретение навыков по составлению сборочных комплектов деталей ремонтируемых агрегатов.

Индивидуальное задание. Сборочный чертеж со спецификацией ремонтируемого агрегата и технические требования к нему.

Порядок выполнения задания. В процессе выполнения задания изучают раздел 4.2, назначение, устройство и работу агрегата и соответствующие технические требования.

Для выполнения задания необходимо:

- составить ведомость деталей агрегата (комплектовочную карту);
- выделить детали, к которым предъявляются ограничения по массе;

- определить детали, входящие с соединения с нормативными зазором или натягом;
- назначить состав технологической операции по обеспечению массы деталей;
- обосновать и назначить состав технологических операций по обеспечению нормативных линейных или угловых замыкающих размеров в соединениях.

Содержание отчета: название и цель работы; описание назначения, устройства и работы агрегата; ведомость деталей с указанием ограничений по массе и технических требований к их соединениям; порядок обеспечения массы деталей и необходимых линейных или угловых замыкающих размеров; применяемое оборудование.

4.3. Сборка агрегатов и машин

Сборка – это последовательная установка составных частей изделия, образование разъемных и неразъемных соединений с достижением нормативных параметров точности.

4.3.1. Организация и процессы сборки

Доля сборочных работ в общей трудоемкости ремонта машин составляет 25...28 %. Качество их выполнения оказывает большое влияние на послеремонтную наработку техники, а производительность – на экономичность ремонта.

Объектом *узловой* сборки является составная часть машины, а *общей* сборки – агрегат или машина в целом. Узловую сборку ведут на специализированных стендах. Общая сборка бывает тупиковой или поточной. Тупиковую общую сборку ведет, как правило, один сборщик на стенде, поворачивая при необходимости предмет ремонта вокруг вертикальной или горизонтальной оси. При объемах ремонта более 2,5 тыс. агрегатов в год эффективна поточная сборка, которая предполагает специализацию рабочих мест, оснащение их необходимыми средствами и распределение рабочих по сборочным позициям, что снижает трудоемкость процесса.

Схема технологического процесса сборки, например, двигателя ЗМЗ-53, приведена на рис. 4.7. Основные сборочные переходы (рис. 4.8.) следующие: загрузка комплектующих и крепежных деталей и перемещение их на сборочные позиции, отсекающие подаваемых деталей по одной и их ориентирование относительно корпусной детали, силовое замыкание (образование соединений), внутри- и межпозиционное перемещение собираемых изделий. Силовому замыканию подлежат резьбовые и прессыновые соединения. Ручные переходы подачи и ориентирования деталей при сборке обладают большой трудоемкостью. Если автоматизировать, например, подачу и установку шайб и гаек и наживление последних при сборке коленчатого вала с маховиком и сцеплением, то производительность сборки узла повысится в 2,0...2,2 раза.

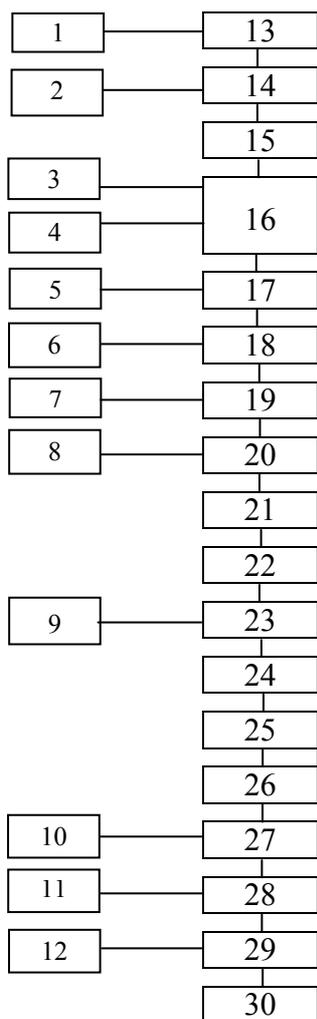


Рис. 4.7. Схема технологического процесса сборки двигателя 3МЗ-53:

I – узловая сборка: 1 – блока цилиндров с гильзами; 2 – сцепления; 3 – коленчатого вала с упорными шайбами, шестерней, маховиком и сцеплением; 4 – сальникодержателя с уплотнением; 5 – распределительного вала с фланцем, распорным кольцом, эксцентрик и противовесом; 6 – шатунно-поршневых групп; 7 – крышки распределительных шестерен с сальником; 8 – водяного насоса; 9 – головки цилиндров с клапанами и осью коромысел; 10 – привода распределителя; 11 – впускной трубы; 12 – масляного насоса.

II – общая сборка. Установка: 13 – блока цилиндров на стенд или конвейер, 14 – шпилек, 15 – пробок 16 – коленчатого вала, 17 – распределительного вала, 18 – шатунно-поршневых групп, 19 – крышки распределительных шестерен, 20 – водяного насоса, 21 – ступицы и храповика коленчатого вала, 22 – толкателей, 23 – головки цилиндров, 24 – коллекторов, 25 – штанг толкателей; 26 – регулировка клапанного механизма; установка: 27 – привода распределителя, 28 – впускной трубы, 29 – масляного насоса, 30 – масляного картера и картера сцепления (нижняя часть)

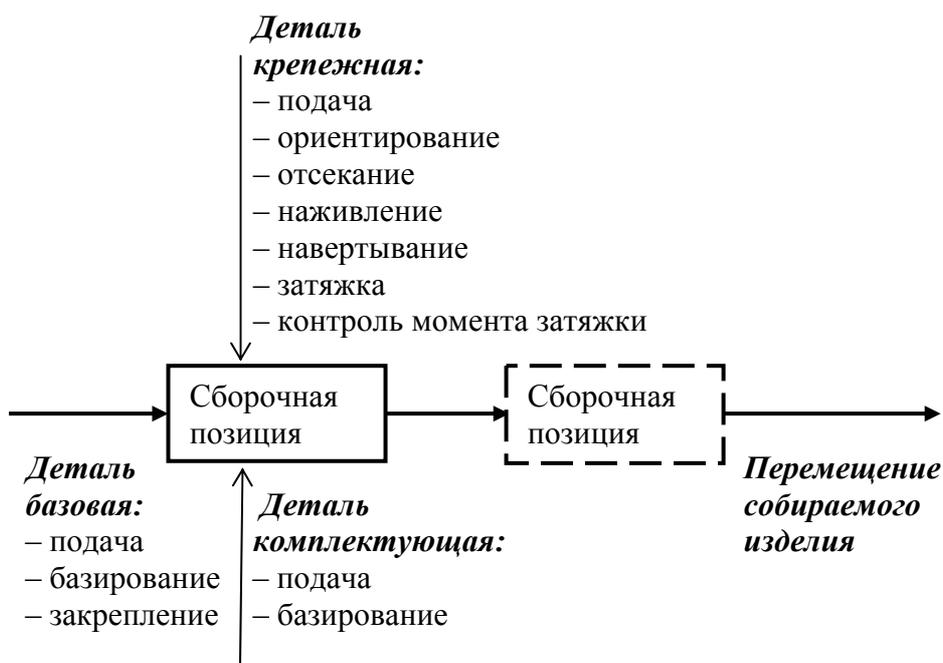


Рис. 4.8. Схема резьбосборочной операции

4.3.2. Сборочное оборудование

Технологический процесс сборки определяет состав оборудования. В этом оборудовании имеются опоры, на которые устанавливают базовые детали. Опорные элементы с собираемыми изделиями на сборочной позиции вращаются и (или) перемещаются поступательно. Вращательное перемещение на сборочной позиции необходимо с целью придания удобного положения базовой детали для базирования и закрепления комплектующих деталей при сборке. При поточной сборке собираемые объекты перемещаются поступательно между сборочными позициями.

На рис. 4.9 приведен стенд для узловой сборки коленчатого вала с маховиком и сцеплением. На нем также измеряют торцовое биение рабочей поверхности установленного маховика. Стенд включает основные части: корпус 1, шарнирно соединенную с ним поворотную раму 6 и пневмоцилиндр 2. На поворотной раме установлены призмы 8 для базирования детали, пневмоцилиндры 7 с рычагами 10 для закрепления детали, захват 9 и индикаторная головка 3 на стойке 4. Рабочие поверхности призм, рычагов и захвата наплавлены латунию.

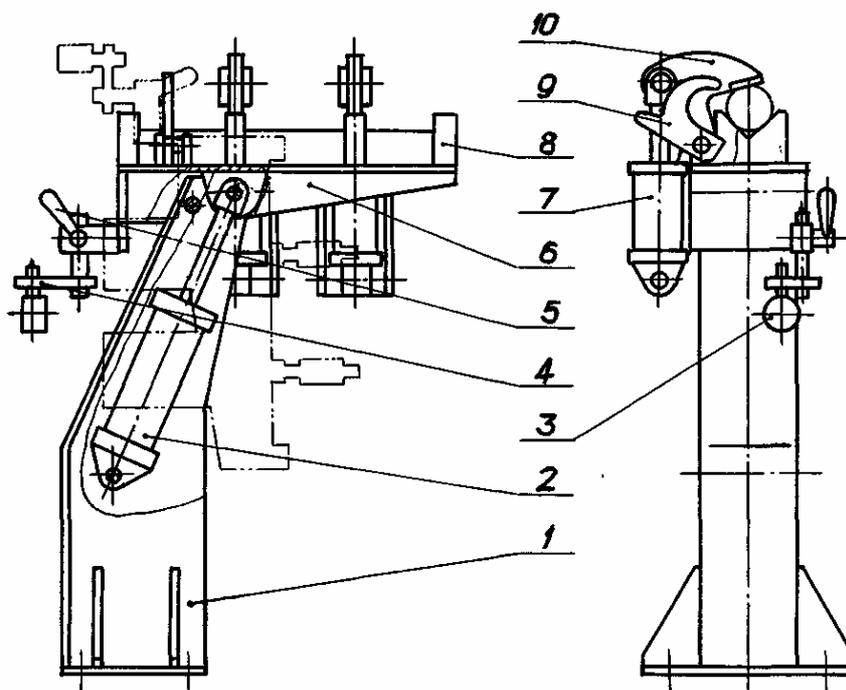


Рис. 4.9. Стенд для узловой сборки коленчатого вала с маховиком и сцеплением: 1 – корпус; 2 и 7 – пневмоцилиндры; 3 – индикаторная головка; 4 – стойка; 5 – рукоятка; 6 – поворотная рама; 8 – призма; 9 – захват; 10 – рычаг

Стенд работает следующим образом. В начале цикла индикаторное устройство занимает вспомогательное положение, а поворотная рама – горизонтальное. Штоки пневмоцилиндров втянуты, а захват откинут. На призмах базируют коленчатый вал коренными шейками. Захват сцепляют с шатунной шейкой. Деталь закрепляют за счет подачи сжатого воздуха под

поршни пневмоцилиндров 7. На фланец коленчатого вала устанавливают маховик и закрепляют его болтами с гайками. Захват препятствует вращению сборочной единицы при затяжке гаек. Затем раму с помощью пневмоцилиндра 2 поворачивают на 90° в вертикальное положение, а индикаторное приспособление – в основном, при котором щуп индикаторной головки касается рабочей поверхности маховика. Усилия пневмоцилиндров 7 подобраны таким образом, что они не препятствуют вращению сборочной единицы на призмах от руки за маховик в сторону, обратную вращению гаек. При этом торец первой коренной шейки и опорная поверхность призмы касаются друг друга. Биение торца маховика измеряют с помощью индикаторной головки, шатунная шейка при этом освобождается от захвата. Далее индикаторное устройство переводят во вспомогательное положение. На маховик устанавливают ведомый диск сцепления и с помощью центрирующей оправки ориентируют его относительно оси коленчатого вала. Устанавливают остальные части сцепления, а кожух сцепления крепят болтами к маховику. Поворотную раму переводят в горизонтальное положение, освобождают рычаги 10 и снимают собранный узел.

Для перемещения собираемых объектов при поточной сборке применяют эстакады и конвейеры. По эстакаде изделия перемещают вручную. Эстакаду ОНР-996 применяют, например, для сборки двигателей. Конвейеры обеспечивают механическое перемещение. Наибольшие удобства и наилучшее использование производственной площади обеспечивает вертикально-замкнутый тележечный конвейер (рис. 4.10). На каждой тележке конвейера установлен сборочный стенд с возможностью технологического вращения собираемого изделия вокруг горизонтальной или вертикальной оси. Сборщики стоят на пластинах, которые движутся вместе со стендами. Холостая ветвь цепи с пластинами и тележками проходит под полом.

Оборудование для штучной подачи и ориентирования деталей взаимодействует с оборудованием для силового соединения деталей.

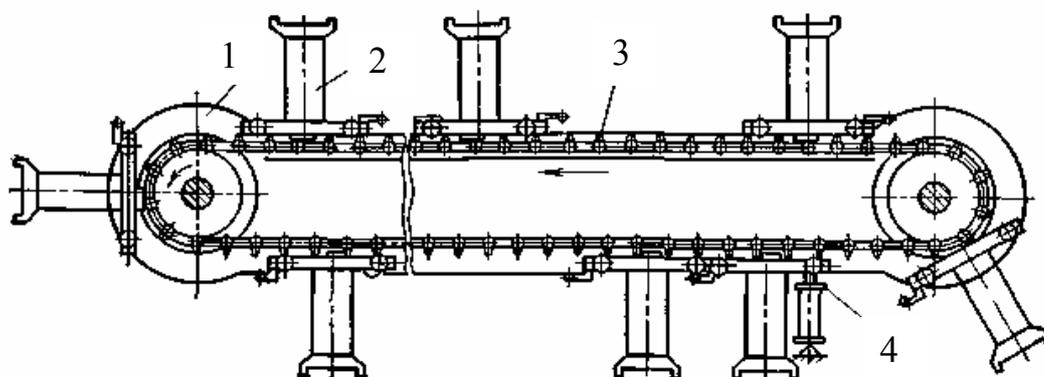


Рис. 4.10. Тележечный конвейер для сборки агрегатов: 1 – направляющие; 2 – грузонесущая тележка; 3 – тяговая цепь; 4 – останов

Подача деталей на технологические позиции эффективна при помощи вибрационных бункеров (рис. 4.11) с отсекателями и транспортными лотками. В вибрационном бункере имеется чаша, установленная на трех наклонных стержнях. Чаша за счет импульсов энергии совершает крутильные (вокруг вертикальной оси) и возвратно-поступательные (в вертикальном направлении) колебания, которые приводят к перемещению деталей вверх по спиральному лотку внутри чаши. Скорость подачи деталей зависит от зазора между сердечником магнита и якорем и напряжения, приложенного к обмотке. Разработан типоразмерный ряд бункеров с диаметром чаши от 60 до 630 мм для подачи деталей с размерами, соответственно, от 4 до 70 мм. Со спирального лотка вибробункера детали под собственным весом по гравитационному или принудительно по вибрационному лотку подают на сборочную позицию.

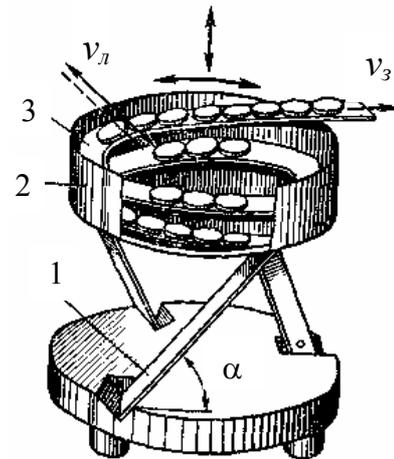


Рис. 4.11. Схема вибрационного бункера: 1 – наклонный стержень; 2 – чаша; 3 – спиральный лоток; α – угол наклона стержня к горизонту $\sim 45^\circ$; v_l – скорость перемещения лотка; v_z – скорость перемещения заготовок

Для автоматического соединения деталей их необходимо подавать в строго определенном положении. Применяют пассивное и активное ориентирование. В первом случае с подающего лотка сбрасываются неправильно ориентированные детали и на нем остаются детали, ориентированные правильно. Для этого используют конструктивные особенности лотков (наличие прорезей, упоров, планок и др.), которые обеспечивают подачу деталей в ориентированном положении, например стержнем винта вниз. Во втором случае детали переводят в требуемое положение принудительно. Применяют электромагнитный, пневматический и другие способы активного ориентирования деталей.

Отсекатели служат для штучной подачи деталей на сборочные позиции. Рабочие части отсекателей совершают поступательное или вращательное движение. Отсекатель в виде защелки приведен на рис. 4.12.

В качестве резьбозавертывающих средств применяют электромеханические гайковерты собственного изготовления или промышленные одношпиндельные гайковерты с электро- или пневмоприводом. Электрогайковерты питаются переменным током частотой 200 Гц. Для затяжки резьб с помощью ударно-вращательных импульсов применяют механизмы, которые делятся на частоударные (16...40 ударов в секунду) и редкоударные (до 3 ударов в секунду). Редкоударные гайковерты производят затяжку за 4...15 ударов. При затяжке частоударными гайковертами энергия удара ме-

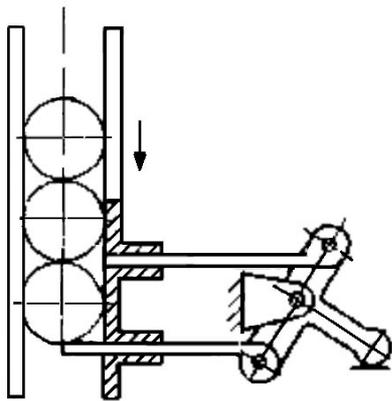


Рис. 4.12. Схема отсекателя

няется в течение 100...200 периодов. У редкоударных инструментов энергия отдельного удара не изменяется во времени.

Около 20 % резьбовых соединений агрегатов требуют затяжки нормированным моментом, значение которого установлено Руководством по капитальному ремонту. Это относится, например, к сборке головок шатунов, блока цилиндров с крышками коренных подшипников и с головкой цилиндров, маховика с коленчатым валом и др.

При ручной сборке ограничение момента затяжки обеспечивают применением специальных ключей, которые бывают двух видов: предельные и динамометрические. В предельном ключе связь между рукояткой и шпинделем разрывается при достижении необходимого момента затяжки. Динамометрический ключ имеет упругий элемент и шкалу со стрелкой.

В механизированных устройствах применяют следующие способы ограничения момента затяжки: установку проскальзывающих муфт на валу шпинделя, измерение силы тока в цепи электродвигателя или моментов на валах привода и отключение питания электродвигателя при достижении расчетных силы тока или момента. Чем с большей частотой вращается шпиндель с ключом, тем труднее обеспечить необходимый момент затяжки.

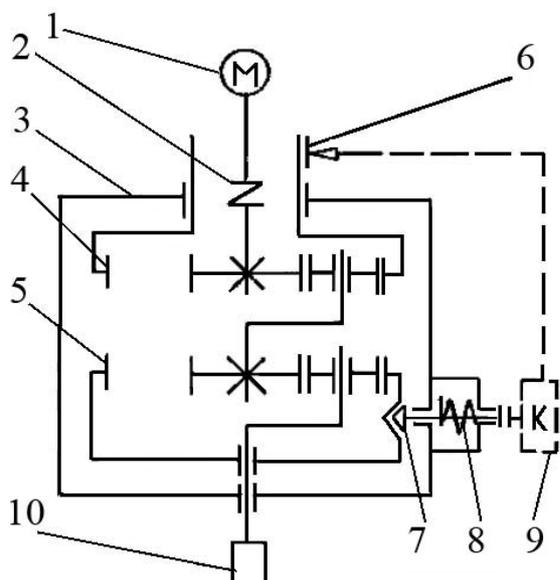


Рис. 4.13. Схема электромеханического гайковерта: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – корпус; 4 и 5 – корончатые колеса; 6 – колодочный тормоз; 7 – конический стержень; 8 – пружина; 9 – концевой выключатель; 10 – шпиндель

Это противоречие разрешают применением двухскоростных приводов. Низкомомментный привод с высокой частотой вращения (200...300 мин⁻¹) обеспечивает свободное навинчивание резьбовой детали, а высококомментный – затяжку соединения с малой частотой (до 20 мин⁻¹) до нормированного момента.

Схема электромеханического гайковерта для сборки ответственных резьбовых соединений приведена на рис. 4.13. Гайковерт содержит электродвигатель 1 с упругой муфтой 2, планетарный двухступенчатый редуктор со шпинделем 10. Корончатые колеса 4 и 5 обеих ступеней редуктора подвижны. Для измерения

крутящего момента на шпинделе используется колесо 5, имеющее на периферии коническое отверстие, в которое наконечником входит стержень 7. Усилие предварительного сжатия пружины 8 регулируется. Угол поворота колеса 5 и перемещение стержня 7 пропорциональны крутящему моменту на шпинделе. При достижении заданного значения этого момента стержень воздействует на концевой выключатель 9, включенный в цепь управления гайковертом. Колесо 4 в неподвижном положении фиксируется колодочным тормозом 6 с электромагнитным приводом.

При работе гайковерта его шпиндель соединяют с гайкой или головкой болта и при заторможенном колесе 4 включают электродвигатель. Планетарный редуктор при этом имеет одну степень свободы и передает момент от двигателя на заворачиваемую деталь. Во время затягивания резьбы колесо 5 под действием передаваемого момента, проворачиваясь, выдвигает стержень 7 и воздействует на конечный выключатель 9, от которого преобразованный сигнал поступает на колодочный тормоз. Последний освобождает колесо 4, а редуктор приобретает две степени свободы. В этом режиме поток мощности между двигателем и шпинделем разрывается, колесо 4 вращается вхолостую, а шпиндель останавливается.

Резкий разрыв потока мощности между двигателем и шпинделем после достижения требуемого момента затяжки в сочетании с малой инерционностью гайковерта обеспечивает нормированный момент затяжки собираемых деталей.

В качестве прессосборочных агрегатов при усилиях сборки до 2,5 кН целесообразно применять пневмоприводы с диаметрами цилиндров до 250 мм, а при больших сборочных усилиях – гидроприводы с диаметром цилиндров 63...125 мм.

Повышение прочности соединений с натягом обеспечивает теплопрессовая сборка. Прочность посадок, полученных нагревом перед сборкой охватывающей детали или охлаждением охватываемой, в 2,0...2,5 раза выше прочности соединений, полученных без теплового воздействия. Объясняется это тем, что в первом случае микронеровности при формировании соединений не разрушаются, а выступы поверхностей упруго взаимодействуют друг с другом.

Сборка с нагревом рекомендуется для соединений, у которых предусмотрены значительные натяги, а также в случае когда охватывающая деталь выполнена из материала с высоким коэффициентом линейного расширения, а узел в агрегате нагревается. Если такие соединения собрать без нагрева, то при эксплуатации прочность их значительно снижается. В процессе сборки нагревают, например, венец маховика (при установке его на маховик) и поршень – перед установкой поршневого пальца, а седло клапана охлаждают в жидком азоте перед установкой его в блок или головку цилиндра.

Стенд для теплопрессовой сборки шатунно-поршневых групп (рис. 4.14) предназначен для нагрева поршней и сборки их с шатунами и поршневыми пальцами. Механизированы технологические переходы: нагревание поршней до 90 °С, перемещение их на сборочную позицию, взаимное ориентирование деталей, сборочное перемещение поршневого пальца. Переходы, выполняемые вручную: загрузка поршней в лоток, предварительное базирование деталей при сборке, снятие собранного узла, установка стопорных колец поршневого пальца.

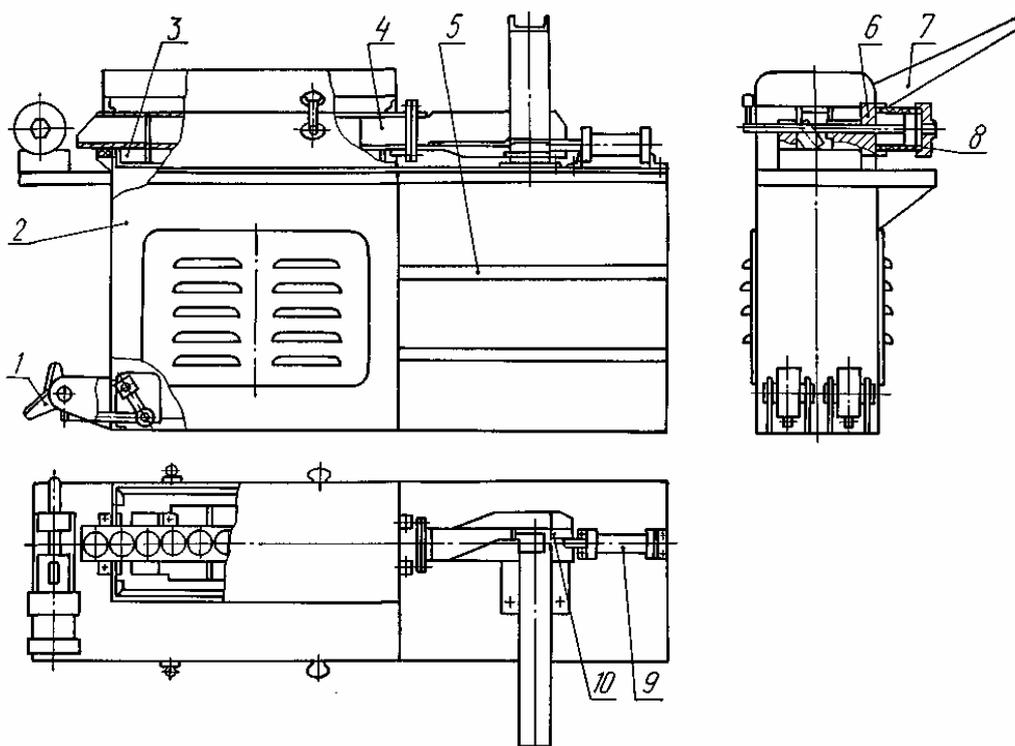


Рис. 4.14. Стенд для сборки шатунно-поршневой группы: 1 – педальный привод; 2 – корпус; 3 – нагреватель; 4 – лоток; 5 – стеллаж; 6 – прессосборочный механизм; 7 – питатель; 8 и 9 – пневмоцилиндры; 10 – отсекаль

Механизмы стенда – питатель 7, отсекаль 10, лоток 4, нагреватель 3, прессосборочный механизм 6 – установлены на корпусе 2, а электро- и пневмоаппаратура – внутри него. Запас деталей хранится на стеллаже. Питатель выполнен в виде гравитационного лотка. Отсекаль подает при помощи пневмоцилиндра 9 поршни в зону нагрева и сборки. Поверхность лотка нагревается ТЭНами, а температура контролируется датчиком.

Прессосборочный механизм состоит из пневмоцилиндра 8 и корпуса с опорно-базирующими элементами. Пневмоцилиндры отсекателя и прессосборочного механизма включаются пневмокранами с педальным приводом.

Перед началом работы включают ТЭНы и подают сжатый воздух. На лоток питателя устанавливают комплект поршней (8 ед.). Поршни поочередно подаются в нагретый лоток с помощью пневмоцилиндра. На лотках помещается 24 поршня. В отверстие прессосборочного механизма (в кото-

ром движется шток пневмоцилиндра) после выдержки 10 мин через окно укладывают поршневой палец. В соответствующую ячейку днищем вниз устанавливают нагретый поршень. В него вкладывают шатун. Сквозь отверстия в деталях вставляют центрирующую оправку до касания в торец поршневого пальца. Нажатием на педаль включают пневмоцилиндр сборочного механизма, шток которого перемещает поршневой палец в бобышки поршня. Центрирующая оправка выходит из поршня, но остается в левой части корпуса. Собранный шатунно-поршневую группу извлекают из сборочного механизма вручную. Производительность стенда – 400 сборок в смену.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем характеризуется качество сборки? 2. В чем заключается влияние качества сборки на послеремонтную наработку агрегата? 3. Определите резервы повышения производительности сборки агрегатов на ремонтном заводе. 4. Из операций какого вида состоит процесс сборки агрегата? 5. Как организуют сборочный процесс? 6. Приведите направления механизации сборки? 7. В чем заключается преимущество теплопрессовой сборки? 8. Каким образом обеспечивают точность затяжки резьбовых соединений?

Лабораторная работа № 6

СБОРКА ШАТУННО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ

В шатунно-поршневую группу входят: поршень с поршневыми и стопорными кольцами, шатун в сборе с втулкой, крышкой и болтами с гайками.

Цель работы – изучить оборудование и процесс сборки узла, провести наблюдение процессов и приобрести практические навыки по назначению режимов сборки.

Оборудование, документация: стенд 1ПСБ4-041 для теплопрессовой сборки шатунно-поршневых групп; комплект собираемых изделий; операционная карта.

Порядок выполнения работы:

– определить температуру нагрева поршня из алюминиевого сплава из расчета, чтобы нормативный натяг в соединении превратился в сборочный зазор. Для расчета температуры нагрева поршня Δt применить формулу

$$\Delta t = (\delta_{\max} + \delta_0) / (\alpha d), \quad (4.10)$$

где d – номинальный диаметр посадки, мм; δ_{\max} – наибольший натяг посадки, мм; δ_0 – минимально необходимый зазор, обеспечивающий свободную сборку (рекомендуется принимать Н6/г6 или Н6/гф6), мм; α – температурный коэффициент линейного расширения, K^{-1} ;

- нагреть поршень до расчетной температуры;
- установить поршень на сборочную позицию;
- установить поршневой палец в прессосборочный механизм;
- установить шатун в бобышки поршня и ориентировать изделия центрирующей оправкой;

- приложить к поршневому пальцу сборочное усилие и переместить его в отверстие поршня;
- установить стопорные кольца;
- установить в канавки поршня поршневые кольца.

Содержание отчета: название и цель работы; описание принципа работы стенда для теплопрессовой сборки шатунно-поршневой группы; расчет температуры нагрева поршня; описание сборочной операции; выводы.

4.4. Окрашивание машин и нанесение противокоррозионных покрытий

Окрашивание машин – это нанесение на подготовленные поверхности лакокрасочных материалов и их сушка для защиты машин от неблагоприятного воздействия внешней среды и придания им товарного вида. *Противокоррозионная защита* необходима для поверхностей, подверженных интенсивному влиянию влаги и солей.

4.4.1. Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) представляют собой многокомпонентные вещества, способные при нанесении тонким слоем на поверхность изделия затвердевать с образованием покрытия, удерживаемого силами адгезии.

Основные компоненты ЛКМ – это пленкообразующие вещества, пигменты, растворители, разбавители и сиккативы. Кроме того, в небольших количествах могут входить пластификаторы, наполнители, катализаторы, отвердители, инициаторы и ускорители полимеризации, эмульгаторы, токситропные добавки и добавки для растекания.

Пленкообразующие вещества составляют основу покрытия в виде плотной коррозионно-стойкой пленки. В качестве таких материалов применяют природные и искусственные смолы и синтетические высокомолекулярные соединения.

Естественные и искусственные смолы легко растворяются в маслах. Пленки из смол приобретают повышенную прочность и стабильность под действием света. Естественные смолы состоят из канифоли, сандарака, шеллака, копалов. К искусственным смолам относятся твердые или жидкие продукты переработки нефти (гудроны и пеки), продукты переработки природных смол (например, эфиры канифоли). Нашли широкое применение такие искусственные смолы: алкидные, глифталевые, пентафталевые, мочевино-, меламино- и фенолформальдегидные, перхлорвиниловые и эпоксидные. Применяют также сочетания смол.

Ряд синтетических соединений получают в результате полимеризации или поликонденсации исходных материалов, например, эфиров.

Пигменты (сухие краски) вводят в ЛКМ с целью придания ему необходимого цвета, повышения прочности пленки и улучшения ее адгезии.

онных свойств. Пигменты представляют собой порошкообразные цветные оксиды или соли металлов, не растворимые в воде, растворителях и пленкообразующих веществах. Основные свойства пигмента: цвет, укрывистость, интенсивность, маслосмолность, светостойкость и стойкость к химическому воздействию веществ.

Укрывистость – свойство пигмента, растертого в масле, закрывать окрашиваемую поверхность так, чтобы не проступал цвет ранее окрашенной поверхности.

Интенсивность – способность пигмента передавать свой световой тон другим веществам.

Маслосмолность – количество масла в граммах, необходимое для получения густотертой краски-пасты.

Растворители применяют для растворения пленкообразующих веществ. В качестве растворителей используют скипидар, уайт-спирит, толуол, ксилол, сольвент, сложные эфиры (метилацетат, этилацетат), ацетон и их составы.

Растворы пленкообразующих веществ в летучих органических растворителях называют *лаками*.

Разбавители применяют для разжижения ЛКМ, загустевших во время складского хранения, а также для доведения их до рекомендуемой рабочей вязкости.

Наполнители – природные продукты, добавляемые в ЛКМ для улучшения прочностных и защитных свойств покрытий, а также для их удешевления. В качестве наполнителей применяют мел, барит, каолин, тальк и др. Некоторые наполнители (слюда, асбест и др.) вводятся для повышения теплостойкости покрытий.

Сиккативы применяются в ЛКМ для ускорения процесса их сушки. Они представляют собой марганцевые, свинцовые или кобальтовые соли. Сиккативы вводят в состав ЛКМ в строго определенном количестве. Избыток или недостаток сиккатива может вызвать ухудшение качества пленки.

Лакокрасочное покрытие многослойное, каждый слой которого играет свою функциональную роль. Нижний грунтовочный слой наносят на подготовленную поверхность с целью обеспечения адгезии и защиты металла от коррозии. Промежуточный шпатлевочный слой служит для заполнения неровностей и сглаживания окрашиваемой поверхности. Верхний эмалевый слой обеспечивает получение необходимого цвета и шероховатости поверхности. Таким образом, в зависимости от назначения, ЛКМ подразделяют на грунтовки, шпатлевки и эмали.

Грунтовки представляют собой ЛКМ с повышенным содержанием неорганических противокоррозионных пигментов. Грунтовки защищают металл от влияния влаги, пассивируют или фосфатируют его и обеспечивают катодную защиту. Адгезионная прочность грунтовочного слоя обрат-

но пропорциональна его толщине, поэтому ее ограничивают значением 45 мкм. Поверхность грунтовки после высыхания матовая.

Шпатлевки – это ЛКМ, предназначенные для выравнивания поверхности перед нанесением верхних слоев покрытий. За счет большого количества минеральных наполнителей шпатлевки обладают большей вязкостью, чем остальные ЛКМ. Их наносят на слой грунтовки. Предельная толщина слоя определяется усадкой материала, которая составляет для полиэфирных и эпоксидных шпатлевок до 0,1 %, алкидных и пентафталевых – 2...4 % и нитрошпатлевок – 10...15 %.

Эмали – это материалы верхнего слоя покрытия, представляющего собой непрозрачную, прочную и гладкую пленку. Эта пленка обладает необходимым цветом, свето- и влагостойкостью. Если эмаль получают путем растирания пигментов с лаками, то ее состав представляет собой суспензию пигментов. В зависимости от вида лаков, на основе которых изготовлены эмали, они бывают масляные, глифталевые, пентафталевые, перхлорвиниловые и др. Эмали выпускают разведенными, однако, в зависимости от способа нанесения, вязкость их может быть изменена введением разбавителей.

Эмали горячей сушки высыхают при температуре свыше 110 °С, а эмали холодной сушки – при 18...25 °С.

Обозначение ЛКМ содержит 5...6 индексов.

Первый индекс в словесном выражении определяет его вид (грунтовка, шпатлевка, эмаль, лак и др.).

Затем следует буквенное обозначение, определяющее состав пленкообразующего вещества. Приняты следующие буквенные обозначения веществ: глифталевые – ГФ, пентафталевые – ПФ, меламиноалкидные – МЛ, мочевиновые – МЧ, фенольные – ФЛ, кремнийорганические – КО, дивинилацетиленовые – ВН, каучуковые – КЧ, полиамидные – АД, полиэфирные насыщенные – ПЭ, полиуретановые – УР, полиакриловые – АК, сополимерно-акриловые – АС, нитроцеллюлозные – НЦ, этилцеллюлозные – ЭЦ, перхлорвиниловые – ХВ, сополимерно-винилхлоридные – ХС, фенолоалкидные – ФА, эпоксидные – ЭП, эпоксиэфирные – ЭФ, алкидно- и масляностирольные – МС, фторопластовые – ФП, поливинилацетальные – ВЛ, битумные – БТ, канифольные – КФ, масляные – МА.

После индекса через дефис следуют цифры, первые из которых (одна или две) определяют назначение лакокрасочных покрытий: 1 – атмосферостойкие, 2 – ограниченно атмосферостойкие, 4 – водостойкие, 5 – специальные (например, светящиеся), 6 – маслобензостойкие, 7 – химически-стойкие, 8 – термостойкие, 9 – электроизоляционные. Грунтовки обозначаются – 0, а шпатлевки – 00.

После цифрового индекса может быть несколько букв, характеризующих цвет или особенности материалов, например, ГС – горячая сушка, ХС – холодная сушка, НГ – негорючий, М – для матовых покрытий.

В ряде случаев необходимо защитить поверхность от контакта с наносимыми ЛКМ. Эту функцию выполняют изолирующие составы, которые должны легко наноситься на поверхность и удаляться тампоном без при-

менения растворителей, не взаимодействовать с металлом и покрытиями. При горячей сушке изолирующие составы не должны гореть, растекаться и проникать в покрытие. Составы некоторых изолирующих паст приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Составы изолирующих паст

Компоненты	Вещества в составах (весовые части)		
	№ 1	№ 2	№ 3
Глицерин	30	10	–
Мел	40	35	35
Декстрин	20	5	10
Минеральное масло	20	30	–
Вода	10	30	25

Изолирующие составы удаляют пастой состава (% массы): хозяйственное мыло – 6, тринатрийфосфат – 2, вода – 92. Паста выдерживает нагрев до температуры 110 °С.

4.4.2. Технология окрашивания

Высокие требования к окрашиванию поверхностей предъявляют при ремонте автомобилей, а наиболее высокий технический уровень имеет окрасочное производство при их изготовлении.

Эталонном для ремонтного производства является процесс окрашивания кузовов легковых автомобилей на автозаводе, который включает:

- обезжиривание и фосфатирование поверхностей;
- нанесение первого слоя грунтовки электроосаждением;
- нанесение второго слоя грунтовки, который играет роль грунтшпатлевки;
- нанесение уплотнительных мастик на швы кузова и противошумной мастики на днище кузова;
- мокрое шлифование кузова;
- нанесение трех слоев меламиноалкидной эмали способом “мокрый по мокрому”;
- сушку в проходных конвекционных печах;
- исправление дефектов (правка, шлифование, протирка, сушка, подкрашивание, полирование).

Толщина слоев покрытия (мкм) составляет: фосфатного – 5...8, электрофорезной грунтовки – 20...35, второй грунтовки – 30...45, эмали – 35...45.

Качество лакокрасочного покрытия зависит от свойств применяемых ЛКМ, технологии их нанесения и сушки. Процесс окрашивания (рис. 4.15) включает подготовку окрашиваемых поверхностей, нанесение слоев лакокрасочного покрытия с их сушкой, обработку и очистку.

Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием состоит в очистке, полном или частичном снятии старого покрытия, правки поверхностей, удалении ржавчины (травления) и фосфатировании. Часть этих операций выполняют на очистном участке.

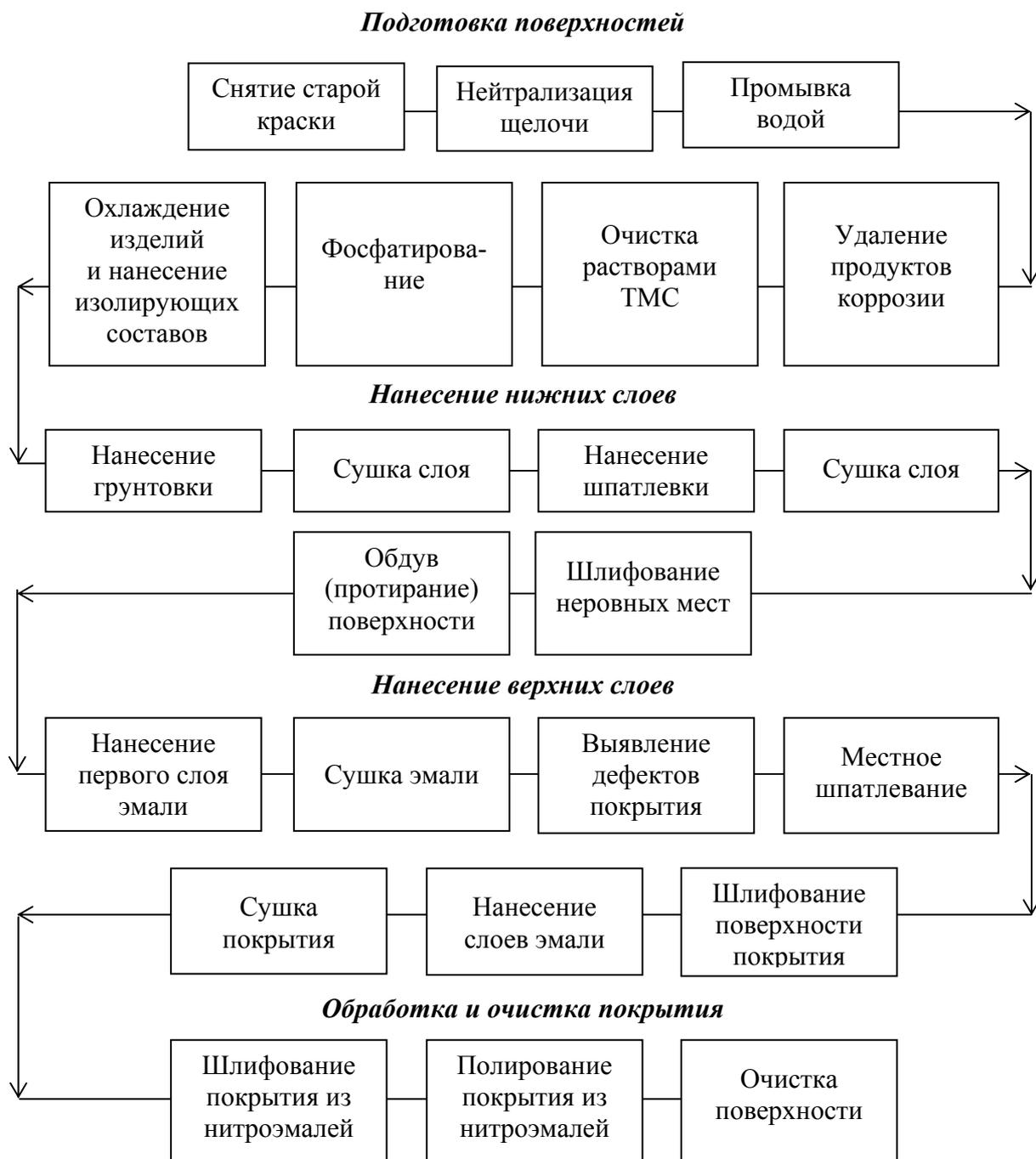
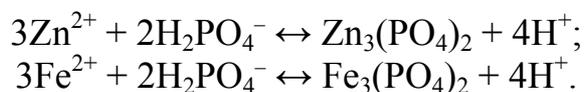


Рис. 4.15. Схема технологического процесса окрашивания машин

Окрашиваемые поверхности непосредственно перед нанесением ЛКМ очищают в растворах ТМС под давлением 0,5...10 МПа в струйных очистных машинах с последующей сушкой или путем протирания поверхностей ветошью, смоченной органическими растворителями (например, бензином-растворителем или сольвентом каменноугольным).

Фосфатирование – это процесс химической обработки стальных изделий фосфорсодержащими веществами с целью получения на поверхности изделий слоя нерастворимых в воде фосфорнокислых соединений.

Образование фосфатного слоя происходит в результате химического взаимодействия веществ в тонком слое раствора, примыкающего к поверхности детали. При значении pH ~ 4 растворяется металл ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2e$, $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{+2} + 2e$), выделяется водород ($2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2\uparrow$) и образуются фосфаты:



На поверхности детали образуется пленка $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$.

На автозаводах применяют растворы КФ-1 и КФ-12 при температуре 45 °С. Раствор КФ-1 имеет следующий состав (% массы): оксид цинка – 13,7; ортофосфорная кислота (87 %-ная) – 31,9; азотная кислота (57 %-ная) – 14,3; вода – 40,1.

Для фосфатирования в условиях ремонтного предприятия применяют следующие составы (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Составы для фосфатирования

Компоненты	Составы, % массы	
	№ 1	№ 2
Ортофосфорная кислота	40	–
Алюминий фосфорнокислый однозамещенный	5	–
Хромовый ангидрид	10	–
Калий марганцовокислый	10	–
Этиловый спирт	20	–
Бутиловый спирт	5	–
Цинк фосфорнокислый однозамещенный	10	12
Натрий азотнокислый	–	0,25
Натрий фтористый	–	0,75
Вода	–	87

Процесс фосфатирования протекает при температуре 18...22 °С в течение 30...40 мин. Пористость фосфатной пленки уменьшается при нанесении на нее раствора основного бихромата хрома концентрацией 0,7...1,5 г/л при температуре 30...50 °С. Промытая фосфатированная поверхность хорошо смачивается ЛКМ.

Температура окрашиваемых поверхностей перед нанесением покрытий должна быть равной температуре воздуха в помещении.

Шлифование нижних слоев покрытий перед нанесением верхних слоев обеспечивает лучшую адгезию последних.

Основные способы нанесения лакокрасочных покрытий следующие: пневматическое (без подогрева и с подогревом), безвоздушное и аэрозольное распыление, струйный облив, окунание, распыление в электростатическом поле высокого напряжения и электроосаждение.

Наиболее распространено пневматическое распыление с подогревом или без подогрева материала.

Пневматическое распыление без подогрева применяют для нанесения почти всех ЛКМ на разные поверхности (за исключением внутренних). Материал, разведенный до вязкости 17...30 с по вискозиметру ВЗ-246 (с соплом диаметром 4 мм), при распылении образует частицы размером 10...60 мкм. При нанесении покрытия краскораспылитель перемещают со скоростью 300...400 мм/с параллельно окрашиваемой поверхности на расстоянии 250...300 мм от нее. Форма факела краски в сечении овальная, большая ось овала около 300 мм. Однако процесс сопровождается образованием вредного для здоровья работающих тумана с потерей 20...40 % ЛКМ и требует применения специальных окрасочных камер со сложными устройствами для вытяжки и очистки воздуха.

Распространены ручные краскораспылители ЗИЛ с подводом краски по шлангу, КРУ-1 с верхним бачком и С-512 с нижним бачком.

Пневматическое распыление с подогревом ЛКМ протекает без дополнительного применения растворителей. Нагрев уменьшает вязкость и поверхностное натяжение ЛКМ. Применение способа уменьшает расход растворителей на 30...40 %, позволяет использование материалов с высокой исходной вязкостью, повышает укрывистость материала, уменьшает потери на его туманообразование вследствие уменьшения содержания растворителя в ЛКМ, увеличивает глянец покрытия. Способ обеспечивает распыление битумных лаков, глифталевых, нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых лаков и эмалей.

Для подогрева ЛКМ применяют установку УГО-5М во взрывобезопасном исполнении, мощность нагревателя которой 0,8 кВт, температура материала при длине шланга 4 м – 70 °С и давление 0,1...0,4 МПа, температура воздуха – 50 °С и давление его 0,2... 0,4 МПа.

Применение перегретого пара с температурой до 130 °С под давлением 0,3...0,4 МПа вместо сжатого воздуха обеспечивает экономию материалов на 10...20 % и возможность использования густых синтетических эмалей.

Безвоздушное распыление ЛКМ состоит в том, что ЛКМ нагревают до температуры 40...100 °С и под давлением 4...10 МПа подают к распылительному устройству. Факел распыления формируется за счет перепада давления при выходе ЛКМ из сопла распылителя и последующего быстрого испарения части нагретого растворителя, которое сопровождается значительным его расширением. Потери материала при этом составляют только 5...12 %. Производительность безвоздушного распыления почти в два раза выше, чем воздушного.

Схема установки для безвоздушного распыления ЛКМ приведена на рис. 4.16. В этой установке краску из емкости 1 насосом 2 подают через нагреватель 6, фильтр 7 к краскораспылителю 9. Температуру краски измеряют термометром 8, а давление – манометром 3. Неиспользованную часть краски направляют через клапан 4 обратно в емкость 1. После окончания работы краска из системы сливается через кран 5.

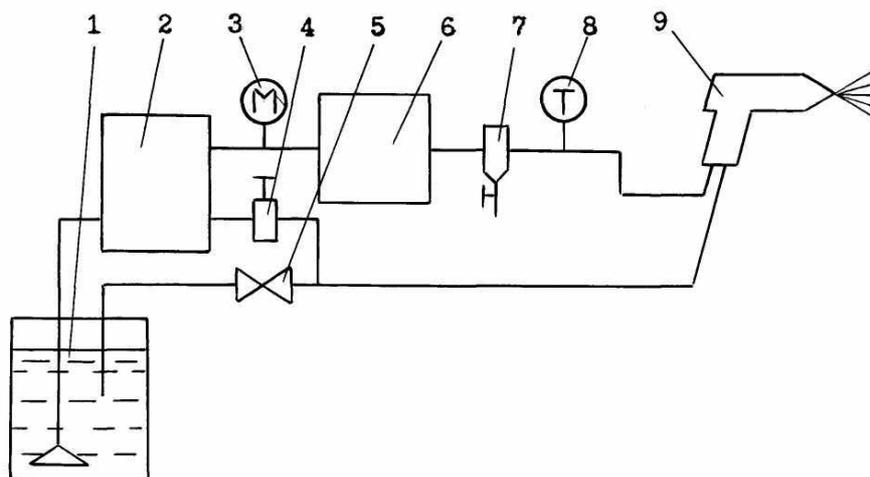


Рис. 4.16. Схема установки для безвоздушного распыления лакокрасочных материалов: 1 – емкость; 2 – насос; 3 – манометр; 4 – клапан; 5 – кран; 6 – нагреватель; 7 – фильтр; 8 – термометр; 9 – краскораспылитель

Факел наносимых материалов при безвоздушном распылении имеет четкие границы и защищен от окружающей среды оболочкой из паров растворителя. По сравнению с пневматическим распылением способ обеспечивает уменьшение потерь на туманообразование на 20...35 % и расхода растворителя – на 15...25 % с сокращением времени окрашивания.

Для безвоздушного распыления применяют установки УРБ-2, УРБ-3 и УРБ-150П с распыляющими устройствами: 1Б, 2Б, 3Б, 4Г и 5А, дающие ширину окрасочного факела от 100 до 410 мм. Расход ЛКМ 320...1000 г/мин.

Распыление без нагрева производят при температуре ЛКМ 18...23 °С и давлении 10...25 МПа. Способ рекомендуется при окрашивании крупногабаритных изделий.

Производительность распыления ЛКМ повышают путем применения окрасочных роботов, например РБ-11.

Аэрозольное распыление позволяет подкрашивать техники, в том числе в полевых условиях.

Струйный облив заключается в том, что изделие покрывают ЛКМ из сопел душевого устройства.

Облив производится без последующей выдержки в парах растворителя и с выдержкой. Выдержка в парах растворителя при температуре ~ 20 °С протекает в отдельной камере (паровом тоннеле), что обеспечивает стекание материала и получение гладкого покрытия одинаковой толщины. Расход материалов при этом в 2...3 раза меньше, чем при нанесении пневматическим распылением.

Окунание – процесс нанесения ЛКМ при погружении изделий в ванну, наполненную ЛКМ. После выдержки в ванне изделие вынимают из жидкости и выдерживают над ванной для стекания лишнего материала.

Способ обеспечивает окрашивание всей поверхности изделия с затеканием ЛКМ в зазоры, щели и карманы.

Покрытия, нанесенные способом окунания, по внешнему виду хуже, чем нанесенные распылением.

Сущность *распыления в электростатическом поле высокого напряжения* (рис. 4.17) заключается в переносе заряженных частиц ЛКМ в воздушной среде за счет разности потенциалов между электродами. В электростатическом поле наносят грунты, нитроэмали, пентафталевые, глифталевые, меламиноалкидные и перхлорвиниловые эмали. Одним из электродов является коронирующее краскораспылительное устройство, другим – окрашиваемое изделие. Распылительные головки 7, которые приводятся во вращение посредством электродвигателя 3 и редуктора 4, распыляют краску в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Раздробленные частицы ЛКМ попадают в электростатическое поле, перемещаются и осаждаются на поверхности изделия. При напряжении между электродами 60...140 кВ поддерживают напряженность 2,4...6,5 кВ/см и рабочий ток 20...70 мА на один распылитель. Расстояние от распылителя до окрашиваемой поверхности 250...300 мм. Способ дает возможность осадить 95...98 % материала, увеличить производительность труда до 2,5 раз и улучшить его санитарно-гигиенические условия.

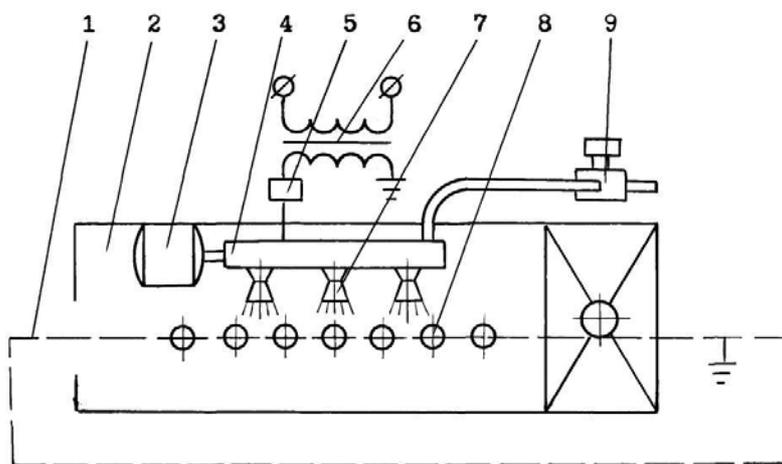


Рис. 4.17. Схема установки для окрашивания деталей в электростатическом поле: 1 – конвейер подвесной; 2 – камера; 3 – электродвигатель; 4 – редуктор; 5 – выпрямитель; 6 – трансформатор; 7 – распылительные головки; 8 – окрашиваемые изделия; 9 – насос шестеренчатый

Окрашивание в электростатическом поле выполняется в стационарных камерах или при помощи передвижных ручных установок типа УЭРЦ-1, УЭРЦ-4.

В основу *электроосаждения* водоразбавляемых ЛКМ положен принцип электрофореза, который заключается в переносе заряженных частиц материала в жидкости к одному из электродов (изделию) в результате приложенного напряжения. Частицы ЛКМ находятся в деминерализованной воде в виде взвеси. Способ применяют для нанесения грунтовок.

Слой шпатлевки наносят на неровную грунтованную поверхность вручную шпателем или путем распыления. Этот слой сначала выравнивают шпателем, а затем обрабатывают абразивной шкуркой.

Сушка лакокрасочного покрытия – это процесс образования его пленки. Во время сушки термопластичных материалов испаряется растворитель, а во время сушки термореактивных материалов происходит их полимеризация и поликонденсация.

Сушка лакокрасочных покрытий может быть холодной естественной (температура 12...20 °С) и горячей с применением принудительного нагрева (температура 40...300 °С). При выборе вида и режима сушки учитывают тип ЛКМ, толщину покрытия, теплопроводность и толщину окрашиваемого материала, температуру и влажность воздуха и интенсивность теплообмена. При увеличении толщины покрытия и окрашиваемого материала процесс сушки замедляется. Необходимо учитывать, что при сушке масло-содержащих материалов необходим кислород для образования пленки.

Распространенные виды сушки: конвекционная, терморadiационная и фотохимическая.

Конвекционная сушка заключается в нагреве изделий в сушильной камере горячим воздухом или продуктами сгорания топлива. При этом быстро затвердевает верхний слой краски, а ее корка задерживает испарение растворителя, что приводит к образованию пор в покрытии. Увеличение интенсивности обдува изделий ускоряет сушку, но уменьшает эластичность покрытия. Используют паровые, газо- и жидкотопливные, электрические и светолучевые сушилки.

Терморadiационная сушка окрашенного изделия протекает в инфракрасных лучах. Применяют темные и светлые излучатели. Их выбор определяется видом применяемого лакокрасочного покрытия. Покрытия, при одной и той же плотности падающего потока от светлого излучателя, поглощают неодинаковое количество энергии, поэтому пленки нагреваются до разной температуры: светлые покрытия нагреваются и высыхают медленнее, темные – быстрее. При использовании темных излучателей коэффициент поглощения инфракрасных лучей практически не зависит от цвета лакокрасочного покрытия.

При терморadiационной сушке лучистая энергия поглощается металлом под краской, поэтому летучая часть покрытия сначала испаряется из нижнего слоя. Высыхание покрытия начинается интенсивнее с поверхности металла и постепенно доходит до верхнего слоя, который затвердевает последним. Все это повышает прочность и другие свойства лакокрасочного покрытия.

Фотохимическая сушка (ультрафиолетовым излучением) применяется для ЛКМ (например, полиэфирных лаков) на основе пленкообразую-

щих смол, растворенных в мономере, когда имеются ограничения температурного характера как для покрытия, так и для окрашиваемой поверхности. Ультрафиолетовое облучение производится в атмосфере, насыщенной озоном. Продолжительность сушки сокращается в несколько раз.

Окончательная отделка покрытий заключается в придании поверхности декоративного блеска. Для этого покрытие шлифуют шкуркой зернистостью 4...8 с последующей промывкой водой и обдувом. Затем слой покрывают разбавителем 648 для сглаживания штрихов и мелких царапин. После сушки поверхность полируют пастами с дисперсностью абразива 20...40 мкм, используя полировальные машины, и протирают фланелью.

4.4.3. Особенности ремонтного окрашивания

В отличие от окрашивания на специализированном ремонтном предприятии (с полным удалением старого лакокрасочного покрытия) в ремонтных мастерских применяют частичное окрашивание при разрушении до 50 % поверхности покрытий. Поврежденный участок шлифуют до грунта или до металла. Обнаженный металл грунтуют, а поверхность выравнивают шпатлевкой. Покрытие шлифуют до выведения следов перехода, а быстросохнущий слой эмали наносят из аэрозольного баллончика или при помощи краскораспылителя. При выборе ЛКМ должна быть обеспечена совместимость по составу последующих слоев материала с предыдущими.

Для специальной защиты металла в особо неблагоприятных условиях (солевой туман, сернистые и кислые газы) предназначены ЛКМ на основе эпоксидных, эпоксидозфирных или хлорвиниловых смол.

Для ремонтного окрашивания поверхностей применяют грунтовки с инертными пигментами (ГФ-021, ФЛ-03К, ФЛ-03КК, НЦ-081); пассивирующие (ГФ-017, ФЛ-03Ж, КФ-030), содержащие цинковый крон, хроматы и др.; протекторные (ПС-1, ЭП-057), содержащие металлический порошок с более отрицательным потенциалом, чем железо; фосфатирующие (ВЛ-02, ВЛ-023) и преобразователи ржавчины (Э-ВА-01ГИСИ, Э-ВА-0112, Э-ВА-013ЖТ).

Наибольшее применение нашли грунтовки – преобразователи ржавчины и цинконаполненные. Первые содержат в своем составе водные дисперсии полимеров (например, поливинилацетата), кислоты (фосфорную, щавелевую), танин или другие компоненты. Они взаимодействуют с гидратированными оксидами железа и переводят ржавчину в неактивное состояние с образованием нерастворимых соединений. По высушенному слою преобразователя ржавчины наносят обычную грунтовку, например, ГФ-020. Вторые грунтовки содержат цинк, алюминий, магний, никель и кремний. Их применяют и как самостоятельные покрытия. Связующими в них могут быть любые органические или неорганические вещества (эпоксидная, поливинилбутиральная и силиконовая смолы, хлоркаучук, поливи-

нилхлорид, полистирол, материалы на силикатной основе). Цинконаполненные композиции по влаго- и паростойкости превосходят покрытия, полученные способом напыления, горячего цинкования и электроосаждения.

Лучшими материалами для выравнивания дефектной поверхности являются двухкомпонентные полиэфирные шпатлевки (в России налажен выпуск шпатлевки ПЭ-00-85). Эти шпатлевки легко разравниваются, практически не дают усадки и допускают за один переход нанесение слоя толщиной 2...3 мм. Продолжительность их отверждения при комнатной температуре составляет 5...60 мин.

Наиболее применяемые эмали для ремонтного окрашивания, растворители и режимы сушки приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Эмали, применяемые для ремонтного окрашивания

Эмали	Режим сушки		Растворитель	Вязкость по ВЗ-4, с
	Температура, °С	Время, мин		
МЛ-197 разных цветов	100...110	30	Р-197 или 647	20...24
МЛ-1110 разных цветов	130	30	Р-197 или 547	22...24
МЛ-1121	130	30	Р-197 или смесь (%): ксилол – 40, бутилацетат – 20, бутилцеллозольв – 20, этилцеллозольв – 20	20...24
МЛ-1198 с металлическим оттенком	130	30	Смесь ксилола с бутилацетатом 1:1	14...16
МЛ-12 разных цветов	130	35	Р-198 или 646	23...24
МЛ-152 разных цветов	85...90 100...105	60 35	Сольвент	23...24
МЛ-1195 однопигментная	80	30	Ксилол	20...24
МЛ-1196 черная	100	30	Сольвент	18...22
МЧ-124 черная	110...120	30	Ксилол или сольвент	20...30
НЦ-11 разных цветов	Промежуточные слои		646, 647, 648	17...22
	18...23	20...30		
	Последний слой перед шлифованием			
	60 18...22	15...20 не менее суток		
НЦ-273	18-22	20	646	22...25
МС-17	18...22	30	Сольвент или ксилол	20...25

Двигатели рекомендуется окрашивать алюминиевой нитроцеллюлозной эмалью НЦ-273 без грунта. Задние и передние мосты, коробки передач и рулевые управления окрашивают водоразбавляемой грунтовкой ВЛМ-0143 и эмалью МЧ-123, НЦ-184 или МС-17 черного цвета. Карданные валы окрашивают грунтовкой ГФ-089 и эмалью МЧ-123 или эмалью МС-17, а пружины передней подвески и штанги амортизаторов – эмалью КЧ-190 или МС-17. Диски колес легковых автомобилей окрашивают порошковой краской П-ЭП-134. Большое распространение получили меламиноалкидные эмали горячей сушки, среди которых МЛ-152 – для окрашивания кузовов автомобилей и для ремонтного окрашивания техники, МЛ-1196 – для окрашивания шасси и радиаторов. Мочевинную эмаль МЧ-124 применяют для окрашивания радиаторов и бензобаков. Из импортных материалов применяют финскую эмаль “Садолюн 012” и югославскую “Балкан” в аэрозольной упаковке. Финская эмаль высыхает при комнатной температуре за 20 часов.

4.4.4. Нанесение противокоррозионных покрытий

Защита панелей от коррозии достигается за счет уплотнения щелей и зазоров, в которые поступает влага, и нанесения противокоррозионных составов (табл. 4.8) на поверхности, подверженные абразивному изнашиванию, скрытых полостей и других элементов. Эти работы выполняют сразу после грунтования.

Перед нанесением противокоррозионного покрытия кузов необходимо тщательно вымыть и высушить.

Таблица 4.8

Материалы для противокоррозионной защиты

Материал	Состав	Назначение
Пластизоль Д-11	Дисперсия поливинилхлорида в пластификаторе с добавками стабилизатора и наполнителя	Для противокоррозионной и противощумной защиты днища кузова
Пластизоль Д-4А	То же	Для наружной герметизации сварных швов и фланцевых соединений после грунтования
Мастика противощумная битумная БПМ-1	Смесь раствора битума в органических растворителях и наполнителей с добавкой алкидной смолы и пластификаторов	Для противокоррозионной и противощумной защиты днища кузова
Уплотнительная мастика	Смесь полимеризованного льняного масла и наполнителя	Для внутренней герметизации швов кузовов, сваренных точечной сваркой
Одноупаковочный эпоксидный клей УП-5-207	Смесь эпоксидной смолы, отвердителя и наполнителя	Для заклеивания панелей дверей, капотов, крышек по стыкам

Широко применяют поливинилхлоридные пластизоли для нанесения на наружные поверхности. Срок их защитного действия составляет 3...7 лет. На автозаводах применяют пластизоль Д-11А. Материал наносят способом безвоздушного распыления и высушивают в течение 30 мин при температуре 130 °С. Покрытия создают звукоизоляцию.

Битумную мастику БМП-1 толщиной 1,0...1,5 мм наносят на днище кузова и внутренние поверхности крыльев, полы салона и багажника. Этот материал выполняет также функцию шумоизоляции нижней части кузова.

Салон кузова дополнительно изолируют от шума специальными прокладками, изготовленными из битума в смеси с маслом и измельченным асбестом. При хранении эти прокладки перекладывают полиэтиленовой пленкой.

Закрытые полости кузова покрывают изнутри противокоррозионным материалом. Этот материал наносят сплошной пленкой на поверхности с помощью безвоздушного распыления. Состав типа Testyl-ML по технологии шведской фирмы Valvoline наносит фирма “Арлюсаро” (Минск). Известны и другие материалы для противокоррозионных покрытий: Dinol, Noxutol, Rust-stop, Алкип, Оксидол, Мовиль.

По итогам тестов, организованных журналом “За рулем”, ведущее место заняли препараты швейцарской фирмы Waxoyl. Для защиты днища автомобиля и колесных ниш от камешков, почвы, влаги, соли и других предметов и веществ наносят антикор “Hardwax” – один из препаратов семейства Waxoyl, который исключает возможность коррозии. Для обработки скрытых полостей в порогах и усилителях предлагается препарат Waxoyl 120-4. Одно из преимуществ этого препарата заключается в его способности проникать в микротрещины и в самые дальние уголки и щели. Обработка не требует дополнительных сверлений в деталях кузова, а производится через имеющиеся технологические отверстия. Обработка лакокрасочного покрытия препаратом Waxoyl 100 plus обеспечивает двухгодичную защиту.

Промышленность выпускает ряд мастик под общим названием *антикоры*, не требующих высокотемпературной сушки. Они представляют собой композиции на основе битумов, наполнителей, пластификаторов и органических растворителей. К этому классу относятся каучуковые и битумно-каучуковые материалы, которые в составе покрытия обладают длительным защитным действием благодаря хорошей эластичности, высокой стойкости к ударам щебня и действию низких температур. Битумные покрытия защищают металл в течение 1...2 лет. Они хорошо противостоят действию влаги и соли, но недостаточно стойки к ударам щебня и действию низких температур.

Восковые составы хорошо проникают в щели, затекают в стыки, карманы и другие труднодоступные места, но имеют низкую износостойкость и плохо противостоят ударным нагрузкам. Поэтому их целесообразно

но применять для нанесения на другие покрытия, например, битумные, в период эксплуатации машины в наиболее неблагоприятных условиях.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких компонентов состоят лакокрасочные материалы? 2. Приведите основные операции окрашивания. 3. Какое значение имеет подготовка поверхностей под нанесение лакокрасочных покрытий? 4. Дайте характеристику способов распыления ЛКМ. 5. В чем заключается сушка лакокрасочного покрытия? 6. Сделайте сопоставление конвекционной и терморadiационной сушки. 7. В чем заключаются особенности ремонтного окрашивания? 8. С какой целью наносят противокоррозионные покрытия?

Практическое занятие № 7

ОКРАШИВАНИЕ АГРЕГАТОВ

Цель занятия – приобретение навыков технологических расчетов процессов окрашивания агрегатов.

Индивидуальное задание включает чертеж общего вида окрашиваемого агрегата, виды наносимых лакокрасочных материалов и объемы выпуска. Необходимо определить площадь окрашиваемых поверхностей, выбрать средства окрашивания и при поточной организации работ определить размеры зон нанесения покрытий и их сушки.

Указания по выполнению работы. Процесс окрашивания агрегатов включает нанесение лакокрасочных покрытий и их сушку.

При определении размеров окрашиваемых поверхностей применяют способ удвоенной суммы площадей трех проекций объекта. Эти проекции описывают простейшими геометрическими фигурами (прямоугольником, квадратом, кругом и др.) Например, если габаритные размеры агрегата – 1200×1000×700 мм, то поверхность окрашивания равна $2 \times (1,2 \times 1,0) + 2 \times (1,0 \times 0,7) + 2 \times (1,2 \times 0,7) = 0,548 \text{ м}^2$.

Технологические расчеты при поточной организации окрасочно-сушильных работ выполняют в следующей последовательности.

Такт линии τ_l определяют по формуле

$$\tau_l = \frac{60\Phi_{до}}{N}, \text{ мин}, \quad (4.11)$$

где N – объемы ремонта, год⁻¹; $\Phi_{до}$ – действительный фонд рабочего времени оборудования, ч/год.

Скорость движения ветви подвешенного конвейера v_k назначают из обеспечения установленной производительности окрашивания

$$v_k = \frac{l_{po}}{\tau_l} = \frac{l_{po}N}{60\Phi_{до}}, \text{ м/мин}, \quad (4.12)$$

где l_{po} – длина конвейера, на котором размещены окрашиваемые изделия, относящиеся к одному ремонтируемому объекту, м (рис. 4.18).

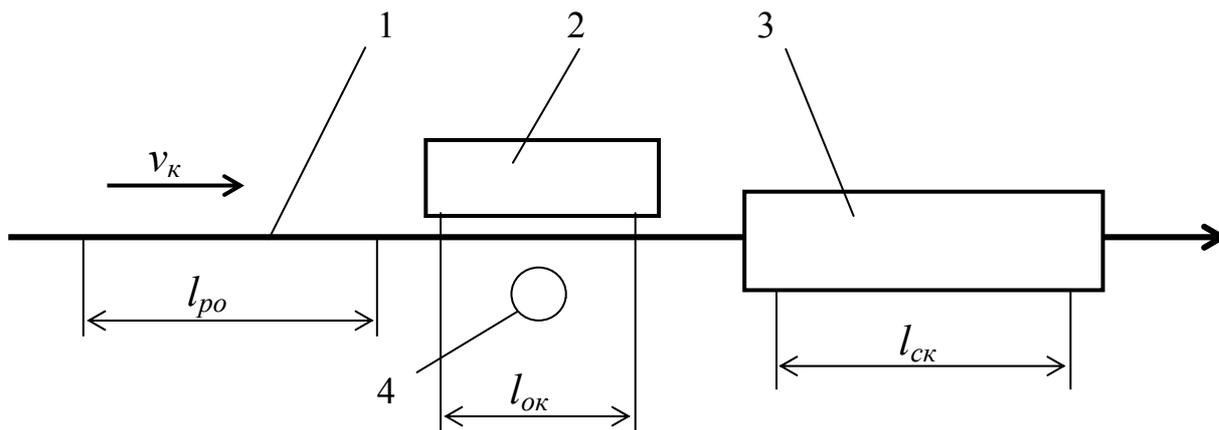


Рис. 4.18. Схема рабочего места по нанесению лакокрасочных покрытий и их сушке: 1 – ветвь подвешного конвейера; 2 – экран окрасочной камеры; 3 – сушильная камера; 4 – рабочий

Количество маляров n_p (рабочих мест окрашивания)

$$n_p = \frac{f_{ок}}{p_{ок} \tau_{л}} = \frac{f_{ок} N}{60 p_{ок} \Phi_{до}}, \quad (4.13)$$

где $f_{ок}$ – площадь окрашивания ремонтируемого объекта, m^2 ; $p_{ок}$ – производительность окрашивания, $m^2/ч$.

Длину окрасочной камеры $l_{ок}$ конвейерного (проходного) типа определяют исходя из времени пребывания в ней окрашиваемых изделий, достаточного для нанесения ЛКМ, таким образом

$$l_{ок} = v_k \frac{f_{ок}}{p_{ок}} = \frac{f_{ок} l_{po} N}{60 p_{ок} \Phi_{до}}, \text{ м.} \quad (14)$$

Длину сушильной камеры $l_{ск}$ конвейерного (проходного) типа определяют исходя из времени пребывания окрашиваемых изделий в ней, достаточного для полного высыхания ЛКМ, т.е.

$$l_{ск} = v_k t_c = \frac{l_{po} N t_c}{60 \Phi_{до}}, \text{ м,} \quad (4.15)$$

где t_c – время сушки лакокрасочного материала, ч.

Содержание отчета: название и цель работы; изображение и размеры окрашиваемого агрегата; технологические режимы и расчеты.

4.5. Обкатка и испытания агрегатов и машин

Обкатка готовит ремонтируемый агрегат или машину к предстоящей эксплуатации. В свою очередь обкатка агрегата состоит из приработки его трущихся соединений. Обкатывают преобразователи энергии (двигате-

ли), агрегаты, преобразующие движение (редукторы), функциональные агрегаты (форсунки, топливные насосы высокого давления) и др. Машину, собранную из обкатанных агрегатов, также обкатывают.

Испытания продукции необходимы для подтверждения соответствия отремонтированной техники установленным техническим и договорным требованиям.

4.5.1. Сущность приработки соединений

Приработка трущихся соединений агрегата – это самоорганизующийся процесс их начального изнашивания с необходимыми изменениями как геометрии поверхностей трения, так и физико-механических свойств материала поверхностных слоев.

Изменения трущихся поверхностей соединений выражаются в том, что контактирующие выступы поверхностей пластически деформируются, становятся более плоскими, а их материал наклепывается. Шероховатость поверхностей стремится к равновесной. Изменяются волнистость поверхностей и в меньшей степени – их форма. Образуется новый микрорельеф. Изменяются также физико-механические свойства материала в поверхностном слое: твердость, пластичность, коэффициент трения и внутренние напряжения. Эти изменения происходят при управляемой нагрузке на трущиеся поверхности и сопровождаются уменьшением силы трения, появлением устойчивого следа контакта на поверхностях трения, стабилизацией температуры деталей и уменьшением скорости их изнашивания.

Скорость изнашивания поверхностей зависит от свойств материала, взаимного расположения деталей, достигнутого при сборке, нагрузки, скорости скольжения, температуры поверхности трения и свойств смазочного материала.

Таким образом, изменение свойств поверхностей трения в процессе приработки происходит в основном за счет поверхностного пластического деформирования материала деталей. Исходное состояние поверхностей трения переходит в эксплуатационное. При этом:

- достигается шероховатость поверхностей трения, близкая к той, которая устанавливается в последующей эксплуатации, независимо от того, какой она была на поверхностях до сборки;
- обеспечивается упругий контакт поверхностей, разделенных смазочным материалом, что в свою очередь приводит к минимальному изнашиванию;
- увеличивается площадь фактического контакта в соединениях;
- частично исправляются погрешности формы элементов деталей.

Начальная приработка соединений протекает при обкатке агрегата на стенде ремонтного завода.

4.5.2. Обеспечение условий безыносного трения

Наибольшей износостойкостью обладают поверхности трения подвижного соединения в том случае, когда упругое деформирование их микровыступов сочетается с разрушением когезионных связей между ними в тонких поверхностных слоях. Первому условию удовлетворяют правильно подобранные материалы приработанных поверхностей и оптимальный нагрузочно-скоростной режим. Второе условие обеспечивают:

- нанесением на поверхности трения более мягкого пластичного материала (приработочного покрытия);

- образованием такого материала в результате взаимодействия смазки с основным материалом (избирательный перенос).

Наличие мягкого пластичного материала между трущимися поверхностями препятствует образованию сильных адгезионных связей, которые могут привести к вырыванию материала из поверхностного слоя детали.

Избирательный перенос при трении – это вид фрикционного взаимодействия на молекулярном уровне, который состоит из ряда химических, механических и электрохимических процессов, в ходе которых избирательное растворение материала, вызванное деструкцией смазки, сменяется образованием и переносом продуктов взаимодействия на трущиеся поверхности. Эти процессы снижают силу трения и компенсируют износ.

Избирательному переносу удовлетворяют следующие условия:

- материал, используемый для переноса, не наклепывается и имеет небольшую прочность при сдвиге;

- в зоне трения отсутствуют оксидные пленки;

- частицы, отделившиеся от одной поверхности, способны схватываться с сопряженной поверхностью;

- материал этих частиц имеет высокую пластичность.

Наиболее подходящий материал, способный при некоторых условиях не наклепываться, легко восстанавливаться из своих оксидов и прочно адсорбировать смазочный материал, – это медь. Одной из наиболее активных смазок по отношению к оксиду меди является глицерин, который при небольшом нагреве восстанавливает медь. Избирательное растворение медного сплава происходит в результате его взаимодействия со смазочным материалом, содержащим глицерин.

При избирательном переносе наблюдаются следующие явления:

- термическая трибодеструкция смазки (ее разрушение на составляющие с меньшей молекулярной массой). В качестве смазочного материала применяют органические соединения с низкой энергией диссоциации или распада. Материалом смазки в таком случае может быть глицерин, минеральные масла с ПАВ, консистентная смазка ЦИАТИМ-201 с 10 % порошка меди и др. Часть продуктов деструкции смазки должна образовывать ПАВ и восстанавливать металл из оксидов в зоне трения. Например,

глицерин ($\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2\text{OH}$) в паре трения медный сплав – медь снижает свое поверхностное натяжение на границе с воздухом и восстанавливает медь из ее оксидов;

- адсорбция ПАВ на поверхностях трения и ослабление когезионных связей в поверхностном слое;

- образование двойного электрического слоя между трущимися поверхностями и смазкой, обуславливающего электрическое поле в зазоре и разность потенциалов;

- избирательное анодное растворение в смазках отдельных легирующих элементов сплава (например, олова или меди), выделенных из их твердых растворов. Это растворение сопровождается разрыхлением поверхностного слоя и его диспергированием. Поверхностный слой приобретает способность к адсорбционному пластифицированию, а атомы в нем обладают высокой подвижностью. Частицы меди со смазкой образуют мелкодисперсную коллоидную смесь.

- восстановление металла из пленки оксидов, определяющее безокислительное трение. Большая часть продуктов деструкции смазки – восстановители металлов. Устранение оксидной пленки на поверхности трения уменьшает работу выхода электрона, способствует протеканию хемосорбционных процессов и дальнейшему диспергированию поверхностного слоя;

- образование сервовитной пленки (лат. *servo* – спасать, *vital* – жизнь) с повышенной концентрацией вакансий и малым количеством дислокаций из материала, полученного в результате избирательного растворения поверхностного слоя. Трение в этой пленке происходит без накопления дефектов с незначительным внутренним трением, соответствующим жидкостному. Пленка весьма подвижна, что объясняет ее многократное деформирование без разрушения. Она обладает большой адгезией к образовавшему ее металлу и материалу контртела, поэтому прочно удерживается в зоне трения и надежно предохраняет поверхности трения от изнашивания. Пленка существует только в процессе трения и условиях всестороннего сжатия, она исчезает при прекращении трения. При возобновлении трения или при механическом повреждении одной из поверхностей пленка восстанавливается;

- образование нового металлоорганического соединения из материалов деструкции смазки с ПАВ и легирующими элементами сплава. Взаимодействие такого соединения с сервовитной пленкой снижает ее прочность при сдвиге;

- удержание частиц, полученных в результате диспергирования металла, силами двойного электрического слоя и перенос их с одной поверхности на другую. Эти частицы, благодаря восстановлению оксидной пленки на них и на поверхности трения, могут образовать с этой поверхностью прочное соединение, уменьшая тем самым износ;

– пассивация поверхностей трения в результате уменьшения давления в контакте и разности потенциалов в образовавшихся гальванических парах.

Результат избирательного переноса выражается снижением давления в контакте трения из-за увеличения его фактической площади на несколько порядков при избирательном растворении выступов шероховатости и снижением коэффициента трения из-за образования сервовитной пленки. Необходимые условия избирательного переноса: относительная скорость скольжения до 6 м/с, температура поверхности до 50 °С и расчетное давление ~ 40 МПа.

Избирательный перенос при трении лежит в основе эффекта безысносности, который установили в 1956 г. Д.Н. Гаркунов и И.В. Крагельский.

Избирательный перенос наиболее полно проявляется в паре трения “бронза – сталь” при смазке техническим глицерином, этанола-глицериновыми смесями, некоторыми консистентными смазками и минеральными маслами, в которые введены ПАВ. При трении оловянно-фосфористых или никелевых бронз, работающих в паре с углеродистыми или легированными сталями, избирательный перенос имеет место при использовании консистентных смазочных материалов или минеральных масел.

Избирательный перенос, например, при обкатке теплового двигателя, может быть организован за счет введения в масло олеата меди $C_{17}H_{33}COOCu$ (9 г/л), полученного из олеиновой кислоты $C_{17}H_{33}OON$ и оксида меди CuO . Время приработки соединений при этом сокращается в два раза.

4.5.3. Обкаточные масла и присадки

Агрегаты обкатывают, как правило, на эксплуатационных маслах с приработочными присадками. Имеются рекомендации об использовании индустриальных и машинных масел, а также моторных масел, отработавших в течение 50...60 ч. Присадки вводят не только в масла, а также в топливо и во всасываемый воздух.

Введение присадок интенсифицирует процесс приработки соединений и уменьшает приработочный износ.

Присадки к маслу оказывают наибольшее влияние на процессы трения в кинематических парах. Эти присадки разделяются на инактивные, поверхностно-активные, химически активные, трибополимеризующиеся, пластически деформирующиеся, реализующие избирательный перенос и металлоплакирующие.

К *инактивным* присадкам относятся коллоидный графит, дисульфид молибдена, органозоли железа, мелкодисперсный порошок каолина, порошковое олово и другие. Частицы этих веществ размером до 1 мкм заполняют микронеровности поверхностей и уменьшают интенсивность изнашивания.

Действие, например, коллоидного графита основано на том, что его плоские кристаллы заполняют имеющиеся на трущихся поверхностях неровности и препятствуют непосредственному контакту металлических по-

верхностей. Однако этот материал не получил широкого применения из-за образования большого количества отложений в двигателе.

Дисульфид молибдена обладает высокими противоизносными и противозадирными свойствами, хорошей химической стабильностью и образует на поверхностях трения пленку, способную выдерживать высокие удельные давления. При наличии 4 % дисульфида молибдена в масле износ поршневых колец уменьшается на 30...50 %. Мелкодисперсный порошок каолина (4...5 г/л) заполняет микронеровности трущихся поверхностей, тем самым препятствует появлению задиров и уменьшает изнашивание поверхностей.

Однако при использовании таких присадок шероховатость поверхности под слоем присадки не изменяется, а при использовании в дальнейшем чистого масла присадки вымываются, а вершины неровностей срезаются.

К *поверхностно-активным* присадкам относятся жирные кислоты (олеиновая, стеариновая, пальметиновая, сульфоциновая, янтарная), эфиры органических кислот и спиртов, жирные амины и другие. Механизм действия этих присадок связан с адсорбционным снижением прочности поверхностных слоев материалов.

Введение в масло 0,9...1,1 % по массе присадки ДФИ-1 на основе дигептилфосфината натрия ускоряет приработку цилиндропоршневой группы более чем в два раза. Хорошие результаты показывает приработочное масло, содержащее 3,5...4,5 % трикрезилового эфира борной кислоты.

Действие ПАВ ухудшается при высоких температурах, что может вызвать снижение противозадирных свойств.

К *химически активным* присадкам относятся соединения хлора, фосфора, серы, металлоорганические соединения, соли металлов и др. Хлорсодержащие присадки (например, совол), разлагаясь при рабочих температурах, выделяют атомарный хлор, который образует пленки хлористого железа, имеющие пластинчатое строение и обеспечивающие заметное снижение трения. Фосфоросодержащие присадки обладают противоизносным действием при более низких температурах.

Из последних присадок распространены соединения трикрезилфосфата ТКФ и дитиофосфатов ДФ-11. Обкаточное масло ОМ-2, полученное на базе масла М-8В₁ с антифрикционной добавкой дипроксидом, используют для приработки среднефорсированных двигателей, однако это масло увеличивает нагарообразование на деталях. Обкаточно-консервационное масло ОМК, изготовленное на основе масла М-8В₁ с приработочной присадкой ЛЗ-301, позволяет совмещать обкатку с консервацией двигателей. Обкаточное масло ОМД-8 на основе масла М-8В₁ с моющей, антиокислительной, приработочной и депрессорной присадками сокращает время стендовой приработки в 1,8 раза, а эксплуатационной – в 2 раза в сравнении с обкаткой на базовом масле М-10Г₂.

При всей своей эффективности химически активные присадки токсичны, их активность при увеличении нагрузки и температуры приводит к повышенному коррозионно-механическому изнашиванию деталей. В условиях ремонтного завода эти присадки трудно приготовить.

Трибополимеризующиеся присадки (ЭФ-357, ЭФ-262, Гретерин-4 и др.) применяют при холодной обкатке двигателей. Механизм действия этих присадок основан на усилении адгезионного взаимодействия прирабатываемых поверхностей с сокращением времени холодной обкатки до 6 раз. При горячей обкатке адгезионный эффект полимерных пленок исчезает. Присадки применяют в технологических процессах, предусматривающих раздельное проведение холодной и горячей обкаток.

Пластически деформирующиеся присадки содержат цинковые, сурьмяные, свинцовые соли нафтеновых и диалкилдитиофосфорных кислот, соединения бора, сульфиды олова, алкилсвинец и комплексные соединения молибдена. Типичный представитель этой группы присадок – дитиофосфат цинка.

Приработочное масло ОМД-8 на базе масла М-8В₁ содержит присадки С-150 (3...8 %), ДФ-11 (0,5...2,0 %), ПМС-200А (0,001...0,005 %), АФК (0,5...2,0 %) и МОД (0,5...1,0 %). Присадка МОД – малорастворимое соединение молибдена (диалкилфенилдитиофосфат молибдена). Масло ОМД-8 применяют для обкатки дизелей. Время стендовой обкатки сокращается в 2 раза, а эксплуатационной – в 4 раза.

Механизм действия пластически деформирующихся присадок заключается в следующем. При соприкосновении вершин шероховатостей в их объеме аккумулируется тепловая энергия. При пороговой нагрузке эта энергия вызывает реакцию, которая приводит к освобождению из молекулярных соединений присадки атомов различных металлов, ионов и органических радикалов, которые обладают большим запасом энергии. Эти вещества диффундируют в поверхностные слои, материал которых переводят в эвтектоидное состояние.

Температура плавления эвтектоида ниже, чем исходных компонентов, вследствие чего микровыступы деформируются без разрушения. Сглаживание вершин шероховатостей приводит к перераспределению нагрузки на большей площади и снижению удельного давления в соединении.

При уменьшении поступления энергии пластическое деформирование микронеровностей прекращается. Пластически деформирующиеся присадки проявляют свои приработочные свойства только при обкатке под нагрузкой.

К присадкам, *реализующим избирательный перенос*, относятся смеси жирных кислот (стеариновой, олеиновой и др.), их соединения с металлами (как правило, с медью) и глицерином.

Разработаны различные композиции приработочных масел. Например, масло, содержащее 0,1...0,5 % хлорной меди, 4,5...9,5 % алифатического спирта C₇ – H₁₂, 1...4 % полиалкенилсукцинимидтетраэтиленпентамина и в качестве основы минеральное масло, в 3 раза сокращает время обкатки по сравнению с применением масла без присадок. Применение препарата “Metal-5” (Франция), представляющего собой дисперсию сплава Cu – Zn – Ag (размер частиц 1...5 мкм), повышает компрессию двигателя, увеличивает размеры изношенных шеек валов.

Металлолакирующие присадки уменьшают потери на трение за счет их адгезии к трущимся поверхностям.

Присадка ОГМ-3, содержащая 95 % олеиновой кислоты и 5 % хлороксида меди, позволяет сократить время стендовой обкатки и уменьшить износ деталей в 3 раза по сравнению с обкаткой на чистых маслах. Присадка "Eska" (Венгрия) снижает скорость изнашивания в 4,5 раза и расход топлива на 5,5 %. Ее недостаток – плохая растворимость в маслах.

В случае применения присадок к топливу для улучшения приработки деталей цилиндропоршневой группы возможно их точное дозирование и равномерное распределение по цилиндрам без применения специальных устройств.

Большинство прирабочных присадок к топливу представляют собой сложные металлоорганические соединения хрома или алюминия, полностью растворимые в топливе. При сгорании топлива такие соединения образуют мелкодисперсные абразивные частицы. Эти частицы попадают на стенки цилиндров и образуют притирочные пасты, которые благодаря высокой твердости и температуре плавления ускоряют приработку деталей цилиндропоршневой группы. Заметного влияния на изнашивание и приработку других деталей двигателей эти присадки не оказывают.

Наибольшее распространение получили металлоорганические соединения алюминия на основе полиалюмооксидов (АЛП-2 и АЛП3) и полиалюмофенолятов (АЛП-4).

Противоизносные свойства топлив повышаются применением поверхностно- и химически активных присадок.

Добавка к топливу 0,8...1,2 % присадки коллоидной серы при обкатке двигателя снижает мощность механических потерь на 25...35 %, а износ гильз цилиндров – в 2,5 раза.

Присадки к воздуху оказывают наибольшее влияние на приработку деталей цилиндропоршневой группы. Введенная с воздухом композиция присадок АЛП-4Д и 5 % ПМС-А, кроме того, способствует очистке деталей от нагара.

4.5.4. Режимы обкатки и средства ее интенсификации

При назначении режимов приработки кинематических пар учитывают следующее. В начале приработки площадь фактического контакта поверхностей составляет 0,1...10 % от номинальной. Даже небольшие нагрузки в соединениях вызывают значительные контактные давления в них и интенсивное изнашивание. В течение приработки вместе с увеличением площади фактического контакта трущихся поверхностей увеличивают скорость скольжения и нагрузку в соединениях. Нарушение условия приводит к так называемой глянецитости поверхностей, для которой характерно заполнение микровпадин не металлом за счет его пластического течения, а продуктами изнашивания и оксидами. В этом случае при увеличении нагрузки приработка начинается снова вследствие низкой несущей способности слоя. Приработку ведут в режиме, обеспечивающем макси-

мальную интенсивность пластического деформирования микровыступов поверхностей без схватывания и задиrow.

Нормативное время заводской обкатки, например, двигателей внутреннего сгорания составляет 40...120 мин. Продолжительность обкатки коробок передач и раздаточных коробок составляет 40 мин, при этом процесс протекает на каждой передаче. Ведущие мосты обкатывают в течение 20 мин, из них 15 мин на переднем ходу и 5 мин – на заднем. Остальная обкатка протекает в начале эксплуатации и длится 30...60 час для двигателей и 100...120 час для агрегатов, передающих вращательное движение (редукторов).

Режим обкатки, установленный Руководством по капитальному ремонту агрегатов, обеспечивает:

- равномерное или ступенчатое возрастание удельного давления и скорости относительных перемещений в соединениях;
- начало последующего перехода обкатки после окончания приработки соединений на предыдущем переходе;
- достижение на последнем переходе нагрузки, составляющей 80 % от эксплуатационной.

Наиболее сложной является обкатка теплового двигателя, которая включает три части: холодную без нагрузки, горячую на холостом ходу, горячую под нагрузкой. Каждый технологический переход обкатки характеризуется частотой вращения валов агрегата, моментом нагрузки и длительностью воздействия.

Оптимальный режим обкатки рассчитывают на более полную приработку основных соединений агрегата. Применительно к двигателю внутреннего сгорания – это соединения цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма.

Обкатку двигателя начинают при той минимальной частоте вращения его коленчатого вала, при которой обеспечивается надежная подача масла к трущимся поверхностям и его разбрызгивание. В первые 5...7 мин происходит наиболее интенсивная приработка цилиндропоршневой группы, главным образом поршневых колец.

Нагрузку на детали во время холодной обкатки двигателя создают в основном за счет инерционных сил, которые даже на средних оборотах достигают больших значений. Следует отметить, что инерционные силы нагружают один вкладыш трущейся опоры, второй вкладыш будет нагружаться позже – при горячей обкатке.

Холодную обкатку заканчивают при небольшой частоте коленчатого вала, чтобы ограничить нагрузку на соединения. Далее следует горячая обкатка со ступенчатым возрастанием частоты вращения коленчатого вала и нагрузки. Режим обкатки, например, автомобильного двигателя ЗМЗ-53 приведен в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Режим обкатки двигателя ЗМЗ-53

Стадии обкатки	n , мин ⁻¹	Нагрузка,		Время, мин
		л.с.	кгс	
Холодная	500	–	*)	15
	700	–	*)	10
Горячая без нагрузки	1000	–	–	15
Горячая под нагрузкой	1600	20	12	10
	1600	28	17	10
	1600	35	22	15
	1800	44	24	10
	2000	51	25	10
	2200	60	27	10
	2400	72	30	10

*) значения нагрузки служат информацией о качестве сборки двигателя

Применение стендов с программным управлением позволяет бесступенчатое изменение частоты вращения вала агрегата. Перспективна обкатка двигателя с приложением нагрузки к его деталям по колебательному закону в режиме “разгон – выбег”. Обкатку ускоряют путем приложения к парам трения напряжения, достаточного для анодного растворения вершин шероховатости.

4.5.5. Оборудование для обкатки агрегатов и машин

Обкатку и испытание ремонтируемых агрегатов и машин ведут на обкаточно-тормозных стендах. Наиболее сложными являются стенды для агрегатов – преобразователей энергии (двигателей). Если мощность обкатываемого двигателя превышает 200 л.с., то соответствующий обкаточный стенд устанавливают в боксе со звуковой изоляцией. При холодной обкатке двигателя вращающий момент передается от электромашины с фазным ротором, работающей в режиме электродвигателя, к обкатываемому агрегату, а при горячей обкатке – наоборот (рис. 4.19). Нагрузку на электромашину, работающую в режиме генератора, при горячей обкатке агрегата создает жидкостный нагрузочный реостат. Статор электромашины, установленный на подшипниках, воспринимает реактивный момент, равный моменту на роторе. Силоизмеритель при работе электромашины фиксирует значение реактивного усилия P (кгс) на плече $l = 0,7162$ м. Тахогенератор, получающий вращение от свободного конца вала электромашины, фиксирует его угловую частоту вращения n (мин⁻¹).

Мощность, развиваемую обкатываемым двигателем при горячей обкатке, определяют с использованием показаний силоизмерителя и тахометра по формуле

$$N = \frac{Pn}{1000}, \text{ л.с.} \quad (4.16)$$

Например, один из распространенных стендов КИ-2139Б включает электрическую балансирную машину АКБ 82-4 с фазным ротором, установочные элементы и механизм передачи крутящего момента (рис. 4.20). Стенд обеспечивает создание тормозной

мощности до 150 л.с. и пределы регулирования частоты вращения ротора электромашин в режиме двигателя 500...1400 об/мин и в режиме генератора – 1600...3000 об/мин.

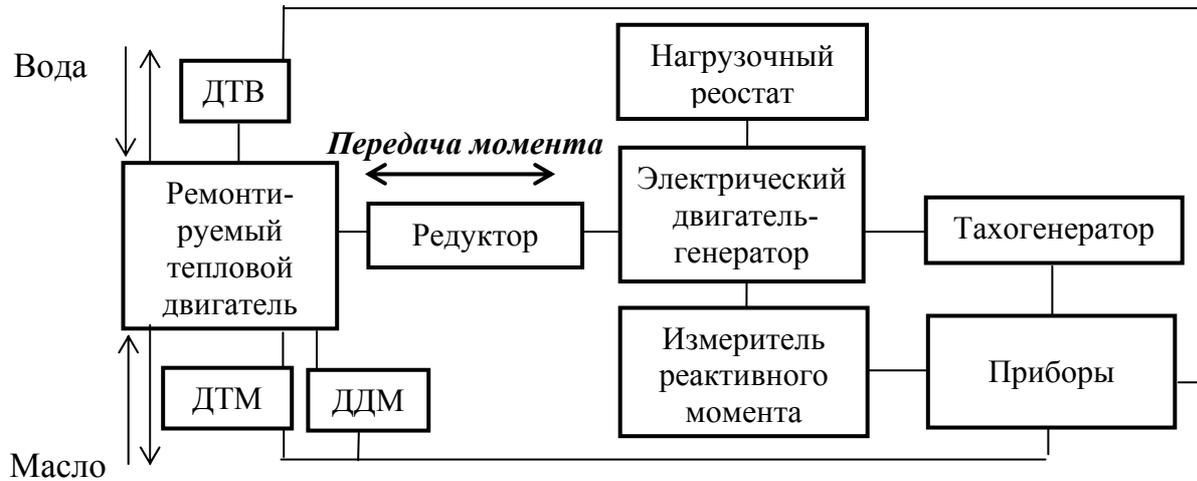


Рис. 4.19. Структурная схема стенда для обкатки и испытания тепловых двигателей: ДТВ – датчик температуры воды; ДТМ – датчик температуры масла, ДДМ – датчик давления масла

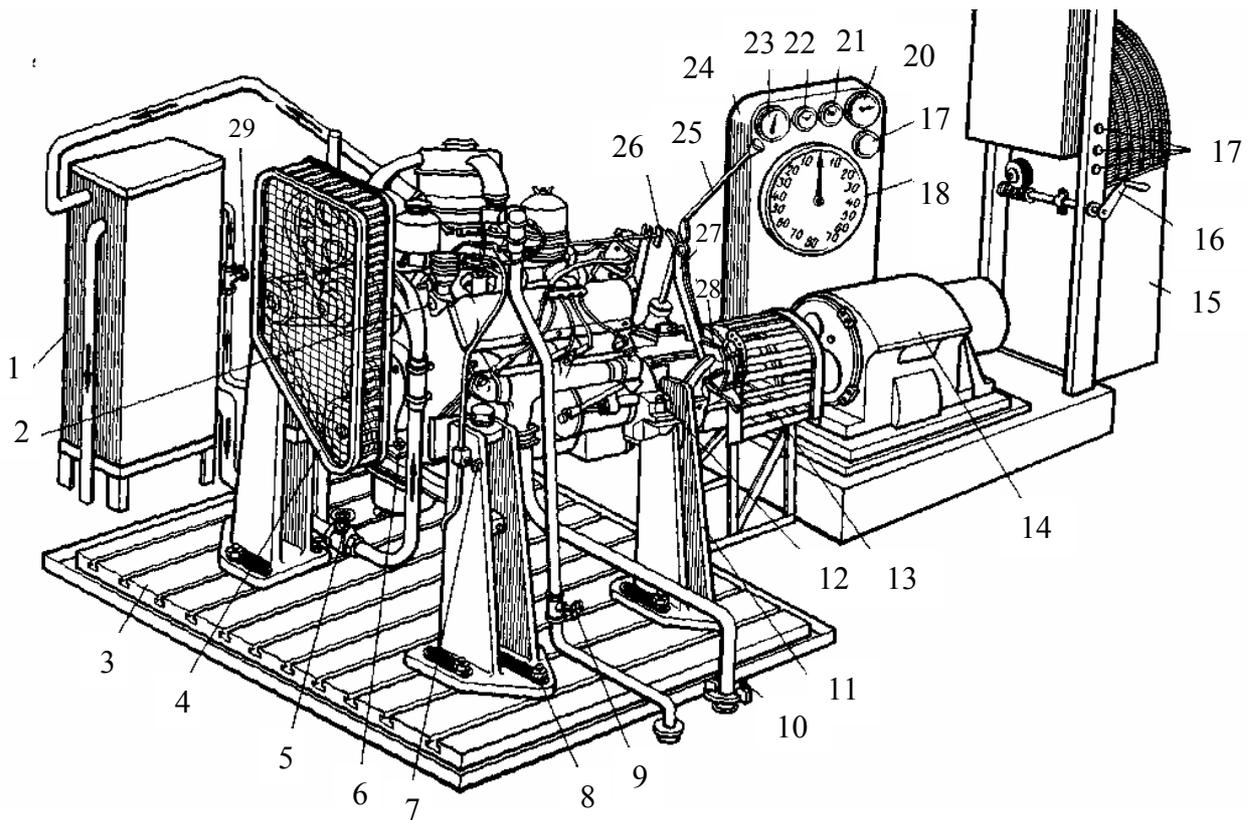


Рис. 4.20. Стенд для обкатки и испытания двигателей: 1 – бак; 2 – двигатель; 3 – плита; 4 и 13 – решетки; 5, 9 и 29 – вентили; 6, 8 и 12 – элементы крепления двигателя; 7 – кран; 10 – элементы крепления газоотводной трубы; 11 – стойка; 14 – электромашин; 15 – реостат; 16 – рукоятка управления реостатом; 17 – кнопки; 18 – шкала; 19 – сигнализатор; 20 – тахометр; 21 и 22 – термометры; 23 – манометр; 24 – корпус; 25 – рычаг коробки передач; 26 – тяга; 27 – рычаг ручного тормоза; 28 – педаль

Стенд для обкатки агрегатов-редукторов (рис. 4.21) снабжен тормозом для создания нагрузки на детали обкатываемого агрегата.

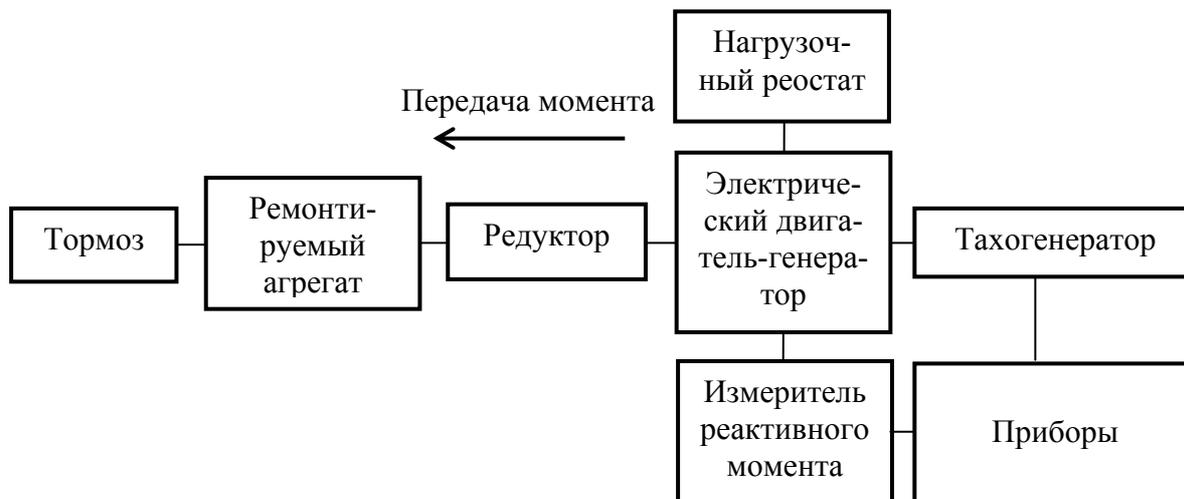


Рис. 4.21. Структурная схема стенда для обкатки и испытания агрегатов, преобразующих движение

Стенды для обкатки машин колесных транспортных средств и сельскохозяйственных машин содержат приводные беговые барабаны, взаимодействующие с колесами машины. На стендах измеряют моменты и усилия, приложенные к колесам.

Нагрузка на соединения агрегата по схеме замкнутого силового контура из его валов и зубчатых колес позволяет в несколько раз уменьшить мощность привода.

Автоматизация процесса обкатки во времени по заданной программе учитывает техническое состояние каждого отдельного двигателя, так как для одних двигателей усредненная продолжительность обкатки недостаточная, а для других – излишняя.

Программное управление обеспечивает обкатку двигателя на неустановившемся режиме, контроль и запись значений параметров двигателя, при этом учитывают изменение от одного до пяти независимых параметров (момента проворачивания вала, температуры воды и масла, утечки воздуха в цилиндре, прорыв газов в картер и др.). Сигнал перехода на последующий переход обкатки поступает после завершения предыдущего перехода.

Участки обкатки двигателей на ремонтных заводах оснащены средствами подачи и учета расхода топлива, начального подогрева и последующего охлаждения подаваемой воды к двигателям, очистки и подогрева масла. Смазочное масло очищают отстаиванием, а также центрифугами и контактными фильтрами.

В течение трех суток при отстаивании масла осаждаются вода и крупные частицы. Центробежная очистка масла обеспечивает почти полное отсутствие в нем неорга-

нических частиц размером более 1 мкм, в то время как при использовании контактных фильтров почти 20 % неорганических частиц в масле имеют размер более 1 мкм, в том числе 3 % – более 2,5 мкм.

4.5.6. Сдаточно-приемочные испытания

Сдаточно-приемочные испытания – это испытания обкатанных агрегатов и машин в эксплуатационном режиме, по результатам которых принимают решение об их исправности и пригодности к поставкам.

Отремонтированные агрегаты и машины сдает персонал цеха, а принимает ОТК.

Испытывают тепловые и электрические двигатели, редукторы, рулевые механизмы, гидравлические приводы агрегатов, масляные, водяные и топливные насосы, карбюраторы, форсунки, генераторы и многие другие агрегаты, а также машины в сборе.

Испытательное оборудование служит для приведения отремонтированных агрегатов или машин в движение, приложения нагрузки и измерения основных параметров. Функции испытаний в большинстве случаев выполняют стенды для обкатки агрегатов или машин.

Испытания включают в себя проверку исправности продукции перед отправкой в эксплуатацию и выявление дефектов (главным образом сборочных). Исправность, например, двигателя оценивается минимальной устойчивой частотой вращения коленчатого вала, мощностью, развиваемой при заданной частоте вращения коленчатого вала, давлением масла в главной масляной магистрали и расходом топлива при заданной нагрузке. Двигатель ЗМЗ-53 признают годным для эксплуатации, если он устойчиво работает на холостом ходу при частоте вращения коленчатого вала 475...525 об/мин, имеет давление масла 0,28 МПа при 2000 об/мин, развивает мощность 80 л.с. при 2600 об/мин и расходует бензин не более 250 г/эф. л.с.-ч.

Основные дефекты, выявляемые при испытании, – это течи воды и масла, шумы и стуки. Шумы и стуки агрегата выявляются в результате его прослушивания с помощью стетоскопа.

Машины и товарные агрегаты, принятые ОТК, с сопроводительными документами (паспортом, гарантийным талоном и сертификатами происхождения и соответствия) направляют на консервацию. В паспорте делают отметку о проведенном ремонте.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит назначение обкатки и испытания ремонтируемых агрегатов? 2. Дайте определение приработки трущихся соединений. 3. Какое значение избирательного переноса при трении в повышении долговечности агрегатов? 4. Приведите условия образования сервовитной пленки между трущимися поверхностями, какова ее роль в снижении интенсивности изнашивания? 5. Какие материалы применяют для обкатки агрегатов? 6. Какое оборудование применяют для обкатки агрегатов и машин? 7. Приведите содержание и критерии сдаточно-приемочных испытаний.

Лабораторная работа № 7

ОБКАТКА И ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – изучить оборудование и процессы обкатки и испытания двигателя, провести наблюдение процессов и приобрести практические навыки по измерению параметров (в т.ч. расхода топлива).

Оборудование, средства измерений, документация: обкаточно-тормозной стенд КИ-2139; обкатываемый двигатель ЗМЗ-53; средства для измерения расхода топлива; операционная карта.

Порядок выполнения работы:

- установить двигатель второй комплектности на обкаточно-тормозной стенд и подключить его к системам подачи воды и масла и отвода отработавших газов;
- включить механизм передачи крутящего момента;
- провести холодную обкатку на частотах, приведенных в технологической карте;
- установить приборы питания и электрооборудования;
- подключить обкатываемый двигатель к системам подачи бензина и электроэнергии;
- провести горячую обкатку двигателя без нагрузки;
- провести горячую обкатку двигателя под нагрузкой;
- проверить работу двигателя на минимальных оборотах холостого хода коленчатого вала;
- провести испытания двигателя путем измерения мощности на установленной частоте вращения коленчатого вала;
- измерить удельный расход топлива на одну эффективную лошадиную силу-час;
- осмотреть и прослушать работающий двигатель;
- принять решение о техническом состоянии двигателя и возможности его продажи.

Содержание отчета: название и цель работы; режимы обкатки; приборы для измерения величин; структурная схема обкаточно-тормозного стенда; порядок определения тормозной мощности и расхода топлива; содержание испытаний обкатанного двигателя; выводы.

4.6. Послеремонтное диагностирование, консервация и сдача машины заказчику

4.6.1. Послеремонтное диагностирование

Послеремонтное диагностирование выполняют перед отправкой отремонтированных машин или агрегатов на склад сбыта с целью определения качества их ремонта. Этот вид работ чаще совмещают со сдаточно-приемочными испытаниями.

Работы выполняют на участке диагностирования, регулирования и устранения дефектов. Если в результате диагностирования обнаруживают дефекты, то информацию о них заносят в журнал, а соответствующий агрегат заменяют или ремонтируют. После устранения дефектов машину снова отправляют на участок обкатки, где она проходит повторные обкатку и испытания, объем обкатки может быть сокращен по сравнению с первоначальным.

Диагностические работы без разборки агрегата выполняют с помощью соответствующих средств, которыми оснащен участок (табл. 4.10). При этом измеряют параметры, определяющие состояние всего агрегата (температуру и давление масла, температуру охлаждающей воды и стенок картеров, эффективную мощность, линейные и угловые размеры в некоторых соединениях, компрессию и расход картерных газов, удельный расход топлива и др.). В исключительных случаях измеряют геометрические параметры трущихся поверхностей деталей (шероховатость и размеры) и физико-механические свойства этих поверхностей (например, твердость).

Во время послеремонтного диагностирования проверяют, например, тягово-экономические показатели автомобиля, техническое состояние трансмиссии, колесные и стояночные тормоза, рулевое управление, углы установки управляемых колес, гидравлические системы, топливную аппаратуру и др.

Кроме оборудования, приведенного в табл. 4.10, используют также серийно выпускаемое оборудование, в т.ч. импортное.

Устройство Microtestline 6900 (Германия) применяют для динамического испытания подвески, проверки бокового скольжения и схождения управляемых колес. Стенды К 485 БМ и К 493 (Россия) служат для диагностирования динамических показателей расхода топлива и углов установки управляемых колес автомобилей, соответственно, массой до 4 т и 16 т и включают приводные блоки с количеством пар беговых барабанов, соответствующим числу колес автомобиля, нагрузочно-приводные станции, пульты управления, измерительные блоки и системы отвода отработавших газов. Устройство Microbrake 6000 (Германия) служит для диагностирования тормозов, вывешивания автомобиля и содержит универсальное стрелочное табло, пульт дистанционного управления, стойку, установочную раму и крышку на катках.

Устройство Testline 8000 (Германия) имеет датчики давления воздуха в шинах и давления на педаль тормоза, тестер бокового скольжения колес. Компьютерный прибор Testline 7000 Compact (Германия) содержит газоанализатор на 4 компонента, дымомер и прибор для проверки направления пучка света фар.

Примеры средств для диагностирования агрегатов или машин

Диагностируемые агрегат или машина	Диагностические параметры, размерность	Диагностические средства
Поршневые двигатели	Давление в системе смазки, МПа	Устройство для измерения давления КИ-13963
	Мощность, л.с.	Измеритель мощности двигателя ИМДЦ-2
	Расход топлива, г/эф. л.с.-ч	Расходомер электронный КИ-28094
	Расход газов, прорывающихся из цилиндров в картер, см ³ /мин	Индикатор расхода газов КИ-13671 Пневмотестер К-272
	Давление рабочей смеси в конце такта сжатия, МПа	Компрессиметр КИ-861
	Содержание CO ₂ , СН и NO _x в отработавших газах, мг/м ³	Газоанализатор Gastest-Avesta
	Давление впрыскивания топлива в дизеле, МПа	Механотестер КИ-5918
	Момент впрыскивания топлива в дизеле, с	Моментоскоп КИ-4941
	Температура охлаждающей жидкости, °С	Термометр
	Стуки	Стетоскоп
	Вибрации	Стенд
Коробки передач	Легкость включения передач Самовыключение	Стенд для диагностирования коробок передач КИ-5584
	Температура картера, °С	Термометр
Редукторы	Шум, вибрации	Стенд
	Температура картера, °С	Термометр
Муфты	“Чистота” выключения	Стенд для испытания КИ-13605
	Буксование под нагрузкой	
Рулевое управление	Усилие на ободе рулевого колеса, Н	Прибор для проверки рулевого управления К-402
	Люфт рулевого колеса, град.	
Тормозная система	Тормозная сила, Н Время срабатывания, с	Стенд КИ-8980
Гидросистемы	Давление масла, МПа Подача насоса, м ³ /с	Прибор для проверки гидросистем КИ-5473 или ДР-70
Агрегаты электрооборудования	Напряжение, В Сила тока, А	Прибор для проверки электрооборудования Ц-4324 или КИ-11400
Станки металлорежущие	Радиальное и торцовое биения шпинделя, мм	Головка рычажно-зубчатая ИИГМ на стойке
	Жесткость шпиндельного узла, Н/м	Гидродинамометр

Стенды К 486 и СТС (Россия) служат для диагностирования тормозов соответственно легковых и грузовых автомобилей. Стенд КИ 2205-03 (Россия) применяют для диагностирования дизельных двигателей. Выпускают дизельтестер 4628 и анализатор впрыска 742 (Италия), анализатор карбюратора 947 (Италия), мотортесторы М 1-2 и М 2-2 (Беларусь), соответственно, для карбюраторных и дизельных двигателей. Анализ отработавших газов выполняют с помощью газоанализатора СО/СН 483 и дымомера 490 (Италия). Компрессографы 363 для дизельных двигателей и 362 для карбюраторных двигателей (Италия) позволяют записать индикаторную диаграмму двигателя.

Прибор для проверки форсунок 470/400В (Италия) необходим для испытания и регулирования форсунок, измерения давления топлива, проверки прецизионных пар топливных насосов. Прибор 105/UNI (Италия) служит для проверки цилиндропоршневой группы двигателя, неплотности прилегания клапанов и измерения зазоров в клапанах и подшипниках коленчатого вала, он содержит компрессорно-вакуумную установку для подачи сжатого воздуха или создания разрежения при использовании ее совместно со средствами измерения перемещений.

Применяют также динамометрические ключи 0-120 и 0-240 Нм (Беларусь) для контроля затяжки резьбовых соединений, люфтомеры К-524 (Россия) – для проверки рулевых механизмов, устройство для проверки контрольно-измерительных приборов (Россия), устройство для определения технического состояния гидросистем (Россия), расходомеры газов, прорывающихся в картер, (Россия), установку для определения герметичности систем охлаждения (Россия), стробоскоп универсальный 232 (Италия), осциллограф К-523 (Россия), комплект для регулировки фар К-310 (Россия), набор аккумуляторщика Э-412 (Россия) и др.

4.6.2. Послеремонтная консервация машин и агрегатов и их хранение

Послеремонтная консервация машин и товарных агрегатов (в ряде случаев и восстановленных деталей перед продажей) необходима для сохранения их исправного состояния при транспортировании или длительном хранении.

При консервации техники исключают случайное попадание посторонних предметов в картерные полости и вредное влияния окружающей среды на ее поверхности.

Открытые полости и отверстия закрывают люками и пробками.

Для защиты наружных обработанных поверхностей деталей применяют защитный восковой состав ЗВД-13, а для защиты внутренних поверхно-

стей – масла НГ-203 и НГ-204 (ГОСТ 12328-73), НГ-204У (ГОСТ 18974-73) и К-17 (ГОСТ 10877-76), которые обеспечивают срок хранения 3...5 лет.

Состав ЗВД-13 – это 25...32 %-ная водная дисперсия церезина.

Масла НГ-203 марок А, Б и В различают по вязкости и содержанию ингибитора. Они содержат раствор основного сульфоната кальция и окисленного петролатума в очищенных минеральных маслах – индустриальном или трансформаторном. Масла НГ-203Б и НГ-203В применяют для консервации внутренних поверхностей и деталей двигателей.

Масла НГ-204 и НГ-204У – жидкости темно-коричневого цвета. Масло НГ-204 состоит из нитрованного масла, окисленного петролатума и пирополимеров. Масло НГ-204У более влагостойкое, чем НГ-204, оно также содержит парафин, синтетические жирные кислоты и соли алюминия. Масла защищают черные и цветные металлы и сплавы.

К-17 – маслянистая жидкость темно-коричневого цвета сложного состава. Защищает черные и цветные металлы и сплавы. Не допускает попадания атмосферных осадков и солнечных лучей. Нагрев масла свыше 40 °С также недопустим.

Масло НГ-203 наносят окунанием, намазыванием и распылением. Отдельные восстановленные детали перед складским хранением погружают в масло при температуре 18...25 °С или в масло, подогретое до температуры 60...100 °С. В последнем случае расход масла будет меньшим. Масло НГ-203А или НГ-203Б наносят кистью или с помощью пульверизатора. При использовании пульверизатора смазку нагревают до 50...80 °С.

Масло К-17 наносят холодным (17...35 °С) или подогретым до 40 °С окунанием, намазыванием или распылением. Детали, покрытые маслом, обертывают в парафинированную бумагу и укладывают в тару.

Устанавливают срок хранения объектов после консервации (3, 6 или 12 месяцев). Если в течение этого времени машина не передана владельцу, то ее консервируют заново и устанавливают новый срок хранения.

Машины и товарные агрегаты, прошедшие консервацию, поступают на склад готовой продукции.

Отремонтированные машины хранят на оборудованных площадках под открытым небом, под навесом или в помещении (отапливаемом или неотапливаемом). Отремонтированные агрегаты хранят под навесом или в помещении. При длительном хранении машины устанавливают на козлы, разгружают колеса и подвеску.

4.6.3. Сдача машины заказчику

При сдаче отремонтированной машины заказчику представитель завода оформляет акт, в котором отмечается соответствие технического состояния и комплектности машины требованиям нормативной документации на ремонт. Технические параметры и нормы, определяющие эксплуатационные свойства машины и качество ее ремонта, должны соответствовать ремонтной документации. Заказчик убеждается в этом соответствии и принимает машину.

Ремонтный завод гарантирует исправную работу машины в течение установленного срока или наработки с момента ввода в эксплуатацию. Гарантии действительны при соблюдении заказчиком правил эксплуатации, установленных действующими нормативными документами. Гарантийные обязательства отражаются в гарантийном талоне на отремонтированную машину.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое значение имеет послеремонтное диагностирование агрегатов и машин? 2. Как выбирают диагностические параметры для определения технического состояния отремонтированных объектов? 3. С какой целью консервируют отремонтированные агрегаты и машины? 4. Какие материалы применяют для консервации машин? 5. Каков порядок сдачи отремонтированной машины ее владельцу? 6. Какие обязательства в части послеремонтной надежности несет завод перед владельцем техники?

Лабораторная работа № 8

ПОСЛЕРЕМОМТНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МАСЛЯНОГО НАСОСА

Цель работы – изучить оборудование и процесс диагностирования масляного насоса, провести наблюдение процесса и приобрести практические навыки по измерению параметров.

Оборудование, документация, материалы, диагностические параметры, приборы: стенд универсальный для испытания масляных насосов и фильтров КИ-5278М; отремонтированный масляный двигатель ЗМЗ-53; руководство по эксплуатации стенда КИ-5278М. Для диагностирования масляного насоса используют смесь из 90 % керосина и 10 % масла М8В₁ при температуре 18...20 °С. Смесь при работе насоса сливается в бак из отверстия диаметром 1,5 мм и длиной 5 мм. В приводе стенда имеется фрикционный вариатор, который позволяет изменять частоту вращения вала насоса в пределах 170...2000 об/мин. В стенде имеются манометр и тахометр для измерения значений соответствующих величин.

Решение об исправности насоса принимают на основании измерений давления масла, развиваемого насосом при двух частотах вращения вала (250 и 725 об/мин). Давление масла при этом должно быть не менее 0,9 и 4,0 кгс/см², соответственно.

Порядок выполнения работы:

- подготовить стенд к работе;
- заполнить внутреннюю полость масляного насоса керосино-масляной смесью и установить его на стенд;
- установить частоту вращения вала насоса 250 об/мин и измерить давление смеси;

– установить частоту вращения вала насоса 725 об/мин и измерить давление смеси;

– остановить стенд, снять насос и слить из него масло в бак;

– принять решение об исправности масляного насоса.

Содержание отчета: название и цель работы; диагностические параметры и режимы; приборы для измерения величин; структурная схема стенда; содержание диагностирования; выводы.

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Совершенствование способов и средств обеспечения точности замыкающих размеров при сборке.

2. Влияние комплектовочных работ на качество и производительность сборочных работ.

3. Анализ и совершенствование групповой сборки соединений.

4. Организация узловой и общей сборки агрегатов.

5. Анализ и совершенствование прессосборочного оборудования для сборки соединений.

6. Анализ и совершенствование резьбосборочного оборудования для сборки соединений.

7. Особенности ремонтного окрашивания машин.

8. Противокоррозионная обработка машин.

9. Содержание и значение послеремонтного диагностирования.

10. Совершенствование способов послеремонтного диагностирования.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

– основы достижения точности замыкающих размеров (зазоров, натягов и перекосов) при сборке;

– средства, обеспечивающие производительную сборку с достижением нормативной точности замыкающих размеров;

– необходимость и содержание комплектовочных работ;

– способы комплектования агрегата деталями;

– сборочные процессы и их организацию;

– оборудование для сборки резьбовых и прессовых соединений;

– материалы для окрашивания ремонтируемых машин;

– технологию и оборудование для окрашивания и противокоррозионной защиты машин;

– сущность приработки соединений и основы избирательного переноса при трении;

- материалы, процессы и оборудование, применяемые при обкатке машин;
- содержание сдаточно-приемочных испытаний;
- содержание и необходимость послеремонтного диагностирования;
- консервацию машин и их послеремонтное хранение.

Студент должен уметь:

- рассчитывать значения составляющих размеров для обеспечения нормативных замыкающих размеров (зазоров, натягов и перекосов) при сборке;
- выбирать сборочные средства, обеспечивающие производительную сборку с достижением нормативной точности замыкающих размеров;
- разрабатывать комплектовочные процессы;
- назначать способы комплектования деталей;
- выбирать материалы для окрашивания ремонтируемых машин;
- разрабатывать процессы и выбирать оборудование для окрашивания и противокоррозионной защиты машин;
- выбирать материалы и оборудование для обкатки машин;
- разрабатывать процессы обкатки машин, в том числе обеспечивающие избирательный перенос при трении;
- определять содержание сдаточно-приемочных испытаний;
- выбирать средства для послеремонтного диагностирования;
- разрабатывать процессы консервации машин и их послеремонтного хранения.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

В результате опроса студентов выявляются знания заключительной части технологических процессов ремонта машин: от комплектования агрегатов деталями до испытания агрегатов и машин.

Высокой оценки заслуживают те студенты, которые выполнили лабораторные и практические работы, знают приведенные выше процессы, соответствующие оборудование и организацию, уверенно отвечают на вопросы, поставленные в конце изучаемых тем.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СРЕДСТВ РЕМОНТА

5.1. Проектирование технологических процессов и их унификация

На ремонтном предприятии разрабатывают различные технологические процессы: разборки и очистки машин и агрегатов, определения технического состояния, сортировки, восстановления и комплектования деталей, сборки, окрашивания, обкатки, испытания и диагностирования агрегатов и машин. Множество технологических процессов стараются свести к минимальному их количеству методами унификации.

5.1.1. Содержание и оформление технологических документов

Технологический процесс ремонта (восстановления) объекта содержит описание действий рабочих и СТО над этим объектом с целью достижения его качества, которое определено конструкторской документацией. При разработке технологического процесса определяют тип и модель применяемого оборудования, намечают последовательность операций и переходов, базы и способы установки изделий, выбирают приспособления и инструменты, определяют мероприятия по охране труда, назначают технологические режимы, рассчитывают материальные и трудовые нормативы. Технологические процессы разрабатывают на основе передовых и производительных способов обработки с учетом имеющегося оборудования и типа производства.

Основные технологические документы бывают общего и специального назначения. К первым относят: титульный лист, карту эскизов и технологическую инструкцию. Ко вторым – карты маршрутную, технологического, типового (группового) процессов, операционную, наладки, комплектовочную и другие, ведомости оснастки, оборудования, материалов и другие.

Технологические документы делят на текстовые и графические.

Текстовые документы содержат в основном сплошной текст или текст, разбитый на графы, разделы и подразделы. При разработке текстовых документов в зависимости от типа производства применяют следующие виды описания процессов: маршрутное, операционное и маршрутно-операционное. При разработке технологических процессов ремонта в основном применяют их маршрутно-операционное описание.

Графические документы в виде изображения объекта служат наглядной дополнительной информацией к текстовым документам для иллюстрации выполняемых действий. Изделия на эскизах изображают с примерным соблюдением пропорций, в рабочем положении на операции с указанием размеров, предельных отклонений, шероховатости, баз, опор и зажимов, необходимых для выполнения операции. Все размеры или конструктивные элементы нумеруют арабскими цифрами. Обработываемые поверхности обводят линией двойной толщины. Номера размеров проставляют в окружности диаметром 6...8 мм, которую соединяют с размерной

линией. Номера проставляют по часовой стрелке, начиная с левой верхней части эскиза. При этом значения размеров и предельных отклонений обрабатываемой поверхности в тексте операции не указывают. Графические обозначения установочных устройств приведены в ГОСТ 3.1107-81.

В документах маршрутного и маршрутно-операционного описания допускается не приводить эскизы, а использовать соответствующие конструкторские документы, оформленные в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Технологические документы разрабатывают на соответствующих бланках. Воздействия на ремонтируемый объект записывают в технологической последовательности операций, переходов, приемов работ, физических и химических процессов. Операции нумеруют числами ряда арифметической прогрессии (5, 10, 15 и т.д.), допускается к числам слева добавлять нули, переходы – числами натурального ряда (1, 2, 3 и т.д.), а установки – прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т.д.) Для обозначения позиций и осей применяют римские цифры.

Технические требования к изделию оформляют по ГОСТ 2.316-68.

Для изложения технологических процессов информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ (табл. 5.1). Служебные символы условно выражают состав информации, размещенной в графах данного типа строки, и предназначены для обработки содержания информации средствами механизации и автоматизации. Определена очередность заполнения служебных символов.

Таблица 5.1

Информация в технологическом документе

Служебный символ	Содержание строки
А	Номер цеха, участка, рабочего места, номер, код и наименование операции (для форм с горизонтальным полем подшивки)
Б	Код, наименование оборудования и информация о трудозатратах (для форм с горизонтальным полем подшивки)
В	Номер цеха, участка, рабочего места, номер, код и наименование операции (для форм с вертикальным полем подшивки)
Г	Обозначение документов, применяемых для выполнения операции (для форм с вертикальным полем подшивки)
Д	Код, наименование оборудования (для форм с вертикальным полем подшивки)
Е	Информация о трудозатратах (для форм с вертикальным полем подшивки)
К	Информация по комплектации изделия (для форм с горизонтальным полем подшивки)
М	Информация о материале
О	Содержание операции
Т	Информация об оснастке

Строки разделяют на графы вертикальными отрезками прямой линии длиной 0,5...1,5 мм. Графы нумеруют по ГОСТ 3.1118-82. Документ принимает структуру таблицы. В каждую графу вносят соответствующую информацию, указанную в приведенном стандарте.

Применительно к обработке резанием правила оформления технологических документов изложены в ГОСТ 3.1404-86, общие требования к формам, бланкам и документам – в ГОСТ 3.1104-81, а комплектность документов – в ГОСТ 3.1119-83. Правила записи операций и переходов приведены в ГОСТ 3.1702-79.

Маршрутная карта описывает процесс и содержит сведения об объекте, перечень технологических операций в порядке их следования, данные об оборудовании, приспособлениях, инструментах, машинном времени и разряде работы. В маршрутной карте записывают название операций (в форме прилагательного к слову “операция”) и краткое содержание работ. Операция получает название от наименования того оборудования, на котором она выполняется. Краткую запись содержания операции делают с указанием вида обработки и обрабатываемых поверхностей. В графе “Инструмент или приспособление” указывают только специальные инструменты и приспособления. Указывают промежуточные и окончательные параметры изделия.

Операционная карта описывает одну операцию. Применительно к механической обработке в ней указывают: наименование изделия и детали; вид и материал заготовки, его твердость; наименование и модель станка, сведения о приспособлениях; способ установки заготовки; содержание переходов с указанием режимов обработки; наименование режущего инструмента и средств измерений; машинное время обработки.

Запись содержания перехода включает:

- ключевое слово из рекомендуемых, характеризующее способ обработки и выраженное в неопределенной форме (например, точить, сверлить и т.д.);
- наименование обрабатываемой поверхности конструктивных элементов или предметов производства (например, цилиндр, галтель и т.д.);
- информацию по размерам или их условным обозначениям и конструктивным элементам;
- дополнительную информацию, характеризующую количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (например, предварительно, одновременно, по копиру и т.д.).

При записи содержания операции используют полную или сокращенную форму.

Полную форму записи выполняют при отсутствии графических изображений и для комплектного отражения всех действий, выполненных исполнителями.

Пример. Сверлить 4 сквозных отверстия с последующим зенкованием фасок, выдерживая $d = 10 + 0,2$, $d = 40 \pm 0,05$, $\angle 90^\circ \pm 30'$ и $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу.

Сокращенную запись выполняют при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке.

Примеры: 1. Сверлить 4 отв. $d = 10 + 0,2$, зенковать фаски $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу; 2. Точить канавку 1.

Запись вспомогательных переходов выполняют в соответствии с записью основных переходов.

Содержание перехода в документах приводят по всей длине строки с возможностью переноса информации на последующие строки. В записи информации или перехода не рекомендуется указывать шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Данные по технологической оснастке приводят с использованием классификаторов, стандартов на ее кодирование с указанием наименования. Информацию дают в следующей последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, средства измерений. Технологические режимы приводят после записи состава применяемой технологической оснастки.

В технологических документах для каждой операции обязательно приводят требования безопасности труда по ГОСТ 3.1120-83 со ссылками на действующие на данном предприятии инструкции по охране труда (ИОТ), требования стандартов ССБТ, санитарные нормы и правила и другие документы. Конкретное изложение требований безопасности в документах зависит от вида опасных и вредных производственных факторов и характера их воздействия на рабочих, возможности возникновения пожара или взрыва при выполнении технологического процесса от применяемых материалов, СТО и действий, выполняемых исполнителями. Указывают средства индивидуальной (респираторы, наушники, пинцеты, щипцы и др.) и коллективной (ограждения, экраны, вентиляционные устройства и др.) защиты. Сведения приводят в строках для записи технологической оснастки. Допускается текстовое изложение этих требований. Ссылки на ИОТ делают в графе строки О, следующей за наименованием операции. В карте эскизов делают дополнительные пояснения.

5.1.2. Оптимизация технологического процесса

Разработка технологического процесса включает научную и инженерную части. Научная часть определяет состав необходимых свойств ремонтируемого объекта и их значения, которые являются ограничениями и должны быть неукоснительно выдержаны. В результате научных исследований формируют также рациональное множество современных процессов и значений их параметров (основа технологии) для различных объемов ре-

монта, новые инструменты и схемы исполнительных механизмов оборудования (основа проектирования СТО). Указанные работы предшествуют заводской подготовке производства, по содержанию они рациональны для всех заводов ремонтной отрасли.

Инженерная часть включает выбор и описание множества технологических воздействий и СТО, обеспечивающих безусловное выполнение показателей качества ремонтируемых объектов с минимальным расходом производственных ресурсов. Эти решения оптимальны для конкретных производств.

Постановка задачи выбора технологического процесса следующая: из числа возможных типов и видов технологических операций, образующих процесс, найти такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по производительности и качеству с наименьшими затратами.

При выборе варианта технологического процесса одновременно ведут поиск как новых, так и оптимальных технических решений. Связное множество операций процесса ремонта изделия (на примере восстановления детали) выбирают из графа (рис. 5.1), составленного из вершин и дуг.

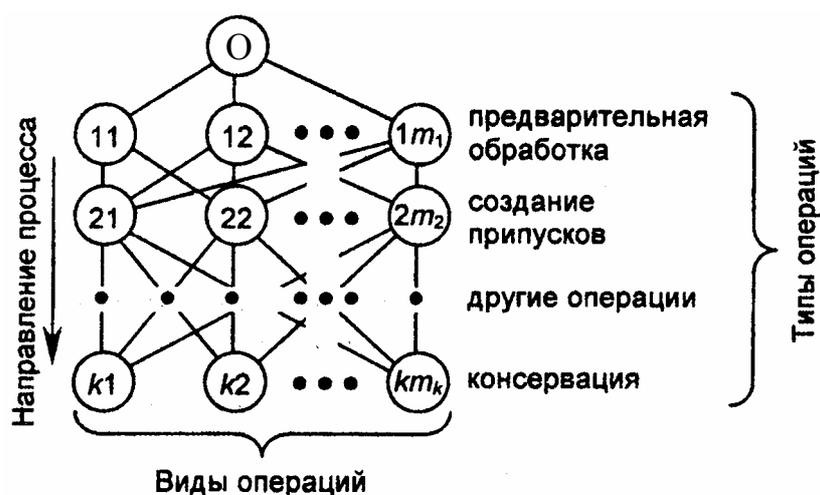


Рис. 5.1. Граф вариантов технологического процесса восстановления детали:
 $1, 2, \dots, k$ – типы операций; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов операций каждого типа

Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -тое подмножество однотипных технологических операций ($i = 1 \dots k$). Операция первого типа представлена m_1 ее видами, операция второго типа – m_2 ее видами и т.д., а операция k -того типа (нижняя строка графа) – m_k ее видами. Так, например, операция типа “нанесение покрытия” может быть представлена такими ее видами: наплавка, напыление, химическое или электрохимическое нанесение и др. Виды технологических операций выбираются из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и материи, использования новых материалов и различных физических

эффектов и их различных сочетаний. В граф включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по качеству и производительности. Длину каждой дуги графа определяют как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к одной детали.

Таким образом, множество вершин графа, построенного по правилам “морфологического” анализа, соответствует множеству образующих его операций, а множество дуг – затратам на подготовку и выполнение последующих операций

Связное подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант технологического процесса. Множество W вариантов процесса, составленного из операций, находящихся в конъюнктивно-дизъюнктивных связях “И – ИЛИ”, выражается соотношением

$$W \subseteq \{(p_{11} \cup p_{12} \cup \dots \cup p_{1m_1}) \cap (p_{21} \cup p_{22} \cup p_{2m_2}) \cap \dots \dots \cap (p_{k1} \cup p_{k2} \cup p_{km_k})\}, \quad (5.1)$$

число таких вариантов равно произведению $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k$. Несовместимость некоторых операций сокращает количество вариантов процесса.

Оптимизация задачи выражается в поиске кратчайшего пути из вершины O в одну из вершин нижнего яруса графа, а подмножество вершин на этом пути определяют оптимальный состав операций технологического процесса.

Кратчайший путь Z_{i+1} между указанными вершинами определяют с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана, используя свойство аддитивности целевой функции по составным частям процесса. Решают рекуррентное уравнение в каждой вершине графа

$$Z_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [Z_{(i+1)-1} + Z_i], \quad (5.2)$$

где i – шаги решения; Z_i – затраты на выполнение i операций при условии, что соответствующий участок графа выбран оптимальным образом; Z_{i+1} – затраты, отнесенные к $i+1$ операциям; $Z_{(i+1)-1}$ – затраты, отнесенные к присоединению $(i+1)$ -ой операции процесса к i его операциям.

Принцип оптимальности заключается в том, что каково бы ни было состояние системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания операций на предыдущих шагах с операцией на последующем шаге. Расчеты при этом ведутся от вершин нижнего их ряда к вершине O . В вершины графа вписывают значения Z_{i+1} .

Двигаясь в найденных направлениях из вершины O графа через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетание операций, которое при прочих равных условиях обеспечивает наименьшие затраты на выполнение технологического процесса. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине графа.

5.1.3. Пример выбора и оптимизации технологического процесса

Рассмотрим процесс восстановления гильзы цилиндра автомобильного двигателя ЗМЗ-53. Материал детали – СЧ18 или износостойкий чугун ИЧГ-33М. Устраняемые повреждения – износы зеркала цилиндра и наружной цилиндрической поверхности пояска. Требования к восстановлению: твердость поверхности 170...240 НВ, допуск на диаметр цилиндра +0,06 мм, допуск на диаметр пояска –0,02 мм, нецилиндричность поверхности зеркала цилиндра 0,008 мм, биение поверхности пояска относительно поверхности цилиндра 0,08 мм.

Морфологическая матрица и соответствующий граф вариантов технологического процесса с затратами на подготовку и выполнение операций приведены в табл. 5.2 и на рис. 5.2. Значения длин дуг графа приведены в их разрывах. По существу – это значения затрат $Z_{(i+1)-1}$, которые входят составной частью в рекуррентное уравнение (5.2).

Таблица 5.2

Морфологическая матрица составляющих операций технологического процесса восстановления гильзы цилиндра

Операции		Координаты вершин	Затраты, руб.
Тип	Вид		
Создание припуска на обработку зеркала цилиндра	Использование поверхностного изношенного слоя	$2a$	0
	Установка листовой ДРД	$2b$	61,7
	Термопластическое обжатие	$2в$	17,4
	Индукционная наплавка	$2г$	104,7
	Железнение	$2д$	67,3
Создание припуска на обработку центрирующего пояска	Электродуговое напыление	$3б$	11,3
	Железнение	$3г$	23,4
Черновая обработка центрирующего пояска	Точение	$4в$	8,1
Черновая обработка зеркала цилиндра	Растачивание	$5б$	24,0
	Хонингование	$5в$	26,8
	Шлифование	$5г$	31,5
Чистовая обработка зеркала цилиндра	Хонингование	$6в$	23,2
Чистовая обработка центрирующего пояска	Шлифование	$7б$	12,7
	Точение резцами из сверхтвердых материалов	$7г$	7,4

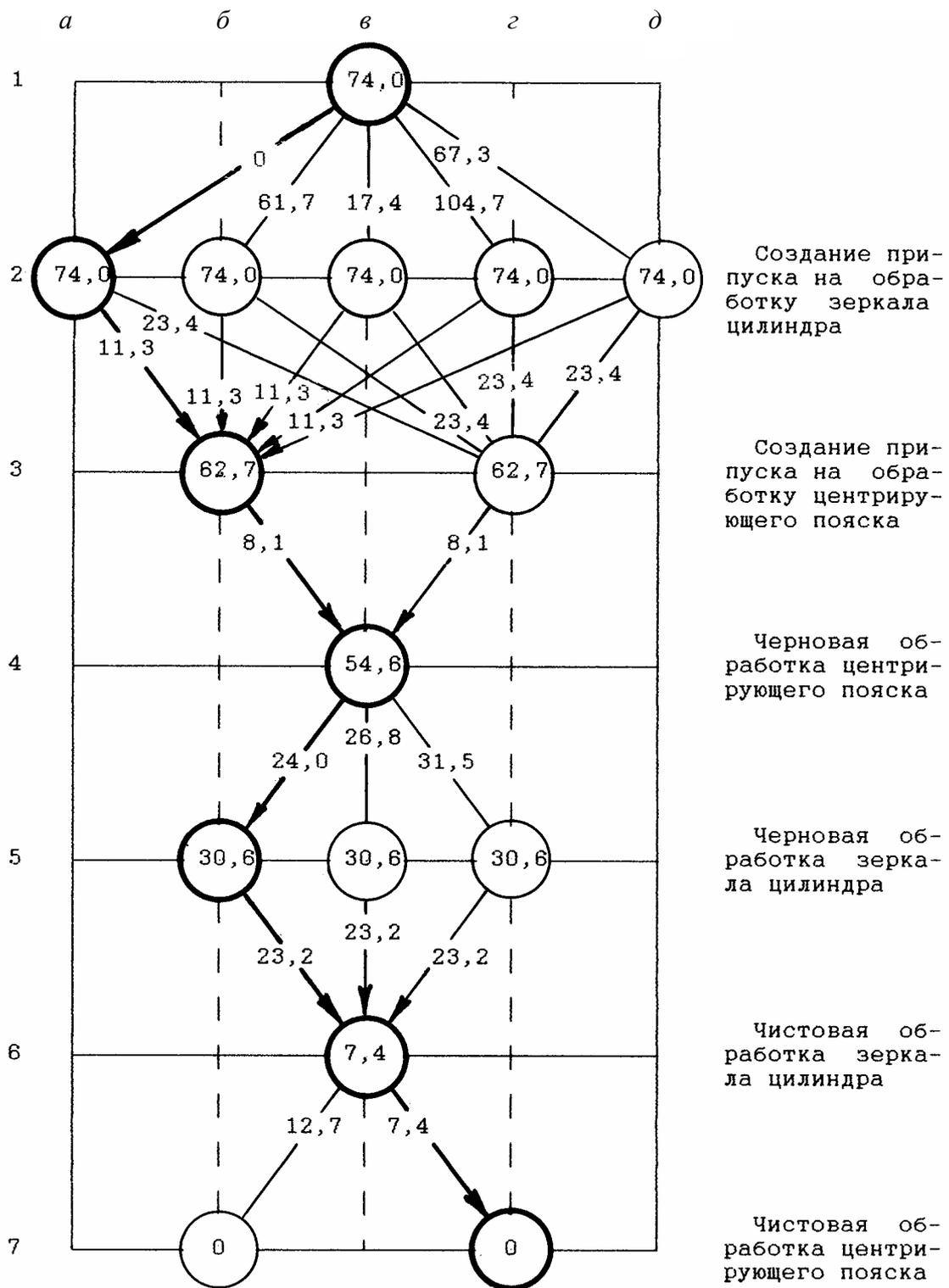


Рис. 5.2. Граф вариантов технологического процесса восстановления гильзы цилиндра и оптимизации процесса

Расчеты начинают с определения минимального значения функции Z_{i+1} в вершинах предпоследнего 6-го яруса графа, потому что значения затрат Z_i ниже 7-го яруса графа формально равны нулю.

Сравнение между собой длин дуг $6в - 7б$ и $6в - 7г$ дает основание выбрать направление движения вдоль второй дуги и ориентировать ее стрелкой в вершину $7г$, а в вершину $6в$ вписать минимальное значение функции – 7,4 руб.

Рассмотрим вершины 5-го яруса. Вариантов движения из них нет, поскольку из каждой вершины выходит одна дуга. Все дуги помечаем стрелками, а в вершины вписываем сумму 30,6 руб.

Из вершины $4в$ возможно три пути движения, но выбран путь $4в - 5б - 6в - 7г$, потому что он дает минимальное значение $Z_{i+1} = 54,6$ руб. Дугу $4в - 5б$ помечаем стрелкой.

Результаты рассмотрения значений функции Z_{i+1} в вершинах $3б$ и $3г$ аналогичны полученным ранее значениям функции в вершинах 5-го яруса.

Из каждой вершины 2-го яруса возможно движение в одну из двух вершин 3-го яруса. Определим возможные пути движения из вершин $2а$, $2б$, $2в$, $2г$ и $2д$ парным сопоставлением значений функции Z_{i+1} . Эти значения учитывают длины дуг, исходящих из этих вершин и направленных в вершины $3б$ и $3г$. Все дуги со стрелками сходятся в вершине $3б$.

Из вершины $1в$ возможно пять путей движения в вершины 2-го яруса, однако самый короткий путь в вершину последнего яруса проходит через вершину $2а$. Минимальное значение функции Z_{i+1} , равное 74 руб., определяет стоимость восстановления детали с применением технологического процесса, который описывается сочетанием операций $1в - 2а - 3б - 4в - 5б - 6в - 7г$ и состоит из электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под ремонтный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов.

Припуск на механическую обработку зеркала цилиндра за счет использования поверхностного изношенного слоя металла имеется лишь на заготовках, которые не исчерпали ремонтных размеров. В другом случае необходимо создавать припуск нанесением покрытия или пластическим деформированием материала заготовки.

Мысленно исключим из графа вершину $2а$ и связанные с ней дуги. Если повторить расчет сначала, то для графа нового содержания оптимальный технологический процесс описывается признаками $1в - 2в - 3б - 4в - 5б - 6в - 7г$ и состоит из термопластического обжата заготовки, электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под номинальный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов. Стоимость восстановления гильзы цилиндра в этом случае составляет 91,4 руб.

Таким образом, рассматриваемый метод выбора технологического процесса основан на учете многообразия освоенных и гипотетически возможных составляющих способов создания ремонтных заготовок, обработки и упрочнения, удовлетворяет установленным ограничениям по качеству и производительности и обеспечивает наименьшие затраты на свою реали-

зацию. Если производственные возможности предприятия не позволяют внедрить предложенный процесс, то путем исключения его неосуществимых признаков можно найти другой процесс, наиболее близкий к оптимальному решению.

Изменяющееся соотношение затрат на материалы, энергию и заработную плату и появление новых технических решений требует периодического пересмотра результатов оптимизации.

5.1.4. Технологическая унификация

Преимуществом технических решений в виде технологической *унификации* уменьшает разнообразие процессов и СТО, исключает дублирование работ в технологической подготовке ремонтного производства, уменьшает ее трудоемкость и длительность, расширяет масштабы распространения прогрессивных средств и процессов, реализует политику ресурсосбережения и обеспечивает гибкость производства. Основное средство технологической унификации – это обоснование минимального числа разновидностей технологических процессов, близких по содержанию.

Технология восстановления деталей может быть организована как подефектная, маршрутная, типовая, групповая или модульная.

Подефектную технологию разрабатывают для устранения отдельных повреждений, а *маршрутную* – для устранения реально существующих сочетаний повреждений по установленным маршрутам.

Подефектная технология для ремонтных предприятий с большими объемами выпуска экономически не оправдана. Партии восстанавливаемых деталей комплектуют только по наименованиям без учета однотипности имеющихся сочетаний повреждений. Организация работ не позволяет восстановить эти детали по единому технологическому процессу. В результате партия заготовок распадается, а учет деталей, трудовых и материальных затрат затрудняется. При этих условиях невозможен запуск в производство больших партий заготовок и нецелесообразно применение специализированного оборудования и оснастки.

Детали, требующие восстановления, имеют, как правило, устойчивые сочетания повреждений. Множества сочетаний повреждений определяются условиями эксплуатации и выявляются в результате обследования большого числа деталей ремонтного фонда. Маршрутная технология восстановления деталей обеспечивает более высокое их качество с меньшими затратами.

По мере образования необходимого количества деталей формируются их партии, которые направляются на рабочие места нанесения покрытий, установки и закрепления ДРД, пластического деформирования и обработки.

Технологическая унификация в восстановительном производстве получила широкое распространение в виде *типовых* технологических процессов по нанесению покрытий и механической обработке заготовок.

Типовые технологические процессы в виде общих процессов обработки групп конструктивно подобных деталей предложил проф. А.П. Соколовский. Разработка процессов базируется на классификации деталей. Класс представляет множество деталей, связанных общностью технологических задач.

Однотипные детали обрабатывают по типовым технологическим процессам, которые характеризуются единообразием содержания и последовательности выполнения большинства технологических переходов для групп деталей с общими конструктивными признаками.

Групповая обработка устанавливает однотипные способы обработки с использованием быстроперенастраиваемых СТО для групп однородных по конструктивно-технологическим признакам деталей.

Групповую обработку деталей предложил проф. С.П. Митрофанов.

Принципиальное отличие технологий друг от друга заключается в том, что типовые процессы характеризуются общностью последовательности и содержания операций при восстановлении типовой группы деталей, а групповая обработка – общностью оборудования и оснастки при восстановлении группы разнородных деталей.

Модульный принцип формирования техники разработал проф. А.Л. Васильев, а модульную технологию предложил и развил проф. Б.М. Базров.

Сущность *модульной* технологии заключается в создании процессов из блоков (модулей), сочетание которых определяется конкретными задачами и условиями производства. Модульная технология основана на представлении детали совокупностью геометрических модулей, под которыми понимают сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения служебной функции. Множество модулей поверхностей ограничено 26 наименованиями, что открывает перспективы по типизации и унификации технологических процессов, оборудования и оснастки.

Модульный технологический процесс, например, восстановления детали, представляет собой множество технологических операций восстановления модуля поверхностей. Каждая операция обеспечена соответствующим типовым оборудованием, приспособлениями, инструментами и средствами измерений. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне восстановления модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает процессу гибкость.

Модульная технология позволяет внедрить поточную организацию восстановления деталей в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, способно в кратчайшие сроки с минимальными затратами перейти на восстановление деталей новых видов.

Применение модульных технологий наиболее эффективно при подготовке многономенклатурного производства. Это позволяет широко ис-

пользовать отдельные средства и процессы при ремонте сложной техники. Особую актуальность это направление приобретает в настоящих условиях – при отсутствии централизованного финансирования и нежелания предпринимателей вкладывать средства в долгосрочные проекты.

Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования, реконструкция производства может выполняться поэтапно, средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового оборудования. Возможно перепрофилирование производства, при этом уменьшаются сроки освоения производства.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие критерии применяют для оценки технологического решения? 2. Каков порядок маршрутно-операционного описания технологического процесса? 3. Изложите содержание метода, с помощью которого выбирают способ восстановления детали. 4. Какова необходимость технологической унификации? 5. Приведите содержание и виды технологической унификации.

5.2. Проектирование средств технологического оснащения

До 80 % трудоемкости технологической подготовки ремонтного производства приходится на проектирование и изготовление СТО. Большую их долю создают в собственном вспомогательном производстве.

В составе ОГТ ремонтного предприятия имеются КБ по проектированию СТО. Эти бюро разрабатывают, например, стенды для общей и узловой разборки и сборки агрегатов, машины для очистки деталей от прочных загрязнений, приспособления на металлорежущие станки, штампы для листовой штамповки, инструменты (резцы, фрезы, развертки и др.), пресс-формы для получения отливок из пластмасс и алюминиевых сплавов, стенды для уравнивания деталей и испытания агрегатов, специальные приборы для измерения параметров расположения поверхностей, оргтехоснастку (столы, тумбочки, подставки, стеллажи) и многие другие средства. Разработанные средства изготавливают силами ИУ завода.

При освоении ремонта машин или при недостатке опыта проектирования СТО создают отдельными экземплярами, хотя намного экономичнее проектировать всю систему этих средств и поочередно создавать ее части.

5.2.1. Проектирование приспособлений

На заводах Беларуси эксплуатируется около 2 млн приспособлений. Срок их службы на порядок меньше срока службы оборудования, для которого они предназначены.

Приспособление для механической обработки состоит из корпуса, опор, механизма закрепления заготовки, элементов закрепления приспособления на станке, устройств для установки, направления и контроля положения инструмента.

При проектировании приспособления изображают заготовку, отмечают обрабатываемые поверхности и технологические базы. Изображают опорные элементы приспособления и инструмент в крайних положениях.

Опоры и устройства для закрепления ориентируют заготовку и лишают ее необходимого числа степеней свободы. Применяют опоры:

- цилиндрические со сферической, насеченной или плоской рабочими поверхностями;

- в виде пластин, шайб, призм, пальцев и оправок с наружными и внутренними центрами;

- регулируемые подводные (при обработке нежестких заготовок).

Технологические базы (по ГОСТ 21495-76) – это поверхности, линии или точки на поверхности заготовки, которые в контакте с опорами приспособлений определяют ее положения в переходах установки при обработке и ориентирования при сборке. В зависимости от количества и видов лишаемых заготовкой степеней свободы ее технологические базы делят на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные. *Установочная* база лишает заготовку трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей. *Направляющая* база лишает заготовку двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. *Опорная* база лишает заготовку перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. *Двойная направляющая* база лишает заготовку четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей. *Двойная опорная* база лишает заготовку двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей. Установочные базы должны иметь наибольшую площадь, направляющие – наибольшую протяженность, а опорные – небольшие размеры.

В качестве технологических баз применяют:

- плоские поверхности корпуса;
- два цилиндрических отверстия с параллельными осями и перпендикулярную к ним плоскую поверхность корпуса;

- центровые отверстия или фаски вала;

- наружные или внутренние поверхности вращения и перпендикулярную к их осям плоскую поверхность диска или гильзы.

Продолжая разработку приспособления, выбирают на основании технико-экономического расчета вид привода для закрепления заготовки. Привод может быть ручной (резьбовой, эксцентриковый, клиновой, рычажный и др.) или механический (пневматический, гидравлический, электромагнитный и др.). К заготовке прикладывают силы резания и закрепления, реакции опор и силы трения. Из уравнений равновесия заготовки на-

ходят значение расчетного усилия закрепления. Фактическое значение усилия закрепления, обеспечиваемое приводом, получают путем умножения расчетного усилия на коэффициент запаса K

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6, \quad (5.3)$$

где K_0 – коэффициент гарантированного запаса, равен 1,5; K_1 – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания из-за случайных неровностей на обрабатываемых поверхностях, равен 1,2 при черновой обработке и 1,0 – при чистовой обработке; K_2 – коэффициент, характеризующий увеличение сил резания при затуплении режущего инструмента, изменяется от 1,0 до 1,8; K_3 – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания при прерывистом резании, при таком же точении и торцовом фрезеровании равен 1,2; K_4 – коэффициент, характеризующий непостоянство силы закрепления, изменяется от 1,0 до 1,3; K_5 – коэффициент, учитывающий эргономический фактор, при удобном расположении рукоятки и малом угле ее поворота равен 1,0, в противном случае – 1,2; K_6 – коэффициент, учитывающий наличие моментов, стремящихся повернуть заготовку, при установке на штыри равен 1,0, при установке на опорные пластины – 1,5.

Если в результате расчета значение коэффициента запаса K окажется меньше 2,5, то принимают $K = 2,5$.

Вычерчивают корпус приспособления, на котором размещают опоры и детали механизма закрепления заготовки. На корпусе выполняют элементы для его установки на станке. Неподвижный корпус приспособления закрепляют на столе станка с помощью болтов с гайками. Головки болтов входят в Т-образные пазы стола. Часто на поверхности приспособления, соприкасающейся с поверхностью стола, устанавливают две призматические шпонки шириной, равной ширине паза стола. Эти шпонки быстро базируют приспособление при его установке. Подвижный корпус, например, в виде планшайбы, устанавливают на коническую поверхность шпинделя станка и закрепляют. Если планшайбу устанавливают на наружную коническую поверхность шпинделя, то эту планшайбу крепят к фланцу шпинделя болтами. Если для установки планшайбы используют внутреннюю коническую поверхность шпинделя, то конус приспособления крепят с помощью шпильки, проходящей через отверстие шпинделя.

Погрешность установки заготовки в приспособлении ε_y как суммарное поле рассеяния размера обработки определяют по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2} \leq [\varepsilon_y], \quad (5.4)$$

где ε_6 – погрешность базирования, которая возникает при несовпадении измерительной и технологической баз; ε_3 – погрешность закрепления, воз-

никающая из-за смещения измерительной базы относительно опор приспособления под действием сил закрепления; ε_{np} – погрешность положения заготовки относительно режущего инструмента под влиянием неточного изготовления приспособления и износа опор; $[\varepsilon_y]$ – допустимая погрешность установки заготовки, которая составляет часть допуска на размер.

Изображают инструмент, установленный на резцедержателе, скалке или в шпинделе станка, устройства для его направления (например, кондукторные втулки) и поддерживания (например, центра).

Детали приспособления рассчитывают на прочность, жесткость и износостойкость.

5.2.2. Проектирование стендов

В зависимости от функционального назначения стенды (технологические машины) бывают разборочные, очистные, для определения технического состояния объектов, для нанесения покрытий (металлических, полимерных, лакокрасочных), сборочные, обкаточные, испытательные, сушильные и др. Несмотря на то, что проектируемые стенды различны по устройству и назначению, можно определить общую методику их проектирования.

При изображении стенда показывают ремонтируемый объект в рабочих (начальном и последующих) положениях на опорах стенда. Выбирают механизм и его элементы для закрепления изделия. Определяют скорость и момент для перемещения ремонтируемого (восстанавливаемого) объекта. Выбирают привод (двигатель, редуктор и исполнительный механизм).

Для испытательных и обкаточных средств выбирают нагружающее устройство. Для очистных машин и стендов для нанесения покрытий принимают устройство для подготовки и перемещения материала.

Предусматривают меры по защите рабочего от вредных или опасных факторов путем установки кожухов, щитков и экранов, блокировки перемещений при открытых люках и дверцах, использования вентиляции, светофильтров и др.

Двигатели, передающие и исполнительные механизмы устанавливают на раме (корпусе) и производят оптимизацию конструкции. Предусматривают подвод производственных ресурсов и отвод отходов.

Выполняют эргономическую проработку изделия. Органы управления должны находиться в зонах досягаемости рук и ног рабочего, усилия на рычаги и педали не должны превышать установленных значений, а показания приборов легко читаться. Стенд должен быть приспособлен к возможностям и особенностям человека.

Учитывают категории композиции – тектонику и объемно-пространственную структуру. Тектоника – это зримое отражение работы конструкции и материала объекта в его форме. Объемно-пространственная структура определяется взаимосвязью всех элементов машины как между собой, так и с пространством.

5.2.3. Проектирование специальных средств измерений

В ремонтном производстве проектируют и изготавливают специальные средства для измерения линейных размеров и параметров расположения.

Методика проектирования жестких калибров (пробок и скоб) для качественной оценки размеров изложена в курсах нормирования точности и технических измерений.

С помощью других средств собственного изготовления измеряют следующие параметры:

- отклонение от соосности двух или более поверхностей, которое определяется параллельным смещением осей друг относительно друга или их перекосом;

- радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от проверяемой поверхности тела вращения до оси вращения. Параметр включает величину несоосности и погрешности формы в поперечном сечении;

- торцовое биение – разность между наибольшим и наименьшим расстояниями от торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной оси вращения. Параметр измеряют на заданном (чаще наибольшем) радиусе торцовой поверхности;

- отклонение пересекающихся осей от правильного относительного расположения выражается отклонением от заданного угла между осями или величиной непересечения (скрещивания), определяемой как кратчайшее расстояние между осями;

- отклонение скрещивающихся осей от правильного относительного расположения выражается отклонением угла между осями и базовыми поверхностями, а также отклонениями заданного расстояния между осями;

- непараллельность оси и плоскости – разность наибольшего и наименьшего расстояний между осью и заданной плоскостью на определенной длине;

- неперпендикулярность поверхностей – отклонение угла между ними. Если поверхности расположены под углом друг к другу, отличным от прямого, то определяются отклонения от этого угла.

Погрешности относительного расположения поверхностей подчиняются закону Рэлея.

Отклонения от соосности шеек, их радиальные биения и торцовое биение поверхностей измеряют с помощью индикаторной головки на штативе при вращении вала в центрах или на призмах с упором в торец. Соосность опор корпусной детали и биения их торцов относительно поверхности опор измеряют с помощью индикаторной скалки, вращающейся в крайних опорах детали.

Остальные параметры, как правило, измеряют относительным способом. Комплект контрольного прибора включает корпус, эталон детали и индикаторные головки. В корпусе приспособления имеются опорные элемен-

ты для установки эталона контролируемой детали или самой детали. В необходимых местах прибора установлены неподвижно или с возможностью перемещения индикаторные головки для измерения линейной величины. При настройке прибора на опоры его корпуса устанавливают эталон, рабочие поверхности которого выполнены с минимальной погрешностью расположения поверхностей. Измерительные наконечники индикаторных головок вводят в соприкосновение с рабочими поверхностями эталона. Стрелки индикаторных приборов совмещают с нулевыми штрихами шкал. При работе прибора вместо эталона на опоры его корпуса устанавливают контролируемую деталь. Измерительные наконечники индикаторных приборов вводят в соприкосновение с поверхностями детали. Показания индикаторных головок определяют отклонения поверхностей от номинальных положений.

5.2.4. Организация проектирования системы средств технологического оснащения

Для каждого ремонтного завода, характеризующегося специализацией и производственной мощностью, существует оптимальное множество видов СТО и их количество. При проектировании СТО их рассматривают как систему (рис. 5.3). Это означает, что проектируемые объекты, которые подчинены общей цели и находятся в связях и отношениях как друг с другом, так и с внешней средой, представляют собой целостное множество. Системный подход к проектированию СТО обеспечивает:

- подчинение проектирования СТО цели технологической готовности производства;
- рассмотрение частей СТО на любом структурном уровне без пропусков и повторений. Это важно для многоэтапной и многовариантной оптимизации, поочередной их модернизации и перекомпоновке при смене предмета труда;
- определение функции цели в виде минимума затрат прошлого (овеществленного) и настоящего (живого) труда на создание СТО и будущего труда, связанного с функционированием системы СТО;
- выявление системного эффекта в виде разности затрат, с одной стороны, на создание комплекса единичных машин и, с другой стороны, на создание системы их упорядоченного множества;
- наличие обратной связи как разницы в стоимостном выражении между входами и выходами системы для принятия промежуточных решений;
- учет ограничений, выраженных сроками подготовки производства, объемами выпуска и показателями качества товарной продукции.

Приведенный подход к разработке и созданию системы СТО ремонтного завода обеспечивает экономически обоснованное и технически оправданное множество типов технических устройств и их модулей. Это уменьшает затраты труда и времени на создание техники, упрощает ее обслуживание и ремонт, позволяет ее переналадку при смене ремонтируемых объектов.

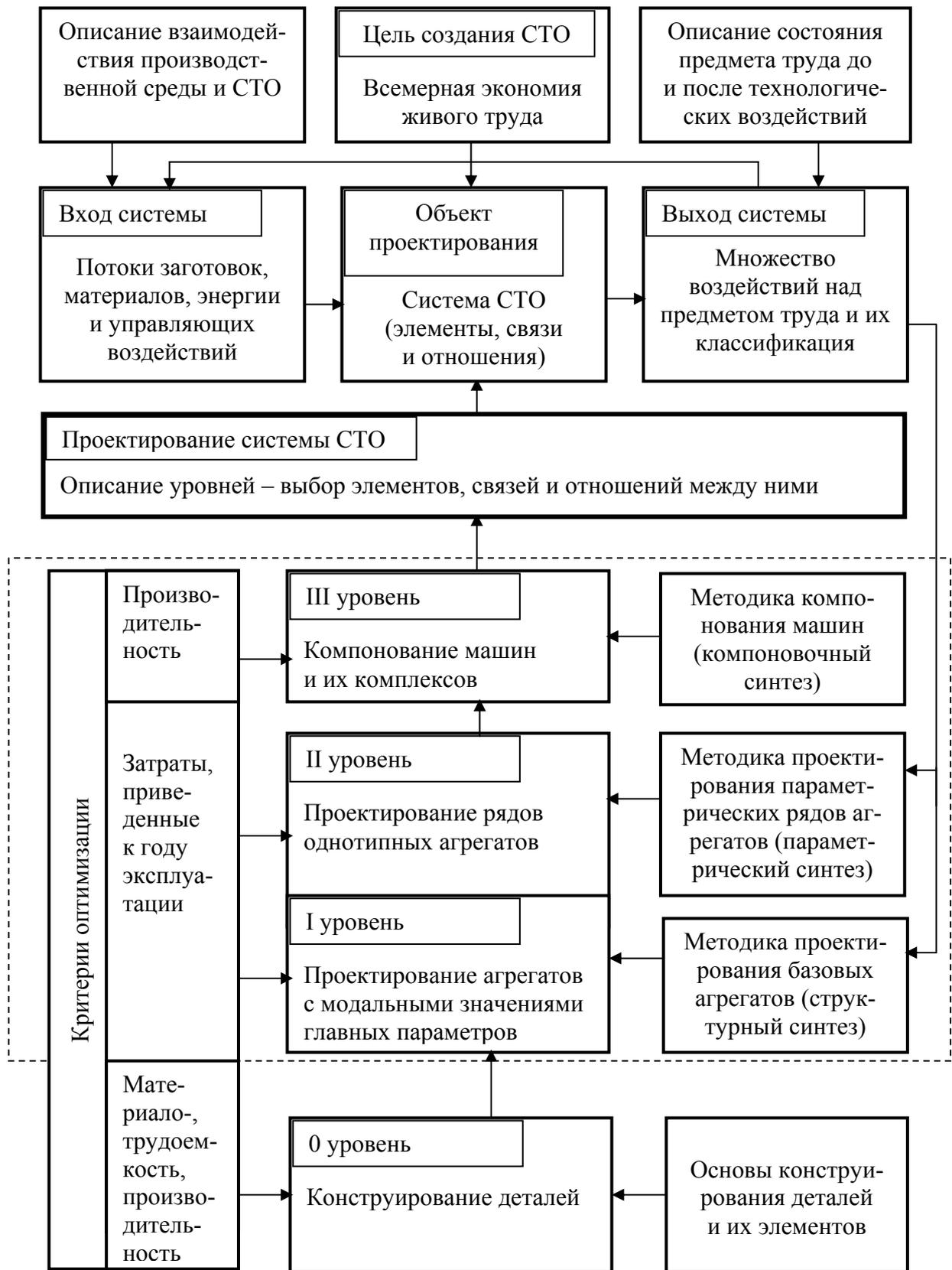


Рис. 5.3. Блок-схема проектирования системы СТО ремонтного завода

Для удовлетворения спектра потребностей в технологических переходах над ремонтируемыми объектами проектные работы СТО ведут на трех системных уровнях:

– вначале разрабатывают для каждого типа технологических переходов базовый исполнительный агрегат путем его структурного синтеза. Этот агрегат предназначен для выполнения технологического перехода, значение главного параметра которого соответствует модальному (наиболее часто встречаемому) значению функции спроса на агрегаты данного типа;

На ремонтных заводах используют базовые исполнительные агрегаты (модули) для перемещения, ориентирования, базирования и закрепления деталей, приложения сил и моментов, очистки деталей, измерения, определения течей, испытания и другие. Базовые конструкции исполнительных агрегатов с небольшими дополнениями превращаются в модульные.

– затем в результате параметрического синтеза из каждого базового агрегата образуют ряд однотипных агрегатов с измененными значениями главного параметра. Этот ряд агрегатов способен выполнить все технологические переходы данного типа;

Типоразмерные ряды приведенных выше видов устройств применяют для выполнения 80...90 % технологических переходов.

– и в заключение разрабатывают компоновки технологических машин, включающие исполнительные агрегаты, выбранные из их типоразмерных рядов.

Система исполнительных агрегатов и их типоразмерных рядов, из которых образуются технологические машины, может быть оптимальной для конкретных условий производства (видов и объемов ремонтируемых изделий).

Технологические функции разработанных средств модульного строения соответствуют модульной технологии, которая присутствует в описании технологического процесса каждый раз, когда рассматриваемое средство находится в составе технологической машины.

5.2.5. Проектирование базовых исполнительных агрегатов (модулей) средств технологического оснащения

Постановка задачи структурного синтеза – образование структуры агрегата из существенных признаков исполнительного или вспомогательного агрегата технологической машины, выполняющего заданную технологическую функцию и обеспечивающего минимальные затраты, приведенные к одному технологическому переходу. Существенные признаки агрегата – это составляющие агрегат элементарные механизмы, их связи и отношения между собой. В структуре агрегата каждый из его признаков необходим, а все вместе они достаточны для обеспечения заданной функции агрегата. Заданная функция – это предписанный технологический переход (основной или вспомогательный) над ремонтируемым объектом.

На стадии структурного синтеза одновременно ведут поиск как новых, так и оптимальных технических решений.

Решение базируется на графовом представлении возможных вариантов структуры агрегата и выборе из них оптимальной структуры с применением динамического программирования.

Различные структуры агрегата (рис. 5.4) описываются графом, подобным графу (см. рис. 5.1). Множество вершин графа p соответствует множеству элементарных механизмов, а множество дуг l – приведенным затратам на создание и эксплуатацию последующего механизма. Граф состоит из k горизонтальных рядов вершин, каждый из которых представляет множество исполнений механизма одного вида.

Варианты механизмов агрегата находят из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и движения, разных конструкциях элементов и их взаимного расположения. Большое количество вариантов агрегата получают за счет сочетаний как известных, так и новых его частей. Подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет одно исполнение агрегата. Несовместимость некоторых механизмов между собой сокращает количество вариантов агрегата.

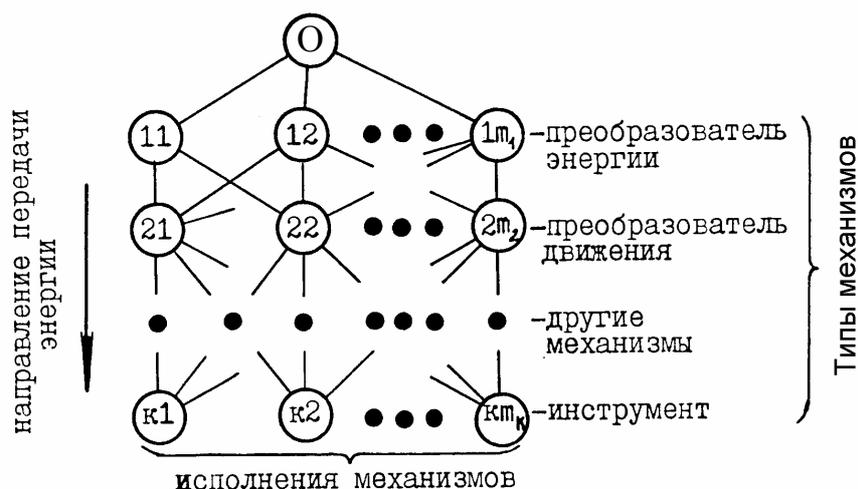


Рис. 5.4. Граф структур исполнительного агрегата: $1, 2, \dots, k$ – типы механизмов; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов механизмов 1-го, 2-го, k -того типа, соответственно

Определим длину каждого ребра графа как затраты на создание и эксплуатацию последующего механизма, отнесенные к одному технологическому переходу. Расчет ведут для модального значения гистограммы потребностей (рис. 5.5) в агрегатах данного типа.

Подмножество вершин на кратчайшем пути из вершины O в одну из вершин нижнего ряда графа определяет оптимальную структуру агрегата. Направления движения из каждой вершины графа находят с помощью рекуррентного соотношения

$$Z_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [Z_{(i+1)-1} + Z_i], \quad (5.5)$$

где i – шаги решения; Z_i – приведенные затраты на технологический переход (далее – затраты), отнесенные к i механизмам агрегата при условии, что соответствующий участок графа выбран оптимальным образом; Z_{i+1} – затраты, отнесенные к $i+1$ механизмам; $Z_{(i+1)-1}$ – затраты, отнесенные к присоединению $(i+1)$ -го механизма агрегата к i его механизмам.

n , ед

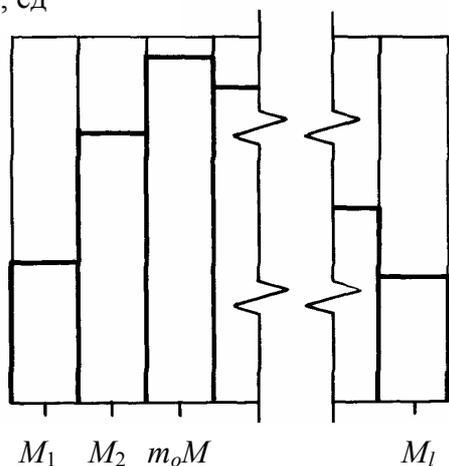


Рис. 5.5. Гистограмма распределения количества однотипных технологических переходов со значениями параметра $M_1, M_2, \dots, M_i; m_oM$ – модальное значение главного параметра

после производственной апробации технологические модули подлежат заводской стандартизации.

Пример разработки технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах ТМС.

Комплект очищаемых деталей двигателя включает блок цилиндров, шатуны, поршни, коленчатый и распределительный валы, крышки, картеры и другие детали. Для очистки применяют водный раствор Лабомид-101 или -203 при температуре 80...90 °С. Массовая доля ТМС составляет 20...30 г/л. Технологический модуль образуется из шести типов устройств (табл. 5.3), выполняющих функции подачи деталей в зону очистки, технологического перемещения деталей в рабочей камере, подогрева раствора, взаимодействия раствора с деталями, активации очистного раствора и его регенерации. Устройство каждого типа может быть выполнено в различных видовых исполнениях. Сведения морфологической матрицы представлены в виде графа (рис. 5.6), который формирует 2304 варианта модуля. Значения затрат приведены в долях базовой величины (БВ).

Оптимизационные расчеты начинаем с определения путей движений из вершин предпоследнего 6-го яруса графа, поскольку ниже 7-го яруса значения затрат Z_i формально равны нулю.

Сравниваем между собой пути выходящие из вершин $6a, 6b$ и $6d$. Все самые короткие пути из указанных вершин ведут в вершину $7d$. Все дуги, ведущие в эту вершину, ориентируем стрелками, а в вершины 6-го яруса вписываем значение функции цели $Z_{i+1} = 0,08$ БВ.

Аналогично, все самые короткие пути из всех вершин 5-го яруса проходят через вершину $6b$, из вершин 4-го яруса – через вершину $5a$, из вершин 3-го яруса – через вершину $4d$ и из вершин 2-го яруса – через вершину $3d$. Из вершины $1b$ возможны четыре пути движения, но самый короткий из них ведет через вершину $2a$. Отмеченные

Двигаясь из вершины O в найденных направлениях через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетания механизмов агрегата. Найденное техническое решение характеризуется при прочих равных условиях тем, что затраты, отнесенные к одному технологическому переходу, являются наименьшими.

Спроектированный агрегат способен выполнять самостоятельную функцию, он имеет стыковую поверхность с крепежными элементами для его установки на станине оборудования. Таким образом, агрегат превращается в модуль, который многократно применяется в технологических машинах, выполняющих различные операции. После производственной апробации

короткие пути из вершин ярусов обозначаем стрелками, а в вершины графа вписываем соответствующие значения функции цели Z_{i+1} .

Таблица 5.3

Морфологическая матрица составляющих устройств технологического модуля для очистки деталей

Наименования составляющих устройств или их признаков	Координаты вершин	Затраты, доли БВ
Подача деталей в зону очистки:		
– конвейером	2a	0,01
– транспортером	2б	0,03
– кран-балкой	2г	0,04
– вручную	2д	0,11
Виды движения деталей в рабочей камере:		
– прямолинейное горизонтальное	3a	0,12
– возвратно-поступательное в вертикальной плоскости	3б	0,25
– маятниковое вокруг горизонтальной оси	3г	0,14
– вращательное вокруг горизонтальной оси	3д	0,09
Способ подогрева раствора:		
– паровыми теплообменниками	4a	0,38
– подачей пара в раствор	4б	0,46
– ТЭНами	4г	0,25
– пленочными нагревателями	4д	0,19
Виды взаимодействия раствора с деталями:		
– статическое	5a	0
– струйное	5б	0,48
– вихревое	5д	0,36
Виды активации очистного раствора:		
– лопастным винтом	6a	0,43
– ротором-активатором	6б	0,34
– наложением ультразвуковых колебаний	6д	0,68
Виды регенерации очистного раствора:		
– отстаиванием	7a	0,18
– коагуляцией	7б	0,14
– флотацией	7г	0,12
– фильтрованием	7д	0,08

Теперь легко находится самый короткий путь из вершины 1в в одну из вершин 7-го яруса. Этот путь можно проследить, если двигаться из вершины 1в в направлении ориентированных дуг. Кратчайший путь проходит через вершины 1в – 2а – 3д – 4д – 5а – 6в – 7д. Значение функции затрат равно 0,71 БВ. Прохождение кратчайшего пути через вершину 5а соответствует очистке деталей без движения их в очистном растворе, что весьма эффективно при очистке деталей в межсменное время при отключенной подаче тепла на нагрев раствора. Эту возможность нельзя использовать в течение рабочей смены. Поэтому мысленно исключаем из графа вершину 5а и связанные с ней дуги. После повторения расчета получаем сочетание вершин графа: 1в – 2а – 3д – 4д – 5д – 6в – 7д. Это сочетание описывается конструктивными признаками: комплект деталей на очистку подают конвейером, устройство для перемещения деталей в рабочей камере обеспечивает их вращение вокруг горизонтальной оси, нагрев технологического раствора производится пленочными нагревателями, струи раствора взаимодействуют с очищаемыми деталями в сплошной среде (что достигается при погружном способе очистки), раствор

активирован роторами-активаторами, его регенерируют с помощью механических фильтров. Новое значение функции затрат на очистную операцию равно 1,05 БВ.

Принципиальное устройство разработанного технологического модуля приведено на рис. 2.10.

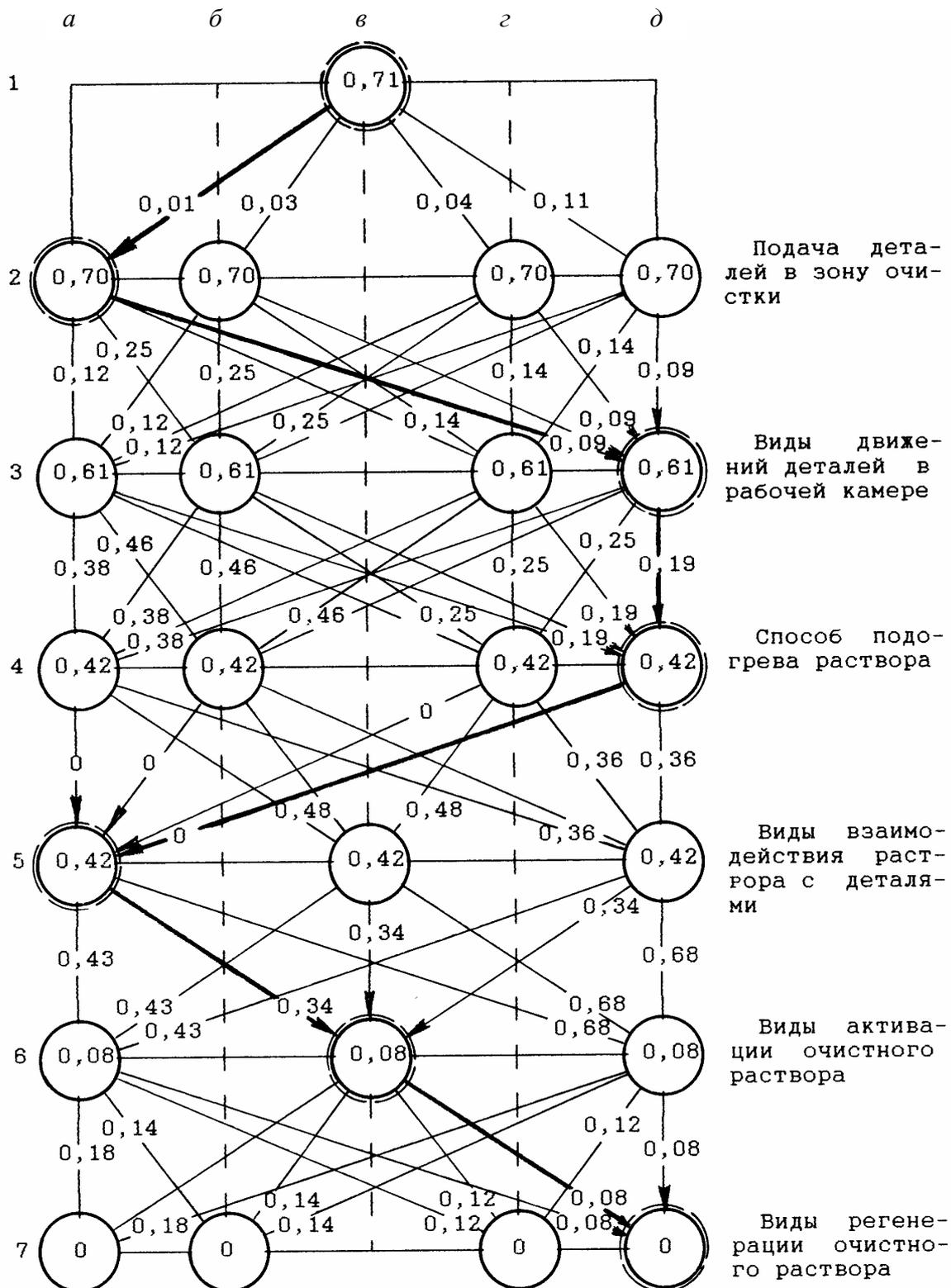


Рис. 5.6. Граф составляющих устройств технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах ТМС

5.2.6. Проектирование типоразмерных рядов исполнительных агрегатов

Параметрический синтез исполнительных агрегатов СТО как стадия проектирования учитывает тот факт, что технологические переходы одного типа описываются различными значениями основного параметра (массой перемещаемого ремонтируемого объекта, моментом вращения и др.). Агрегаты, входящие в типоразмерные ряды, служат для выполнения одного перехода, поэтому для них возможно выделение одного главного параметра, с которым связаны существенные характеристики этих агрегатов.

Цель параметрического синтеза построения – получить оптимальный типоразмерный ряд (ОТР) агрегатов с такими значениями главного параметра, чтобы удовлетворялась потребность в этих агрегатах с наименьшими затратами. Задачу решают путем составления различных рядов значений главного параметра агрегатов без пропусков и повторений и выбора из этого множества тех значений параметра, которые обеспечивают минимальные затраты на создание и функционирование агрегатов ряда.

На стадии параметрического синтеза агрегатов сохраняют конструктивную схему базового устройства, тем самым ограничивают множество его исполнений и обеспечивают преемственность.

Исходными данными для решения данной задачи являются результаты решения предыдущей задачи синтеза оптимальной структуры агрегата, а также гистограмма спроса на агрегаты с различными значениями главного параметра, сведения о затратах на создание и эксплуатацию агрегатов при различных значениях главного параметра и производительность агрегатов.

ОТР агрегатов находят следующим образом.

Строят интегральную функцию спроса в координатах “главный параметр – потребность” (рис. 5.7). Функция представляет собой сумму технологических переходов в год n_i , выполняемых агрегатами со значениями главного параметра, не превосходящими значение M_i ($i = 1 \dots l$, l – число дискретных значений главного параметра). Кумулята начинается в вершине O и заканчивается в вершине L . Процентное отличие любых двух значений главного параметра друг от друга, отложенных на оси абсцисс, должно быть соразмерено с точностью экономических расчетов, сопутствующих проектированию механизмов. Это отличие должно в 2...3 раза превосходить относительную величину экономического допуска расчетов эффективности проектируемых механизмов. Так, например, использование метода удельных показателей дает ошибку прогноза затрат на создание механизмов до 50 %, балльный метод – до 20 %, метод корреляционного анализа – до 10 %, а методы, основанные на изучении парка деталей СТО, – до 5 %.

Агрегат со значением главного параметра M_i может выполнять все функции агрегатов с предыдущими значениями главного параметра.

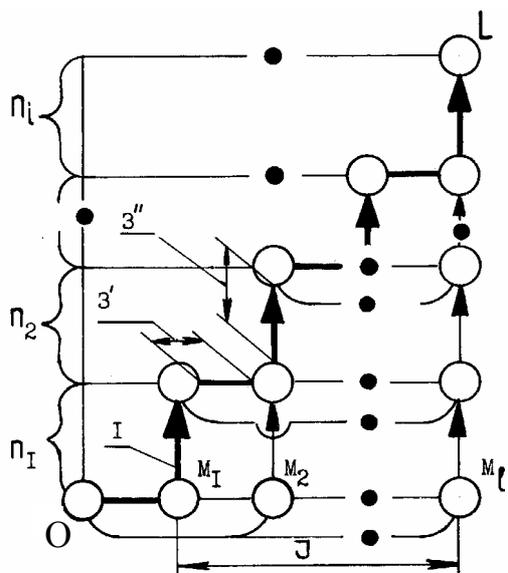


Рис. 5.7. Схема интегральных гистограмм спроса (I) и предложения на ряды агрегатов с различными значениями главного параметра: n_1, n_2, \dots, n_i – потребность в агрегатах, выраженная годовым количеством технологических переходов, выполняемых этими агрегатами; M_1, M_2, \dots, M_l – значения главного параметра; J – отрезок значений главного параметра; Z' – затраты на ввод в эксплуатацию агрегатов; Z'' – затраты на эксплуатацию агрегатов (технологическая себестоимость); O и L – начальная и конечная вершины кумуляты

В выбранных координатах строят множество различных рядов агрегатов, удовлетворяющих функции спроса. Этому условию соответствуют кумуляты, начинающиеся в точке O , оканчивающиеся в точке L и расположенные внутри контура, ограниченного кумулятой спроса, горизонталью и вертикалью, проходящими, соответственно, через точки O и L . Вершины перегибов графа определяют значения главного параметра, входящие в ряд. Максимальное число таких рядов, образованных из агрегатов с числом значений главного параметра l , равно 2^l . Горизонтальные ребра графа соответствуют затратам Z' на ввод агрегатов в эксплуатацию с фиксированными значениями главного параметра, вертикальные – затратам Z'' на эксплуатацию агрегатов.

Затраты Z' равны

$$Z' = k_1 K, \text{ руб.}, \quad (5.6)$$

где k_1 – доля капиталовложений, относящихся к году эксплуатации агрегатов; K – капиталовложения в агрегаты.

При расчете величины K учитывают фактор серийности – увеличение объема выпуска агрегатов с одним и тем же значением главного параметра приводит к уменьшению капиталовложений в отдельный агрегат.

Потребность во введенных агрегатах, выраженная количеством технологических переходов, определяют разностью между ординатой функции спроса и количеством переходов, выполняемых агрегатами с меньшими значениями главного параметра.

Затраты Z'' равны технологической себестоимости, связанной с эксплуатацией агрегатов.

Таким образом, длина пути из вершины O в вершину L определяет затраты на ввод в эксплуатацию и саму эксплуатацию ряда агрегатов, приведенные к одному году их использования.

Задача выбора ОТР сводится к поиску кратчайшего пути между вершинами O и L на координатной плоскости $(M; \sum n_i)$. Путь, соответствующий

щий минимальному значению $\Sigma Z'_i + \Sigma Z''_i$ определяют с использованием рекуррентного соотношения

$$Z_{j+1} = \min (\text{по всем узлам сети}) [Z_{(j+1)-j} + Z_j], \text{ руб.}, \quad (5.7)$$

где j – шаги решения; Z_{j+1} – затраты, соответствующие пути для $j+1$ шагов, считая от вершины L , руб.; Z_j – затраты, соответствующие пути движения для j шагов, при условии, что этот путь выбран оптимальным образом, руб.; $Z_{(j+1)-j}$ – затраты, соответствующие $(j+1)$ -му шагу, руб.

В вершины вписывают соответствующие значения Z_{j+1} и стрелками указывают направления движения из этих вершин на ближайшем шаге.

По соображениям полного использования агрегатов в типоразмерном ряду путь движения из каждой вершины графа, не принадлежащих диагонали OL , направлен вертикально в верхнюю вершину. Движение из вершины $(M_{l-1}, \Sigma n_i)$ возможно лишь по горизонтали вправо. Таким образом, неизвестными являются направления движения из остальных вершин диагонали OL , которых на одну меньше, чем значений главного параметра, используемых для построения дискретной кумуляты спроса.

После определения направления движения из первой вершины O становится известным кратчайший путь движения по сети вершин, который обеспечивает минимум приведенных затрат на ввод в действие и функционирование агрегатов ряда. Вершины перегибов найденного пути дают значения главного параметра агрегатов, составляющих ОТР. Полученные значения параметра должны быть согласованы с системой предпочтительных чисел.

Необходимость широкого рассмотрения всевозможных вариантов технических решений требует применения вычислительной техники. С целью сокращения трудоемкости расчетов при решении задач структурного и параметрического синтеза агрегатов и их рядов используют программы для персональных ЭВМ, которые находят кратчайшее расстояние между двумя заданными вершинами сети. Такими вершинами являются вершина O и одна из вершин нижнего яруса (рис. 5.4), вершины O и L (рис. 5.7).

Пример определения ОТР исполнительных агрегатов для разборки прессовых соединений ремонтируемых двигателей.

Исполнительный агрегат для разборки прессовых соединений представляет собой устройство для создания разборочного усилия с установочным элементом для разбираемой сборочной единицы.

Морфологическая матрица существенных признаков исполнительных агрегатов учитывает вид используемой энергии. Рассматривают приводы: пневматические, гидравлические и механические. Последний тип приводов получил ограниченное распространение в маломощных установках, его эксплуатация сопряжена с большими затратами. Типоразмерный ряд исполнительных прессовых агрегатов целесообразно строить на базе одинарных пневматических или гидравлических цилиндров: одни участки ряда могут быть основаны на пневматических, другие – на гидравлических приводах.

Количество разбираемых соединений на одном ремонтируемом двигателе с рабочим объемом 4,8 л и усилия, необходимые для разборки соединений, приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Количество разбираемых прессовых соединений на одном ремонтируемом двигателе и соответствующие усилия

Усилие, кН	1,70	1,71	2,35	7,40	10,0	12,8	16,6	20,3	34,8	39,8
Количество, ед.	8	5	8	1	5	1	1	1	1	16

Функция спроса в исполнительных прессоразборочных агрегатах для участка с объемом разборки 25 тыс. двигателей в год, а также затраты на изготовление и эксплуатацию этих механизмов приведены в табл. 5.5. В таблице объединены статистически неразличимые значения усилий для разборки соединений.

Таблица 5.5

Годовая потребность в количестве разборок n_i прессовых соединений с усилием P_i и характеристика исполнительных агрегатов

P_i , кН	n_i , 10^3	Годовая производительность исполнительного агрегата, переходов в год		Стоимость исполнительного агрегата, приведенная к одному году эксплуатации, БВ		Эксплуатационные расходы на выполнение агрегатом 1 тыс. переходов, БВ	
		пневматического	гидравлического	пневматического	гидравлического	пневматического	гидравлического
1,71	325	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	11	8	1,14	1,42
2,35	200	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	12	9	1,27	1,49
7,40	25	$1 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$	21	10	1,51	1,69
12,80	150	$8 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	32	11	1,63	1,75
16,60	25	$5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	36	12	1,88	1,85
20,30	25	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	49	25	2,00	1,91
39,80	425	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	52	34	2,22	2,12

В составленной схеме поиска ОТР исполнительных агрегатов (рис. 5.8) в каждое пересечение координат плоскости (D_i , Σn_i) помещены по две вершины, левая из которых определяет пневматический механизм, а правая – гидравлический. Движение по горизонтальным ребрам графа между четырьмя любыми его вершинами возможно четырьмя различными путями, т.е. независимо от того, какие агрегаты были введены ранее, в дальнейшем могут быть введены агрегаты любого из двух видов. Вертикальные ребра соединяют вершины, определяющие агрегаты одного вида; это необходимо для полного использования агрегатов этого вида, если они уже введены в эксплуатацию.

Из семи значений главного параметра и двух видов исполнительных механизмов могут быть образованы $4^7 = 16384$ различных типоразмерных ряда. Интервал параметрического ряда ограничен значениями 1,71 и 39,80 кН. Ряд пневматических цилиндров, удовлетворяющих функции спроса, включает механизмы с диаметром цилиндров от 100 до 630 мм, которые питаются сжатым воздухом под давлением 0,39 МПа. Функция спроса будет также удовлетворена использованием гидравлических цилиндров диаметром от 32 до 125 мм, которые питаются маслом под давлением 7,85 МПа.

При расчете капитальных вложений учитывают затраты на изготовление цилиндров, приобретение регулирующей и распределительной аппаратуры, фильтров и отстойников (для пневмоприводов), насосов и двигателей (для гидроприводов). Затраты на подачу сжатого воздуха учитывают в расчете технологической себестоимости эксплуатации пневмоприводов.

ОТР исполнительных агрегатов составлен из всех дискретных значений главного параметра, при этом функция спроса на отрезке 1,71...2,35 кН удовлетворяется пневматическими механизмами, а на оставшемся отрезке 7,40...39,80 кН – гидравлическими. Количество агрегатов, установленных в разборочные машины, следующее: агрегатов с усилием 1,71 и 2,35 кН – по одному, остальных – по два. Полученное сочетания

ние параметров в ОТР объясняется соотношением эксплуатационных затрат на действие пневматических и гидравлических приводов. При малых значениях главного параметра, например 2,35 кН, эксплуатационные затраты на гидравлические устройства в 1,7 раза больше, чем на пневматические, при значениях главного параметра 12,8 кН эти затраты примерно равны, а при последующем увеличении усилия выпрессовывания затраты на эксплуатацию пневматических приводов становятся большими.

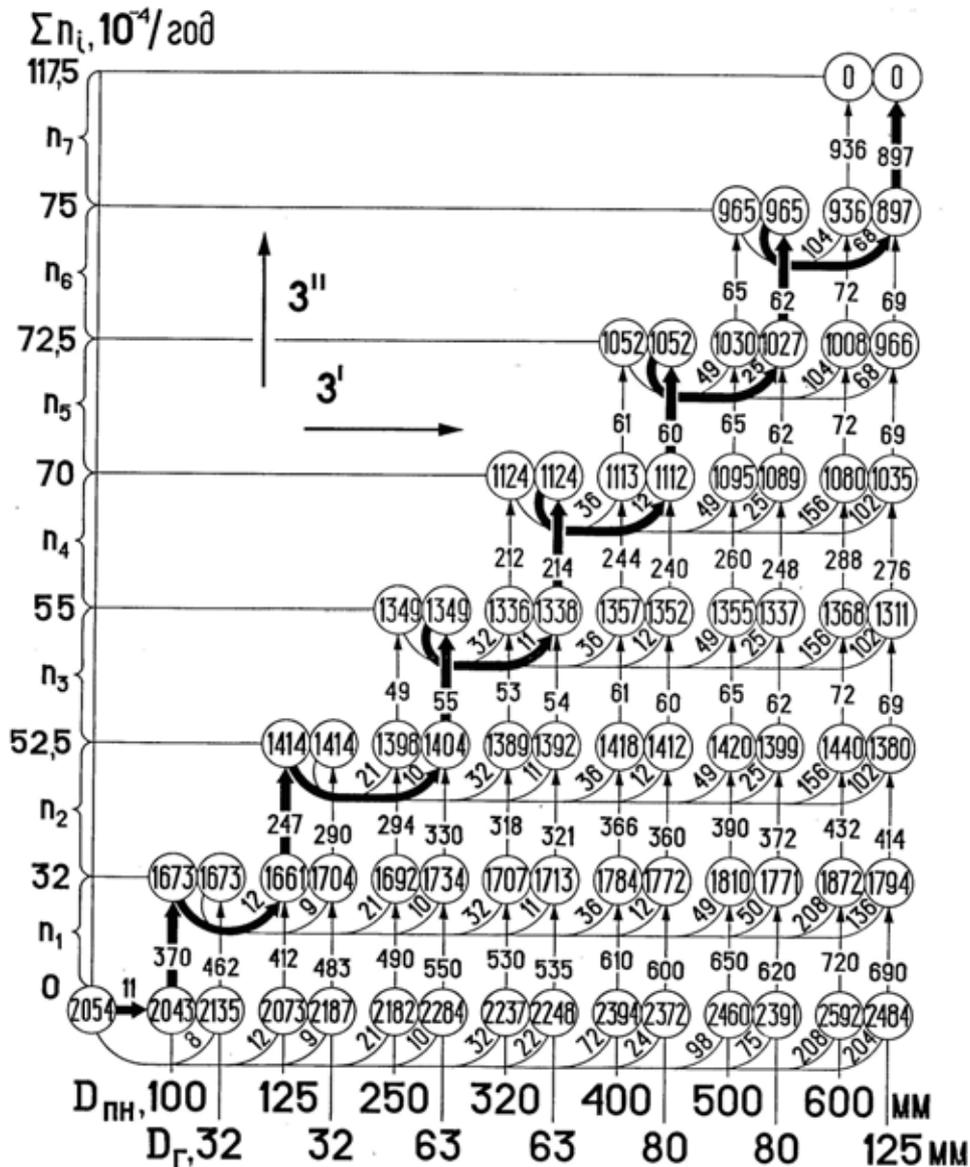


Рис. 5.8. Схема поиска оптимального типоразмерного ряда исполнительных механизмов для разборки прессовых соединений: $D_{пн}$ и $D_г$ – диаметры пневмо- и гидроцилиндров, соответственно

Вопросы для самоконтроля

1. Изложите основы проектирование и расчета точности приспособлений.
2. Приведите последовательность проектирования стендов (технологических машин).
3. Как организовано проектирование СТО на заводе?
4. В чем заключается проектирование базовых исполнительных агрегатов (модулей) СТО?
5. Изложите основы проектирования типоразмерных рядов исполнительных агрегатов СТО.
6. В чем заключаются преимущества создания системы исполнительных агрегатов технологических машин перед созданием множества единичных технологических машин?

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Структура, функции и задачи ОГТ ремонтного завода и совершенствование его деятельности.
2. Технологическая документация ремонтного завода: сокращение ее объема и повышение качества.
3. Обзор методов поиска новых технических решений.
4. Эволюция алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗ) Г.С. Альтшуллера, использование и значение его для поиска новых технических решений.
5. Унификация и стандартизация СТО и их частей в ремонтном производстве и влияние этих мероприятий на технический уровень и эффективность СТО.
6. Основы проектирования системы СТО ремонтного завода.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- единые системы конструкторской и технологической документации;
- основные критерии оценки технических решений;
- процедуру представления в виде графов технологических процессов и СТО;
- оптимизацию технических решений – определение наилучшего варианта технологического процесса или СТО с использованием элементов динамического программирования;
- содержание, необходимость и области применения различных видов технологической унификации;
- содержание и метод проектирования системы СТО ремонтного завода.

Студент должен уметь:

- оформлять различные маршрутно-операционные технологические процессы ремонтного производства;
- составлять графы различных технологических процессов и СТО;
- оптимизировать графы с использованием элементов динамического программирования;
- проектировать приспособления и стенды для восстановления деталей и ремонта агрегатов.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Знания студентов оценивает преподаватель на основании собеседования с ними и ответов на вопросы, поставленные в конце изучаемых тем.

Для высокой оценки знаний необходимо знать:

- порядок разработки, оптимизацию, описание по ЕСТД и унификацию технологических процессов.
- методы проектирования системы СТО и их преимущества перед проектированием единичных технологических объектов.

6. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА

6.1. Основы организации ремонтного производства

6.1.1. Основные положения

Организация производства – это система мероприятий, обеспечивающих ритмичный выпуск продукции нормативного качества с необходимой производительностью, надлежащими условиями безопасного труда, без загрязнения окружающей среды и с минимальным расходом производственных ресурсов.

При организации производства различают: критерий, с использованием которого оценивают систему мероприятий; ограничения, которые должны быть выполнены неукоснительно; параметры оптимизации, значения которых стремятся уменьшать.

Критерий организации производства – это его *ритмичность*, которая определяется способностью этого производства выпускать продукцию через равные отрезки времени. Ритмичность производства обусловлена его четким планированием, работой оборудования без остановок, своевременным обеспечением рабочих мест производственными ресурсами, образцовой технологической и трудовой дисциплиной.

Ограничения – это установленные уровень качества продукции и объемы ее выпуска, требования охраны труда, режим работы предприятия и его экологическая безопасность.

Параметры оптимизации при организации производства – это расходы производственных ресурсов.

Если технологические процессы излагают в виде описания способов, то организационные мероприятия – в виде описания инструкций и методов. Технологическая документация регламентирует действия рабочих и СТО над ремонтируемыми объектами, а организационная документация – деятельность руководителей и исполнителей и их взаимодействие. Организационные мероприятия выполняются в рамках действующих технологических процессов.

Различают объекты и средства организации производства (табл. 6.1). Производство и труд организуют руководители предприятия, цехов, участков, смен, бригад, работники ПДО и ООТиЗ.

Производство вначале организуют в пространстве, а затем – во времени.

Организация производства в *пространстве* основана на решении о месте его размещения на территории экономического района и его частей – на территории предприятия. Последнее зависит от вида ремонтируемых объектов, объемов их выпуска и характеризуется размещением цехов внутри предприятия, участков – внутри цехов и рабочих мест, инженерных сетей, оборудования, транспортных средств и оргтехоснастки – внутри участков. Работы по организации производства в пространстве выполняют единовремен-

менно при его организационной и технологической подготовке. При этом стремятся сократить производственную площадь и транспортную работу по перемещению ремонтируемых объектов и их частей за счет оптимального расположения рабочих мест, СТО, транспортных и инженерных сетей.

Таблица 6.1

Объекты и средства организации ремонтного производства

Объекты организации	Средства организации
Рабочие	Начало и конец работы
	Последовательное или параллельное выполнение работ
	Поддержание плановой интенсивности труда в течение смены
	Соотношение труда и отдыха
	Исполнение обязанностей и предписаний
	Организация труда на рабочих местах
Средства технологического оснащения и оргтехоснастка	Наличие табельного комплекта СТО
	Рациональное расположение СТО и оргтехоснастки на рабочем месте
	Содержание СТО в исправном состоянии
Производственная среда на рабочем месте	Скорость, температура и влажность воздуха
	Содержание в воздухе вредных веществ
	Интенсивность излучений (электромагнитных, оптических и тепловых), шума и вибраций
	Производственная эстетика
Ремонтируемые (восстанавливаемые) объекты	Обеспечение рабочих мест, создание запаса
	Сохранность
	Учет, использование и переработка отходов
Производственные ресурсы	Нормирование и учет
	Контроль за расходом
	Своевременная подача на рабочие места
	Учет и переработка отходов
Организационная структура предприятия	Определение состава предприятия и отношений между его частями
	Система управления
	Кадровый состав: количество, распределение по специальностям, квалификация. Подготовка и переподготовка
	Анализ, совершенствование и оптимизация структуры
Организационная документация	Своевременная разработка
	Наличие на рабочих местах
	Непрерывное совершенствование

Организация производства во *времени* выполняется непрерывно в течение всего времени существования производства. Она включает определение количества производственных ресурсов на ремонт единицы продукции, распределение и своевременное обеспечение ими рабочих мест, содержание СТО в исправном состоянии, управление перемещением объектов, обеспечение условий труда, взаимодействие работников, действие системы качества.

Основные принципы организации производства во времени: дифференциация или концентрация операций, непрерывность, гибкость, поточность и равенство производственных мощностей предприятия и его частей.

Дифференциация операций предполагает разделение их на составные операции или переходы. Чем на большее число частей разделена операция, тем меньше требования к квалификации рабочих, зато выше производительность труда и более высокие требования к организации производства. Рабочие места становятся *специализированными*. Эта форма организации применяется в крупных ремонтных мастерских и на предприятиях средней и большой мощности.

Концентрация операций – принципы, обратные их дифференциации. Технологические операции такого вида становятся многопереходными и многоинструментальными и реализуются, например, на оборудовании с ЧПУ. Квалификация рабочих при этом высокая, зато организация работ простая. Рабочие места становятся *универсальными*. Эта форма организации применяется на предприятиях различных типов.

Непрерывность производства обеспечивают за счет исключения или сокращения перерывов в его процессах.

Гибкость производства – это его способность за короткое время и при минимальных затратах на одном и том же оборудовании, не прерывая производственного процесса, переходить на ремонт машин нового вида. Создание гибкого производства актуально для ремонтного производства в настоящее время по причине выпуска продукции различных видов малыми объемами.

6.1.2. Организация поточного производства

Любое производство стремится к высшей форме своей организации – *поточной*. Производство многие годы развивалось за счет глубокой дифференциации технологических процессов. В ремонтном производстве применяют поточную организацию труда на участках разборки, очистки и сборки агрегатов и машин, восстановления деталей, окрашивания и сушки изделий и в других случаях. Поточную организацию труда внедряют на участках или линиях.

При организации поточного производства определяют трудоемкость работ на рабочих местах и распределяют по ним рабочих. Ремонтируемые изделия перемещают с позиции на позицию конвейером, транспортером или вручную с остановками или без них. На окрасочно-сушильных участках это перемещение, как правило, непрерывное, а в остальных случаях – прерывное.

Отрезок времени, спустя который выходит продукция с поточного производства, называют *тактом*. Исходя из необходимой производительности предприятия, такт τ равен

$$\tau = \frac{60\Phi_{до}}{N}, \text{ мин,} \quad (6.1)$$

где $\Phi_{до}$ – действительный годовой фонд времени поточной линии, ч/год.

Явочная численность рабочих $n_{яв}$, занятых в поточном производстве

$$n_{яв} = \frac{60T_u}{\tau - t_n}, \quad (6.2)$$

где T_u – трудоемкость работ, выполняемых в поточном производстве, отнесенная к одному изделию, чел.-ч; t_n – время транспортного перемещения ремонтируемого объекта между позициями, мин.

Время t_n определяют по формуле

$$t_n = \frac{(l + a)}{v_{mp}}, \text{ мин}, \quad (6.3)$$

где l – длина ремонтируемого объекта в направлении транспортного перемещения, м; a – расстояние между изделиями на конвейере, м; v_{mp} – скорость транспортного перемещения конвейера, м/мин.

Скорость транспортного движения агрегатов принимают 15...20 м/мин, а машин – 7...10 м/мин.

Число позиций n_n поточного производства равно

$$n_n = k_p \frac{60T_u}{n_{cp}(\tau - t_n)} = k_p \frac{n_{яв}}{n_{cp}}, \quad (6.4)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий количество резервных позиций ($k_p = 1,05...1,15$); n_{cp} – средняя численность рабочих на одной позиции.

При расчете численности рабочих и числа позиций в поточном производстве с непрерывным перемещением изделий из формул (6.2) и (6.4) исключают время t_n .

Область эффективного применения разборочных и сборочных поточных линий с прерывным перемещением ремонтируемых объектов обусловлена тактом производства менее 10 мин.

Скорость технологического перемещения конвейера v_{mx} в производстве с непрерывным перемещением объектов равна

$$v_{mx} = \frac{l + a}{\tau}, \text{ м/мин}. \quad (6.5)$$

На участках массового и крупносерийного производства с поточной организацией труда отпадает необходимость в промежуточных складах, сокращается длительность производственного цикла, исключаются затраты на перегрузочные работы.

Поточное производство требует синхронной работы всех рабочих мест, бесперебойного обеспечения их производственными ресурсами и услугами со стороны вспомогательных и обслуживающих подразделений. Непременным условием хорошо организованной работы на поточной линии является равенство тактов позиций между собой, которое достигается перераспределением работ или рабочих между позициями.

Поточная организации производства обеспечивает наивысшую производительность труда, не требует высококвалифицированных рабочих и, следовательно, снижает себестоимость ремонта.

6.1.3. Производственная мощность предприятия и его частей

Производительность предприятия определяется его производственной мощностью.

Производственная мощность основного производства определяется максимально возможным выпуском отремонтированной продукции нормативного качества и необходимой номенклатуры при полном использовании технологического оборудования и производственной площади.

Производственную мощность рассчитывают с учетом прогрессивных норм времени, использования передовых технологических процессов и современной организации производства после ликвидации его “узких мест”. “Узкое место” производства – это рабочее место или участок, производственная мощность которого ниже этого показателя для производства в целом. Такие рабочие места или участки сдерживают использование производственной мощности всего предприятия.

Расчеты производственной мощности предприятия необходимы для объективного планирования его загрузки, определения уровня использования производственных площадей и основного оборудования, выявления резервов производства и его “узких мест” с разработкой организационно-технических мероприятий по их ликвидации.

Производственная мощность ремонтного предприятия выражается в физических, приведенных, условных и стоимостных показателях. Первый показатель используют для участков и предприятий, выпускающих однотипную продукцию, а остальные – для участков и предприятий, выпускающих разнообразную продукцию.

Физические показатели N_{ϕ} выражаются конкретными ремонтируемыми изделиями (например, двигателями Д-245, станками ЗВ423).

Приведенные показатели выражаются типовыми изделиями-представителями. За единицу приведенного ремонта принимают объем ремонта машины-представителя (например, автомобиля ГАЗ-3307 или двигателя ЗМЗ-53). Преобразование количества физических ремонтов в количество приведенных ремонтов N_{np} выполняют по формуле

$$N_{np} = k_n \cdot N_{\phi}, \quad (6.6)$$

где k_n – коэффициент приведения.

Коэффициент приведения – это отношение трудоемкости ремонта рассматриваемой машины к трудоемкости ремонта машины-представителя.

Приведенную производственную мощность многопредметного производства по ремонту полнокомплектных машин и агрегатов определяют по формуле

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_{кр_i} \cdot k_{np_i} + \sum_{j=1}^m N_{кра_j} \cdot k_{пра_j}, \quad (6.7)$$

где n и m – число марок полнокомплектных машин и видов агрегатов, соответственно; $N_{кpi}$ – количество капитальных ремонтов машин i -той марки; $N_{кpa j}$ – количество капитальных ремонтов агрегатов j -того вида; $k_{np i}$ и $k_{npa j}$ – коэффициенты приведения, соответственно, для полнокомплектных машин и отдельных агрегатов.

За единицу *условного* ремонта принят объем ремонтных работ в 300 чел.-ч для условий мастерской общего назначения с производственной мощностью, равной 300 условных ремонтов в год.

Пересчет физических ремонтов в условные ремонты N_{yp} производится умножением количества физических ремонтов на коэффициент приведения k_y

$$N_{yp} = k_y \cdot N_{\phi}. \quad (6.8)$$

Коэффициент приведения k_y определяется путем деления трудоемкости физического ремонта T_{ϕ} , сложившейся на рассматриваемом предприятии, на 300 чел.-ч и на поправочный коэффициент k_k , величина которого зависит от объемов выпуска этого ремонтного предприятия, таким образом

$$k_y = T_{\phi} / 300 k_k. \quad (6.9)$$

Для участков централизованного восстановления деталей при отсутствии расчетов по трудоемкости устанавливают значение отпускной цены деталей, соответствующей одному условному ремонту.

Производственная мощность производства по восстановлению деталей может определяться также количеством деталей и *отпускными ценами*. Предприятия по изготовлению технологического оборудования отчитываются количеством этого оборудования или его отпускной ценой.

Отношение фактического объема выпуска продукции за год N_{ϕ} к производственной мощности предприятия является *коэффициентом использования мощности*.

Производственную мощность участков ремонтного предприятия рассчитывают по их производственной площади и производительности основного оборудования. Исходные данные для ее расчета следующие:

- номенклатура, количество, цена и трудоемкость продукции, задаваемые программой ремонтного предприятия;
- коэффициенты пересчета физических ремонтов в приведенные и условные;
- ведомость оборудования и его производительность;
- значения производственных площадей основного и вспомогательного производств;
- нормы удельных площадей, приходящихся на единицу производственной мощности.

Производственная мощность основных цехов (участков) определяет производственную мощность предприятия в целом. В расчет идут те участки, в которых выполняют основные технологические процессы ремонта и сосредоточена преобладающая часть технологического оборудования. Например, при расчете производственной мощности предприятия по ремонту двигателей учитывают следующее оборудование таких участков: моечные машины разборочно-очистного участка; конвейер для сборки двигателей сборочного участка; станки кругло-шлифовальные для обработки шеек коленчатого вала, алмазно-расточные и хонинговальные – для обработки цилиндров, горизонтально-расточные – для обработки коренных опор блока цилиндров и балансировочные – для динамической балансировки деталей участка ремонта агрегатов; обкаточно-тормозные стенды участка обкатки и испытания двигателей; комплект окрасочно-сушильного оборудования участка окрашивания.

Производственная мощность участка по основному оборудованию – это произведение количества однотипного оборудования на его сменную производительность, число смен и число рабочих дней в расчетном году.

Производственную мощность участка по площади определяют как частное от деления его производственной площади на соответствующий показатель удельной площади. В качестве примера в табл. 6.2 приведены удельные площади участков и отделений предприятия по ремонту карбюраторных двигателей мощностью 115 л.с.

Если производственная мощность рабочего места или участка будет выше производственной мощности предприятия, то излишек этой мощности не будет востребован, а капитальные и текущие затраты будут больше необходимых. Мероприятия по уравниванию производственной мощности отдельных рабочих мест между собой включают передачу части работ с одного рабочего места на другое, параллельное выполнение работ, перестановку рабочих или дополнительное оснащение рабочих мест средствами ремонта. Трудоемкость работ, выполняемых на рабочих местах, должна быть пропорциональна численности рабочих на них

$$\frac{60t_1}{m_1} = \frac{60t_2}{m_2} = \dots = \frac{60t_i}{m_i} = \dots = \frac{60t_k}{m_k} = \tau, \text{ мин}, \quad (6.10)$$

где t_i и m_i – трудоемкость работ (чел.-ч) и численность рабочих на i -том рабочем месте; $i = 1 \dots k$ – рабочие места; τ – такт производства, мин.

Обеспечение условия (6.11) приводит к повышению производственной мощности предприятия в целом, улучшению использования производственных фондов и снижению себестоимости продукции.

Для разработки мер по наращиванию производственной мощности предприятия берут ее значение на начало планируемого года и устанавливают ее значение на конец этого года. Разницу между этими значениями мощности, т.е. ее прирост за год, обеспечивают за счет реализации намеченных организационно-технических мероприятий.

Таблица 6.2

Удельные площади участков и отделений предприятия по ремонту карбюраторных двигателей мощностью 115 л.с. при двухсменной работе

Наименования участков и отделений	Удельная площадь (м ² /физический ремонт) в зависимости от производственной мощности (год ⁻¹)				
	6000	7000	8000	9000	10000
Разборочно-очистной, в том числе:	0,081	0,116	0,111	0,109	0,106
– разборочно-очистное отделение	0,066	0,063	0,060	0,059	0,056
– определения технического состояния деталей	0,055	0,053	0,051	0,050	0,048
Цех комплексного восстановления деталей, в том числе:	0,124	0,116	0,110	0,104	0,098
– слесарно-механический участок	0,068	0,064	0,061	0,059	0,056
– тепловой участок *)	0,032	0,029	0,028	0,026	0,025
– гальванический участок	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011
– участок переработки пластмасс	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006
Участок ремонта агрегатов	0,074	0,067	0,061	0,057	0,055
Комплектовочно-сборочный участок	0,030	0,026	0,023	0,022	0,022
Участок окрашивания	0,036	0,034	0,032	0,031	0,029
Обкаточно-испытательный участок	0,040	0,038	0,035	0,033	0,032
*) на тепловом участке выполняются кузнечные, термические, сварочные и медницкие работы					

6.1.4. Санитарные требования к организации труда

Организация труда обеспечивает его условия, которые регламентированы санитарными нормами.

На одного работающего должно приходиться не менее 15 м³ объема помещения и 4,5 м² производственной площади. Высота помещений должна быть не менее 3,2 м.

Метеорологические условия в закрытых помещениях характеризуются температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также интенсивностью теплового излучения. Допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочих зонах производственных помещений приведены в табл. 6.3, а их оптимальные значения – в табл. 6.4.

Таблица 6.3

Допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах

Период года	Категория тяжести работ	Температура воздуха на рабочих местах, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
		Постоянных	Непостоянных		
Холодный	Легкая, Ia	21...25	18...26	75	0,1
	Легкая, Ib	20...24	17...25		0,2
	Средней тяжести, Pa	17...23	15...24		0,3
	Средней тяжести, Pb	15...21	13...23		0,4
	Тяжелая, П	13...19	12...20		0,5
Теплый	Легкая, Ia	22...28	20...30	45...55	0,1...0,2
	Легкая, Ib	21...28	19...30	60	0,1...0,3
	Средней тяжести, Ia	18...27	17...29	65	0,3...0,4
	Средней тяжести, Pb	16...27	15...29	70	0,2...0,5
	Тяжелая, П	15...26	13...28	75	0,2...0,6

Таблица 6.4

Оптимальные значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочем месте

Период года	Категория тяжести работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Легкая, Ia	22...24	40...60	0,1
	Легкая, Ib	21...23		0,1
	Средней тяжести, Pa	18...20		0,2
	Средней тяжести, Pb	17...19		0,2
	Тяжелая, П	16...18		0,3
Теплый	Легкая, Ia	23...25	40...60	0,1
	Легкая, Ib	22...24		0,2
	Средней тяжести, Pa	21...23		0,3
	Средней тяжести, Pb	20...22		0,3
	Тяжелая, П	18...20		0,4

В кабинетах, на постах управления технологическими процессами температура воздуха должна быть 20...24 °С, его относительная влажность – 40...60 %, а скорость до 0,1 м/с. Нормируемая температура воздуха в помещениях предприятия в холодное время года приведена в табл. 6.5. Раз-

ница температур воздуха в отапливаемом переходе и в смежных помещениях должна быть не более 6 °С.

Освещенность рабочего места должна составлять 200...300 лк, предельно допустимый уровень – 150 лк.

Интенсивность интегрального потока теплового облучения в отрезке длины волн 0,76...10,0 мкм от нагретых поверхностей технологического оборудования и осветительных приборов при суммарном времени воздействия на людей, превышающем половину продолжительности рабочей смены, не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м² – при облучении 25...50 % поверхности тела и 100 Вт/м² – при облучении не более 25 % поверхности тела.

Таблица 6.5

Температура воздуха в помещениях предприятия в холодный период

Помещения	Температура, °С
Вестибюль	16
Гардероб уличной одежды	16
Гардероб для совместного хранения всех видов одежды с неполным переодеванием работающих	18
Гардероб при душевых, а также с полным переодеванием работающих	23
Душевые	25
Туалеты, умывальники при туалетах	16
Курительные	16
Помещения для отдыха, обогрева или охлаждения	22
Помещение для личной гигиены женщин	23
Помещение для ремонта спецодежды	16
Помещение для сушки спецодежды	16...33
Помещение для обеспыливания спецодежды	16
Помещения конструкторских бюро, общественных организаций	18

Интенсивность теплового облучения работников от нагретого металла, стекла, открытого пламени и других источников не должна превышать 140 Вт/м² при облучении не более 25 % поверхности тела. При этом используют средства индивидуальной защиты, в том числе средства защиты лица и глаз.

Интенсивность инфракрасного излучения на рабочем месте не должна быть более 200 Вт/м².

Напряженность электростатического поля E в рабочей зоне не должна превышать 60 В/м при нахождении рабочего в этой зоне до 1 ч. При более длительной работе значение E определяют по формуле

$$E = \frac{60}{\sqrt{T}}, \text{ В/м}, \quad (6.11)$$

где T – время пребывания рабочего в электростатическом поле, ч.

Допустимый уровень шума на рабочих местах зависит от видов деятельности и изменяется от 50 до 80 дБ. Вибрация (амплитуда) частей оборудования – не более 0,2 мм.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны ограничена. Например, содержание некоторых веществ в воздухе не должно превышать (мг/м³): композиции полимерной ЭППП-1 – 5, аэрозолей щелочи – 0,5, аэрозолей окрасочных – 200, оксида углерода – 20, оксида железа с примесью оксида марганца – 0,3, пыли – 10.

Участки с одинаковыми производственными вредностями группируют в блоки, которые отделяют стенами или перегородками от других участков.

6.1.5. Нормирование и учет производственных ресурсов

Производственные ресурсы (в экономике оборотные средства) – это материалы, полуфабрикаты, запасные части, исходные заготовки ремонта, энергоносители и рабочее время, необходимые для текущего обеспечения производства.

Таким образом, производственные ресурсы включают материальную, энергетическую и трудовую составляющие.

На ремонт, например, одного автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л расходуют 60...140 кВт-час электроэнергии, 420...2000 МДж тепловой энергии, 25...70 чел.-ч трудозатрат и 8...30 тыс. руб. на запасные части и материалы.

Материальные ресурсы – это несколько сотен наименований деталей, заготовок, материалов и полуфабрикатов. В этот перечень входят запасные части, детали ремонтного фонда, металлопрокат круглого и шестигранного сечений, листовой прокат, Лабомиды и едкий натр для очистки, порошки для напыления, наплавочные проволоки и шнуры, хромовый ангидрид и серная кислота для хромирования, кислота соляная для пайки и железнения, бензин и масло для обкатки, технологические (горючие, инертные и окислительные) газы, СОЖ, пасты, смазки, пластмассы, клеи, прокладочные, лакокрасочные и антикоррозионные материалы, производственная и питьевая вода и многие другие.

Энергетические ресурсы включают электрическую энергию, энергоносители (пар, горячая вода, хладоносители), сжатый воздух – носитель потенциальной энергии давления и топливо (твердое, жидкое и газообразное).

Трудовые ресурсы – это рабочее время работников.

Нормирование производственных ресурсов, учет и анализ их потребления служат предпосылкой эффективности ремонтного производства.

Техническое нормирование – это установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов.

Норма расхода производственных ресурсов – это необходимое их количество, установленное расчетным или экспериментальным путем, для ремонта единицы продукции в определенных производственных условиях.

Нормы расхода производственных ресурсов состоят из основной и дополнительной частей. Основная часть нормы включает научно обоснованное количество ресурсов, которое должно быть затрачено на выполнение технологического процесса с учетом объективных законов сохранения материи и преобразования энергии. Дополнительная часть нормы учитывает несовершенство процесса, оборудования и организации, а также прямые потери ресурса. На предприятии создают комиссии и творческие коллективы, деятельность которых направляют на подробный анализ действующих норм, минимизацию их дополнительной части и разработку соответствующих мер технологического и организационного характера. Затраты, связанные с полезным использованием этой части ресурсов, в 3...6 раз меньше затрат на приобретение ресурсов в таком же количестве.

Расходуемые ресурсы измеряют и учитывают. Например, расход газов, холодной и горячей воды, электроэнергии и мазута измеряют с помощью счетчиков. Нормы расхода материалов доводят до каждого рабочего места, а нормы расхода энергии – до цеховых участков и энергоемкого оборудования.

Количественным показателем рационального использования материалов является коэффициент их использования, равный отношению массы изделия к массе заготовки.

В зависимости от серийности производства и опыта нормирования трудовых ресурсов применяют нормы времени, установленные методом сравнения, и технически обоснованные. На рис. 6.1 приведена структура штучно-калькуляционного времени.



Рис. 6.1. Структура штучно-калькуляционного времени

Нормы времени, установленные методом *сравнения* (опытно-статистические), назначают по аналогии с уже существующими нормами на подобные работы. Метод применяют в единичном и мелкосерийном производстве, он основан на применении статистических данных и личном опыте нормировщика. Применение метода крайне ограничено, потому что результаты, полученные с его помощью, не могут служить стимулом повышения производительности труда.

Технически обоснованные нормы времени устанавливают аналитическим методом. Он предусматривает: деление операции на элементы (переходы, приемы); возможность исключения рассматриваемых элементов; анализ факторов, влияющих на продолжительность элемента; улучшение структуры операции; расчет нормы времени по элементам операции; разработку мероприятий, обеспечивающих возможность внедрения установленной нормы. Метод является основным в крупносерийном производстве.

Технически обоснованные нормы времени устанавливают аналитически-исследовательским или аналитически-расчетным методом.

Аналитически-исследовательский метод предусматривает установление норм времени путем непосредственных наблюдений за операцией на рабочем месте или в технологических лабораториях с помощью фотографии рабочего времени и хронометража. При этом тщательно анализируют организацию рабочего места и проверяют технологические режимы. Область применения метода – нормирование ручных или машинно-ручных работ (слесарных, разборочных и др.). Метод довольно трудоемок.

Фотография рабочего времени заключается в непосредственном его учете на рабочем месте в течение нескольких рабочих смен, одной смены или некоторой ее части. Фотография рабочего времени служит для накопления материала с целью назначения нормативов на подготовительно-заключительное время, время обслуживания рабочего времени, регламентированных перерывов, отдыха и личных потребностей, выявления потерь рабочего времени и их причин для целей предупреждения.

Хронометраж применяют для измерения затрат рабочего времени на выполнение операций или ее элементов. Хронометраж необходим для подготовки материалов для разработки новых и изменения действующих норм времени. С помощью хронометража накапливают материал для разработки нормативов машинно-ручного времени и вспомогательного времени в условиях массового и крупносерийного производства, изучают комплексные приемы для выявления их лучших сочетаний и распространения передового опыта.

Аналитически-расчетный метод предусматривает расчет нормы времени на основе использования заранее разработанных нормативов времени. Его широко применяют при нормировании станочных работ с учетом справочных или заранее составленных в технологических лабораториях

нормативных данных по режимам обработки и хронометражным исследованиям типового основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени.

В нормах расхода ресурсов должны быть использованы их прогрессивные значения, которые выше уровня средних показателей, фактически достигнутых предприятием, но ниже максимальных, достигнутых передовыми рабочими. Такие нормы стимулируют коллектив на полное использование резервов производства и способствуют лучшей его организации.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой смысл вкладывают в понятие организации производства? 2. Какие факторы влияют на ритмичность производства? 3. Какие задачи решают при организации производства в пространстве и во времени? 4. Какие причины обуславливают организацию операций по принципам дифференциации или концентрации? 5. Какие преимущества поточного производства и какие трудности встречаются при его внедрении? 6. Для каких целей рассчитывают производственную мощность? 7. Какова структура производственных ресурсов? 8. С какой целью нормируют расход производственных ресурсов?

Практическое занятие № 8

ПОТОЧНАЯ СБОРКА АГРЕГАТОВ

Цель занятия – приобретение навыков по организации поточной сборки ремонтируемых агрегатов в условиях ремонтного завода и синхронизации поточной линии.

Индивидуальное задание включает наименование ремонтируемых агрегатов и объемы ремонта, содержание общей и узловой сборки с описанием сборочных переходов и их трудоемкости.

Порядок выполнения работы:

- привести технологическую схему сборки с указанием трудоемкости ее элементов;
- определить такт поточной линии и составить ее схему с указанием длины ремонтируемых агрегатов в направлении перемещения и интервала между позициями;
- определить время транспортного перемещения агрегата между позициями сборки;
- рассчитать количество сборочных позиций и длину конвейера;
- определить число рабочих на конвейере;
- предварительно распределить сборочные работы по позициям и рассчитать частные такты позиций;
- синхронизировать поточную линию путем перераспределения рабочих или сборочных переходов между позициями.

Содержание отчета: название и цель работы; содержание сборочного процесса; технологические расчеты; результаты синхронизации поточной линии; выводы по работе.

6.2. Система качества ремонта машин

6.2.1. Определение качества и методы его оценки

Качество промышленной продукции (по ГОСТ 15467-79) – это совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Качество отремонтированных машин оценивают десятью группами показателей (свойств): назначения, надежности, безопасности, технологичности, эргономическими, эстетическими, экологическими, стандартизации и унификации, патентно-правовыми, экономическими. Наиболее критичными являются показатели назначения, надежности и экономические.

Показатели *назначения* характеризуют способность машины выполнять функции, ради которых она создавалась (переработки энергии или материалов, обработки заготовок или почвы, перевозки грузов или пассажиров и др.). В качестве показателей назначения принимают самые важные и необходимые свойства продукции. Оценка показателей назначения машины входит в программу ее функциональных испытаний при постановке на производство. Значения показателей назначения измеряют и оценивают при приемо-сдаточных и периодических испытаниях.

Показатели *надежности* определяют свойство машины сохранять и восстанавливать ее работоспособность в процессе эксплуатации. Они дополняют показатели назначения в части обеспечения их стабильности в течение нормативной наработки. Оценка показателей надежности машины входит в программу испытаний на надежность.

Послеремонтная наработка техники в 1,5...2,5 раза меньше наработки новых изделий. На устранение отказов приходится до 60 % общих затрат на поддержание ее в работоспособном состоянии. Ее наработка на сложный отказ в среднем на 30 % ниже нормативных значений. Эти показатели объясняются тем, что ремонтные заводы в количественном и качественном отношении оснащены только на 15...20 % от уровня оснащения предприятий по изготовлению машин.

Экономические показатели в виде сопоставления затрат и эффекта от применения используемых технических решений применяют на завершающей стадии оценки машины.

Количественная оценка качества отремонтированной продукции выполняется на основе квалиметрии, основные положения которой следующие.

Отремонтированные машины характеризуются отдельными свойствами, которые проявляются при их потреблении. Эти свойства могут быть сложными (делящимися на составные) и простыми (не делящимися на другие свойства). В иерархической структуре качества продукции на самом высоком уровне находится совокупное свойство, а на самом низком – простые свойства.

Отдельные свойства могут быть измерены и выражены абсолютными величинами. Каждое свойство может выражаться как относительным показа-

телем, который определяется сопоставлением измеренного значения абсолютного показателя со значением базового показателя, так и своей весомостью среди всех остальных свойств. В качестве базовых показателей принимают характеристики гипотетических или лучших образцов (аналогов) отрасли.

Качество продукции оценивают единичными, комплексными и интегральными показателями.

Единичные показатели относятся к одному из свойств продукции, комплексные – к нескольким свойствам, а интегральный – концентрирует в себе все свойства.

Комплексный показатель выражается средневзвешенным, соответственно, арифметическим Q и геометрическим V единичных показателей:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i q_i ; \quad (6.12)$$

$$V = \prod_{i=1}^n q_i^{m_i} ; \quad (6.13)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1, \quad (6.14)$$

где m_i – коэффициент весомости; q_i – единичный показатель качества; $i = \overline{1, n}$; n – число показателей.

Интегральный показатель P_u выражает соотношение полезного эффекта \mathcal{E} от применения продукции и суммарных затрат Z на ее создание и эксплуатацию

$$P_u = \mathcal{E}/Z. \quad (6.15)$$

Интегральный показатель целесообразно применять при оценке качества продукции в случае отсутствия ее аналогов.

6.2.2. Технический уровень продукции

Технический уровень продукции – это относительная характеристика ее качества, основанная на сопоставлении, с одной стороны, значений показателей продукции, характеризующих ее техническое совершенство, и с другой стороны, значений одноименных показателей лучших аналогов.

Технический уровень продукции является частным показателем уровня качества продукции, потому что свойства, составляющие технический уровень продукции, входят в общую совокупность ее свойств. Во множество показателей технического совершенства входят показатели, определяющие существенное повышение полезного эффекта продукции от применения научно-технических достижений. Техническое совершенство выражается показателями материалоемкости и энергоемкости, эргономи-

ческими, безопасности и др. Машина становится более совершенной в результате использования новых конструктивных решений, материалов, прогрессивных технологических процессов, методов контроля и испытаний.

Технический уровень машин повышают при ремонте путем их модернизации, которая состоит в замене отдельных составных частей более совершенными для снижения морального износа.

6.2.3. Определение и структура системы качества ремонта машин

История разработки и внедрения систем управления качеством продукции началась в 60-х годах прошлого века. В это время наибольшее распространение в СССР и за рубежом получила саратовская система бездефектного изготовления продукции. Однако она распространялась только на стадию изготовления продукции и не учитывала стадии ее проектирования и постановки на производство. На предприятиях Горьковской области была разработана и внедрена комплексная система качества КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), которая требовала экспериментальных работ по выявлению надежности изделий на этапах их освоения. В то же время на предприятиях Минска, Рыбинска, Львова, Ярославля и Риги появились системы, которые обеспечили бездефектный труд всех категорий работающих с использованием материального и морального стимулирования. На заводах Львова эта система приобрела юридическую силу путем создания стандартов предприятий, которые дополнили и конкретизировали государственную систему стандартов, что позволило управлять качеством продукции. На многих ремонтных предприятиях до настоящего времени действует комплексная система управления качеством продукции (КС УКП).

Система качества ремонта машин (СК РМ) – это множество стандартов предприятия, которые определяют цель, функциональную и организационную структуры, процедуры и ресурсы, обеспечивающие управление качеством машин и его непрерывное улучшение.

Современная СК РМ строится в соответствии с требованиями стандартов серии ISO 9000.

Цель системы – достижение показателей качества отремонтированных машин не ниже нормативных и превышающих соответствующие показатели ведущих предприятий отрасли. Задачи системы заключаются в создании условий для выпуска такой продукции.

Условия производства подразумевают удовлетворение потребности рабочих мест качественными материалами, полуфабрикатами и комплектующими изделиями, использование аттестованного технологического оборудования, соответствие режимов обработки ремонтируемых объектов требованиям технологических процессов, привлечение к работе обученного и аттестованного персонала, действие средств контроля качества продукции.

Функциональная структура системы определяется множеством функций работников и их взаимодействием по обеспечению качества продукции. Эти функции подчинены цели системы. Функции системы связаны с потреблением ресурсов и оцениваются критериями.

Функции СК РМ подчинены политике качества и включают: планирование, руководство, управление и непрерывное улучшение качества продукции.

Планирование качества заключается в определении требований и разработке мероприятий, обеспечивающих достижение установленных значений показателей качества отремонтированных машин.

Руководство качеством включает множество действий в составе административного управления предприятием по реализации политики качества. Достижение необходимого уровня качества продукции требует участия всех работников предприятия в достижении цели системы, однако ответственность за общее руководство качеством несут руководители предприятия. В число их входят директор, главный инженер, заместитель директора и главный бухгалтер. Эффективность руководства оценивают снижением числа дефектов и стоимости продукции, совершенствованием технологии и СТО.

Управление качеством – это виды и методы деятельности оперативного характера, обеспечивающие выполнение требований к качеству. Эта деятельность предусматривает как управление процессами, так и определение и устранение причин неудовлетворительного качества. Управляемость системы определяется изменчивостью управляемых параметров под влиянием управляющего воздействия.

Управление процессами производства – это создание необходимых условий для протекания процессов в установленной последовательности и определенным образом, сбор информации о них, их контроль и корректирование.

Производственные процессы включают все операции ремонта техники: снабженческие, технологические, ремонтно-вспомогательные, транспортные и сбытовые. Другими словами, производственные процессы охватывают все работы основного, вспомогательного и обслуживающего производств. Содержание процессов производства с разной степенью детализации изложено в описании технологических процессов, технологических и должностных инструкциях.

Улучшение качества – это постоянная деятельность, направленная на повышение качества продукции, совершенствование элементов производства и системы качества.

Качество ремонта агрегатов определяется множеством параметров, значения которых должны находиться в нормативных пределах. Однако в настоящее время, например, при ремонте двигателей в нормативных пределах выдерживается меньше половины значения параметров.

Наиболее полно значения параметров выдерживаются при восстановлении распределительных валов, поршней и шатунов. У блоков цилиндров выдерживается примерно 50 % параметров, у гильз цилиндров – 66 %, у головок цилиндров – 25 %, порш-

невых пальцев и толкателей – по 50 %, коленчатых валов – 30 %, клапанов – 66 %, маховиков – 20 %. Наиболее полно выполняются требования к размерам, форме и шероховатости поверхностей при обработке шеек валов, но с нормативной точностью обрабатываются только 56 % отверстий.

Часть геометрических параметров восстановленных деталей, влияющих на послеремонтную наработку агрегата, вообще осталась вне поля зрения разработчиков нормативной документации (например, отклонение от перпендикулярности и пересечения осей коренных опор блока цилиндров и отверстий под гильзы).

Остаточная загрязненность поверхностей превышает допустимую в пять и более раз.

Не выдерживаются нормативные зазоры в соединениях длина коренной шейки – ширина коренной опоры с упорными шайбами, шестерни коленчатого и распределительного валов, длина гильзы цилиндра – высота блока цилиндров, тепловой зазор в стыке поршневых колец, отверстие – толкатель, отверстие – стержень клапана и натяги в соединениях отверстие – седло клапана.

Сборочные моменты при затяжке находятся в нормативных пределах только у 30...70 % резьбовых соединений. Сборочные усилия, как правило, не контролируются.

Динамическая и смешанная неуравновешенность движущихся частей до 1,5...2,0 раз превосходит нормативную.

Функциональные выходные параметры (показатели назначения) отремонтированных агрегатов (давление и расход сред, мощность, скорость и др.) соответствуют нормативам, однако эксплуатационный темп их изменения в худшую сторону превышает соответствующий темп изменения в машинах, введенных в эксплуатацию после их первичного изготовления.

Работу по обеспечению качества на стадии производственных процессов можно свести к предупреждению, обнаружению и ликвидации отклонений параметров продукции от установленных требований. Это достигается сравнением характеристик процессов и продукции с требованиями документации, а также с эталонами образцов продукции, непрерывным контролем работы оборудования.

Организационная структура представляет собой совокупность ответственности, полномочий и взаимодействия работников между собой.

К организационным мероприятиям относят: разработку политики качества, должностных инструкций и описание случаев взаимодействия работников; условия учета материалов, полуфабрикатов, запасных частей и продукции; управление производственными процессами; контроль и проведение испытаний различных видов; регистрацию данных о качестве; разработку предупреждающих и корректирующих действий и их реализацию.

В зависимости от места работников в структурной иерархии предприятия, различают ответственность, полномочия и взаимодействие трех различных категорий работников: руководителей предприятия, руководителей цехов и участков, рабочих.

Руководитель предприятия определяет и выделяет ресурсы в необходимом объеме для проведения политики качества. Ресурсы включают: подготовленный персонал, СТО, средства измерений, нормативную докумен-

тацию и справочную литературу, оргтехнику, средства связи и программы. Обеспечение необходимыми ресурсами находит отражение в планах опытно-конструкторских работ, постановки продукции на производство, повышения качества ремонта машин и совершенствования системы качества.

6.2.4. Принципы системы качества

Основные принципы создания и действия СК РМ заключаются в следующем.

Назначение создаваемой системы состоит в достижении соответствия продукции установленным требованиям. Это означает, что СК РМ является средством достижения цели и решения задач, установленных политикой качества, в том числе требований, которые выдвигает заказчик. Выполнение требований потребителя является основным ограничением системы качества.

На предприятии организуются маркетинговые исследования спроса и требований потребителя. Результаты исследований излагаются в виде технических требований к продукции. Действует принцип: не продавать произведенное, а производить то, что продается!

Обязательства завода-поставщика отремонтированной техники перед заказчиком состоят в том, что завод гарантирует в течение установленного срока службы изделий или их наработки соответствие качества продукции установленным требованиям. В противном случае завод безвозмездно заменяет дефектную продукцию на исправную при условии соблюдения заказчиком установленных требований к ее эксплуатации и хранению.

Система качества действует во взаимодействии с другими системами предприятия – конструкторской, технологической, организационной и снабженческо-сбытовой – которые влияют на качество продукции. Это означает, что СК РМ является неотъемлемой частью системы управления заводом и функционирует как ее составляющая часть.

Действие системы качества распространяется на те стадии жизненного цикла продукции, с которыми соприкасается предприятие: от изучения спроса на рынке до утилизации ее в конце срока службы.

Система качества способствует непрерывному его улучшению. Чтобы реализовать этот принцип определяют содержание улучшения качества, мотивируют это улучшение, стимулируют саму мотивацию и обучают персонал в области управления качеством.

Внедрение системы качества исключает обезличенность ремонтируемых объектов. Система качества направлена на предупреждение проблем, а не на решение их после возникновения.

Системой качества предусматривается аттестация как работников, так и самого производства.

Руководители предприятия формируют политику в области качества, инициируют разработку, внедрение и поддержание в работоспособном состоянии системы качества, распределяют ответственность за функционирование элементов системы между всеми сотрудниками завода. Каждый работник выполняет свои строго определенные функции, за что несет ответственность. Ответственность работника предполагает наделение его соответствующими полномочиями.

Систему качества оформляют в виде документов, в которых приведены элементы системы, их функции и все требования к ним. Форму документов системы устанавливает каждое предприятие самостоятельно. Документы доступны для пользователей, а их требования конкретны и однозначны. Отдельные документы находятся у тех работников, для которых они созданы.

Все элементы системы качества являются предметом регулярного внутреннего аудита. Это необходимо для надежного функционирования системы качества и уверенности руководства предприятием в том, что намеченная цель достигается. Аудиторская работа проводится по графику специально подготовленным персоналом.

Директор назначает приказом *уполномоченного по качеству*, который подчиняется непосредственно директору и руководит разработкой, внедрением, поддержанием в работоспособном состоянии и совершенствованием системы качества. Уполномоченный по качеству создает на заводе службу качества, принимает решение о проведении ее анализа, утверждает мероприятия по устранению несоответствий, выявленных при этом анализе внутренними и внешними аудиторами по качеству, и оценивает общий эффект в области качества.

Система качества подвергается регулярному анализу и оценке со стороны руководства предприятия. Основными источниками информации о действии системы служат регулярные отчеты подразделений завода и отчеты об аудитах. Уполномоченный по качеству обобщает эти отчеты и составляет доклад руководителю предприятия не реже двух раз в год. Этот доклад содержит ответы на вопросы: соблюдаются ли основные положения политики качества? удовлетворены ли потребители качеством продукции? достигается ли цель предприятия в области качества? какова репутация предприятия на рынке? эффективна ли действующая система выявления и устранения причин имеющихся или потенциальных несоответствий? К докладу прилагаются предложения по совершенствованию системы качества.

6.2.5. Концепция и политика качества

Конкурентоспособность отремонтированных машин, повышение производительности труда и улучшение экономических показателей предприятия за счет расширения рынков сбыта и повышения прибыльности от

продажи продукции достигаются путем непрерывного и планомерного совершенствования производства. Такое совершенствование возможно путем использования современной *концепции* качества, которая включает:

- разработку цели и задач системы качества;
- замену многих поставщиков (по каждому виду закупаемых материалов, полуфабрикатов и изделий) на долгосрочные связи с одним поставщиком;
- непрерывное улучшение качества за счет совершенствования системы качества и организационной структуры предприятия, исключения количественных показателей, плакатов и лозунгов;
- устранение внутренних и внешних барьеров, препятствующих непрерывному улучшению качества;
- исключение сплошного контроля качества продукции и внедрение его выборочных методов;
- введение новых методов руководства и оценки личных качеств сотрудников, устранение страха перед работой и руководителями, развитие у сотрудников чувства профессиональной гордости за предприятие и результаты его работы;
- введение систематической подготовки и переподготовки всего персонала предприятия.

Политика в области качества включает цель, основные направления и задачи предприятия, высказанные его руководителем.

Достижение цели обеспечит улучшение экономических показателей предприятия за счет расширения рынков сбыта и повышения прибыльности от сбыта продукции. Средства достижения цели: освоение производства модернизированных изделий; внедрение новых технологических процессов, обеспечивающих заданный уровень качества с наименьшим расходом ресурсов; обеспечение производства необходимыми СТО с последующим их обновлением; подготовка кадров высокой квалификации с новым отношением к вопросам качества; функционирование системы качества.

Политика качества реализуется в целевых организационно-технических программах обеспечения и повышения качества продукции, действующих в течение одного года или большего числа лет.

Пример политики качества:

1. Наше стремление – быть для наших реальных и потенциальных потребителей самыми компетентными и надежными партнерами во всех вопросах, касающихся наших изделий и услуг. Потребитель определяет вид и объем поставок продукции и критерии ее качества. *Мы – организация, ориентированная на потребителя.*
2. Мы готовы к переменам и стремимся делать новое и необходимое, а не отжившее, но привычное. *Мы – развивающаяся организация, восприимчивая к новому.*
3. Мы добиваемся полного и эффективного использования производственных ресурсов. *Мы – эффективная организация.*

4. В нашей организации каждый относится к коллеге по следующему этапу процесса как к внутреннему потребителю. *Мы – организация, ориентированная на процессный подход.*

5. Мы повышаем ценность нашего предприятия путем непрерывного роста профессионализма каждого сотрудника, совершенствования внутренних отношений и использования прогрессивных технологий. *Мы – обучающаяся организация.*

6. Наше процветание мы связываем с процветанием всех тех, для кого и с кем мы работаем. *Мы – организация партнерского типа.*

7. Мы ценим способность наших лидеров содействовать профессиональной самореализации сотрудников. *Мы – организация, базирующая свою деятельность на лидерстве и вовлеченности персонала.*

8. Наша цель – превзойти качество продукции, достигнутое на предприятиях отрасли на основе повышения технического уровня нашего предприятия. *Мы работаем для тех, кто сделал ставку на качество.*

6.2.6. Ответственность за качество и полномочия работников

Меру *ответственности* за качество и *полномочия* каждого работника с описанием случаев, в которых работник должен взаимодействовать с другими лицами, устанавливают руководящие документы по качеству, положения о подразделениях, должностные инструкции, процедурные документы и матрицы распределения ответственности.

В качестве ответственных за качество или выполнение определенных процедур, функций и задач назначают тех работников, которые наиболее близко соприкасаются с данными работами в своей деятельности. Ремонтируемые объекты приобретают качество в процессе производства по мере выполнения технологических процессов, а не в результате их контроля. Поэтому ответственность за качество их ремонта возлагают на рабочих, мастеров, начальников цехов, заместителя директора по производству, а не на ОТК.

Ответственность, полномочия и взаимодействие персонала должны быть четко и полностью определены. Полномочия работника должны позволить ему принятие мер для выполнения задач в рамках возложенной на него ответственности. На каждом заводе разрабатывается наглядная матрица ответственности и полномочий работников всех уровней производства.

Система стимулирования работников предприятия за качество продукции учитывает как меру ответственности персонала за выполнение работ, влияющих на это качество, так и результаты этих работ.

В зависимости от отношения к технологическим процессам ремонта машин различают персонал, обеспечивающий качество (конструкторы, технологи, руководители цехового звена, рабочие) и его контролирующий (работники ОТК).

Рабочий основного производства отвечает за состояние закрепленного за ним оборудования и технологическую дисциплину. Он ведет контрольную карту, помещает в изолятор брака продукцию, произведенную с дефектами, воздерживается от выпол-

нения работы, если продукция будет изготовлена с дефектами, докладывает бригадиру (мастеру) о неудовлетворительных условиях производства.

Мастер отвечает за производственную дисциплину и порядок на вверенном ему участке, техническое состояние СТО, обеспечение рабочих мест средствами измерений, строгое выполнение рабочими закрепленных операций (в том числе, контрольных), ведение документации по учету параметров продукции.

Начальник цеха несет ответственность за соответствие параметров продукции требованиям документации, за соблюдение, контроль и управление процессами производства и отправку продукции на склад.

Контроль качества ремонта машин со стороны ОТК не освобождает руководителей смен, участков и цехов от ответственности за выпуск качественной продукции.

Начальник ОТК отвечает за выпуск качественной и комплектной продукции, соответствующей нормативной и технологической документации, организацию, состояние и совершенствование системы технического контроля, своевременное оформление документов, удостоверяющих соответствие выпускаемой продукции установленным требованиям, использование на контрольных операциях исправных и поверенных средств измерений, организацию приемочного контроля продукции, выполнение функций отдела и должностных обязанностей работников. Начальник ОТК наравне с директором завода несет ответственность согласно действующему законодательству.

Главный бухгалтер несет ответственность за учет сырья, материалов, продукции, отходов и затрат на качество. Он обеспечивает внедрение и выполнение требований системы качества в бухгалтерии и финансирование заводских мероприятий по качеству.

Главный инженер и заместитель директора отвечают за функции системы качества в подчиненных им производствах. Они организуют разработку и совершенствование нормативных документов, выявляют и предотвращают любые несоответствия, относящиеся к системе качества, управляют последующими действиями до тех пор, пока несоответствия не будут устранены.

Директор предприятия несет ответственность за практическое применение системы качества и совершенствование структуры предприятия.

6.2.7. Наблюдение за продукцией и меры по улучшению ее качества

Наблюдение за продукцией – это сбор информации о ее состоянии в течение последующих стадий жизненного цикла.

Маркирование продукции – это процедура нанесения пометок или этикеток на ремонтируемые изделия для целей их учета.

Маркируют машины, агрегаты и некоторые детали. Маркируют те детали, которые влияют на безопасность и надежность отремонтированных агрегатов. Факт маркирования изделий отражают в технических требованиях конструкторской документации к изделиям. В технологической документации отражают способ маркирования: шифр и вид пометок, формы маршрутного листа на деталь и технологического паспорта на агрегат или машину.

Маркированная продукция определенным образом учитывается. Ответственность за оформление документов по маркированию машин и их частей возлагается на мастеров участков. Эти документы хранятся в архиве ОТК в течение гарантийного срока службы изделия. Отдел сбыта ведет учет места эксплуатации продукции.

Прослеживаемость продукции – это определение места, времени и объема ремонтных работ, в результате которых продукция выпущена с браком, а также установление личности работников, выполнивших и оценивших указанные работы.

Мероприятия маркирования и прослеживаемости продукции устанавливают использование или нахождение объекта с дефектами. Прослеживаемость должна обеспечить ретроспективу поступления ремонтного фонда, материалов, полуфабрикатов и запасных частей, выполнения технологических операций ремонта, а также определение места, условий и наработки изделий.

Реальные дефекты определяют и устраняют с целью исключения их повторения с помощью *корректирующих* мероприятий, а действия, направленные на исключение возможных дефектов, являются *предупреждающими* (рис. 6.2).

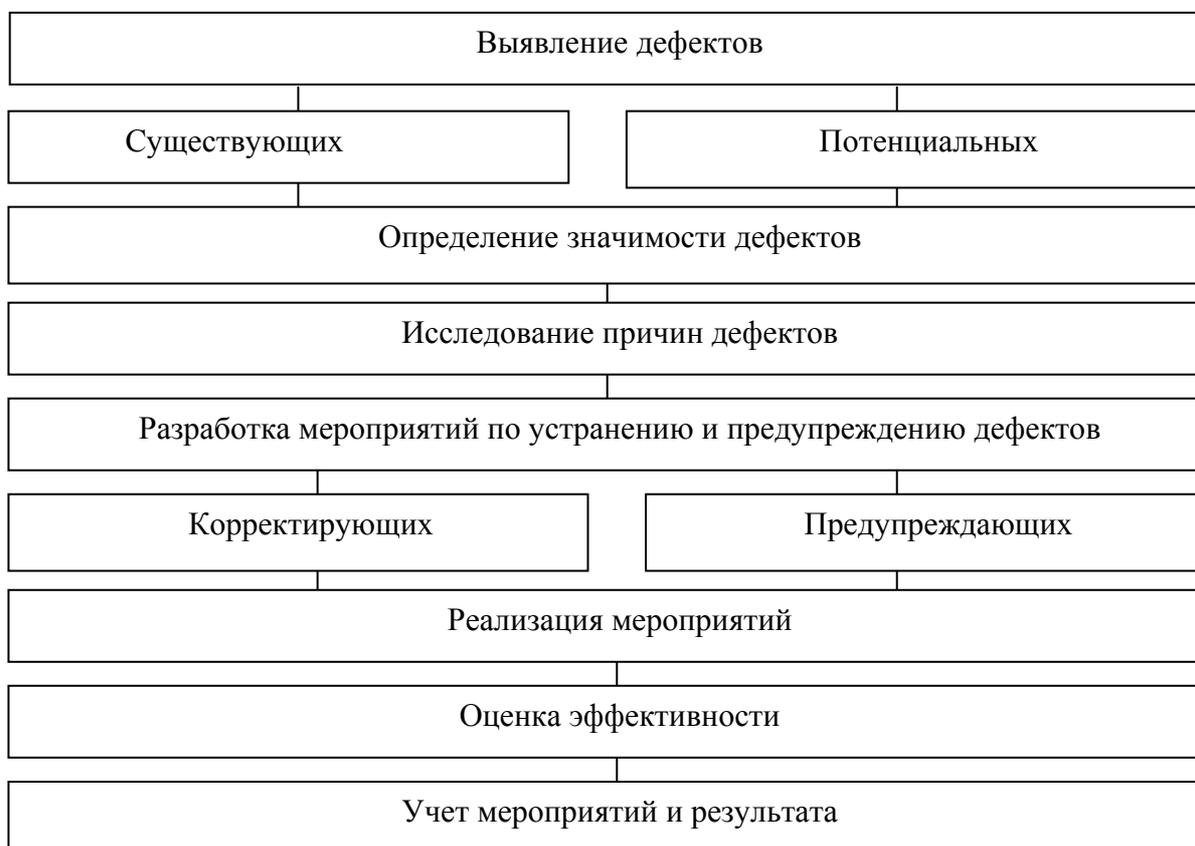


Рис. 6.2. Порядок выявления причин дефектов и реализации мер по их устранению и предупреждению

Устранение причин дефектов связано с изменением технических требований к продукции, материалов, процессов производства, упаковки, хранения и транспортирования этой продукции.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия разрабатывают на основании испытаний всех видов, дефектов, выявленных в гарантийный

период эксплуатации, актов проверки технологической дисциплины, актов авторского надзора, результатов аудиторских проверок (внутренних и внешних), предложений по улучшению технологических процессов, протоколов “Дня качества”, актов списания бракованной продукции, случаев выпуска продукции по особым санкциям.

Специалисты оценивают эффективность принятых мер с использованием сведений технического и экономического характера. При положительной эффективности найденного технического решения оно вносится в действующую документацию в виде изменения. При отрицательной оценке эффективности необходим поиск нового решения.

6.2.8. Аттестация производства и организация контроля качества

Аттестация производства представляет собой комплекс мероприятий по определению его возможности ремонтировать машины в соответствии с требованиями нормативной документации. Аттестация бывает плановой и инспекционной.

Производство аттестуют при заводской или государственной сертификации. Аттестуют отдельные рабочие места (операции), по результатам чего принимают решение о состоянии всего участка.

Аттестация производства включает проверку конструкторской и технологической документации, знаний и способности рабочих обеспечить требования технологической документации, производственного порядка на рабочих местах, состояния оборудования, оснастки (в т.ч. инструмента) и средств измерений.

При проверке конструкторской документации устанавливают достаточность требований к качеству продукции. Далее устанавливают, все ли требования конструкторской документации учтены технологической документацией и обеспечиваются ею.

Квалификационный разряд рабочего должен быть не ниже, чем того требует технология. Проверяют знания в объеме квалификационных требований, а также знания устройства ремонтируемого объекта, технологии его ремонта, возможных причин дефектов и мер по их предупреждению. Рабочий должен показать умение измерять величины, приведенные в технологической документации.

При контроле оборудования проверяют наличие графика планово-предупредительных ремонтов и полноту их проведения. Выборочно проверяют технологическую точность станков по разработанным методикам и с применением имеющейся оснастки. Рабочие вспомогательного производства должны продемонстрировать умения, касающиеся проверки оборудования на технологическую точность и его ремонта. Проверяющие обращают внимание на смазку станков и заправку их СОЖ, контролируют выпол-

нение графика проверки технологической оснастки на технологическую точность, наличие методик и необходимых СТО для этой проверки. Выборочно проверяют некоторые экземпляры оснастки.

Средства измерений должны пройти поверку по графику. На рабочих местах не должно быть средств измерений, не указанных в технологической документации или с истекшими сроками поверки.

И, наконец, случайным образом отбирают экземпляр агрегата или машины, принятый ОТК и находящийся на складе готовой продукции. У изделия измеряют значения контролируемых параметров и сопоставляют их с нормативными значениями. В этом случае возможна частичная разборка изделия.

Испытания продукции необходимы для подтверждения ее соответствия нормативным и договорным требованиям и способности предприятия выпускать такую продукцию.

Виды испытания продукции определены ГОСТ 16504-81. Различают предварительные, приемочные, квалификационные, приемо-сдаточные и периодические испытания.

В результате *предварительных* и *приемочных* испытаний принимают решение о целесообразности постановки продукции на производство. *Квалификационные* испытания продукции проводят при постановке ее на производство с целью оценки готовности предприятия к выпуску этой продукции в заданном объеме. По результатам *приемо-сдаточных* испытаний принимают решение о пригодности продукции к поставкам. *Периодические* испытания проводят через установленные промежутки времени или по мере выпуска определенного объема продукции с целью контроля стабильности качества и необходимых мероприятий по ее поддержанию.

На заводе создают отдел *технического контроля* во главе с начальником, который подчиняется директору завода. Структурная схема ОТК приведена на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Структурная схема отдела технического контроля

Объекты технического контроля: ремонтируемые и восстанавливаемые изделия; оборудование, приспособления и инструмент; средства измерений, испытаний и контроля; нормативная, ремонтная и технологическая документация; материалы, полуфабрикаты и запасные части.

Силами ОТК организуют входной контроль изделий и материалов с целью предотвращения запуска в производство продукции, не соответствующей требованиям договоров на поставку.

Текущая работа контрольного аппарата заключается в проведении операционного контроля продукции согласно технологическим процессам контроля.

ОТК проводит работу во взаимодействии с цехами основного производства, ОМТО, ПДО, ОГТ, юридическим бюро и бухгалтерией.

Основные задачи ОТК: предотвращение выпуска продукции, не соответствующей требованиям нормативной, ремонтной и технологической документации, условиям поставки и договоров; укрепление трудовой и технологической дисциплины; повышение ответственности работников за качество продукции; изучение причин брака и реализация мероприятий по его предупреждению; ведение учета.

Система технического контроля требует непрерывного анализа ее эффективности и внедрения прогрессивных средств и процессов для повышения производительности труда и достоверности контроля.

Важная функция ОТК заключается в изучении причин недостаточного качества продукции и выработке мер по его повышению. Повышение качества ремонта техники приводит к уменьшению числа дефектов, выявленных во время послеремонтных испытаний и в течение гарантийного срока ее эксплуатации.

Начальник ОТК имеет право остановить приемку продукции, которая выходит с повторяющимися дефектами, выполнена из материалов, не соответствующих установленным требованиям, на неисправном оборудовании и по документации, которая не учитывает требования нормативной документации.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью на заводе ведут работу по повышению качества выпускаемой продукции, нужно ли этим заниматься?
2. Какими показателями оценивают качество продукции?
3. Приведите особенности оценки качества отремонтированных машин.
4. Что понимают под техническим уровнем машины?
5. Какую цель преследует система качества ремонта машин?
6. Какова структура системы качества?
7. Какие принципы положены в основу системы качества?
8. Как строится политика качества?
9. Как определяют ответственность работников по вопросам качества?
10. Место корректирующих и предупреждающих мероприятий в системе качества.

Практическое занятие № 9

ПОЛИТИКА КАЧЕСТВА

Цель занятия – приобретение навыков по разработке системы качества, которую необходимо внедрить в ремонтное предприятие.

Индивидуальное задание включает наименование ремонтируемых агрегатов и объемы ремонта, нормативные и фактические значения параметров, по которым оценивают качество ремонта. Необходимо разработать мероприятия по достижению нормативного уровня качества ремонтируемой продукции и политику качества.

Указания по выполнению работы. Перед выполнением задания необходимо изучить соответствующий учебный материал (раздел 6.2). Если студент уверенно отвечает на вопросы для самоконтроля, то можно приступить к выполнению задания.

Действия системы качества направлено:

- на освоение производства изделий, функции которых реализуются на новых принципах;
- на обеспечение производства необходимыми СТО (оборудованием и оснасткой) с последующим обновлением их, внедрение новых технологических решений, обеспечивающих заданный уровень качества с наименьшим расходом ресурсов;
- на непрерывное обновление и совершенствование материальной базы предприятия;
- на подготовку кадров высокой квалификации с новым отношением к вопросам качества;
- на функционирование СК РМ.

В начале политики качества отмечают тот факт, что требования потребителя в вопросах качества являются основными для производителя. Потребитель определяет вид и объем ремонтируемой продукции и критерии ее качества.

Далее отражают готовность и стремление коллектива предприятия к переменам в деле непрерывного совершенствования технологии, СТО и организации производства.

Подчеркивают полное и эффективное использование производственных ресурсов – мероприятий, которые обеспечивают эффективность производства за счет современной организации.

Отражают принцип непрерывного эволюционного улучшения качества, ориентированный на процессный подход.

Отмечают источник повышения ценности предприятия за счет непрерывного роста профессионализма каждого сотрудника, совершенство-

вания внутренних отношений и использования прогрессивных информационных технологий.

Выделяют характер отношений с потребителями продукции. Один из вариантов этих отношений заключается в том, что процветание предприятия связывают с процветанием потребителей продукции.

Оценивают способность лидеров содействовать профессиональной самореализации сотрудников. Достойных результатов достигают в том случае, когда в процесс достижения высокого качества продукции вовлечен весь коллектив предприятия.

В заключение высказывают цель политики качества. Одним из вариантов может быть стремление превзойти качество продукции, достигнутое на предприятиях отрасли на основе повышения технического уровня предприятия.

Содержание отчета: название и цель работы; план мероприятий по достижению нормативного качества продукции с оценкой затрат по его реализации; текст политики качества *).

*) Политику качества ремонтного предприятия подписывает его директор, а экземпляры документа вывешивают в тех местах, где проходят как работники завода, так и покупатели продукции.

6.3. Ресурсосбережение в ремонтном производстве

Ремонтное производство по своей сути является ресурсосберегающим, однако его резервы далеко не исчерпаны, поэтому проблема наиболее полного сбережения ресурсов непрерывно находится в поле зрения специалистов и ученых. Экономное расходование производственных ресурсов при надлежащем качестве и установленной производительности ремонта – одна из составляющих его организации.

Только за счет исключения металлургического процесса при восстановлении одной тонны стальных деталей экономят 180 квт-ч электроэнергии, 0,8 т угля, 0,8 т известняка и 175 м³ природного газа.

Экономят производственные ресурсы: финансовые (денежные), материальные (запасные части, полуфабрикаты, материалы для нанесения покрытий, технологические среды, горючие и окислительные газы и др.), энергетические (электроэнергию, тепло- и хладоносители, сжатый воздух), трудовые (рабочую силу), потребительские (воду питьевую, чистый воздух), информационные (программы, алгоритмы) и наработочные (остаточную долговечность деталей). Последний вид ресурса характерен только для ремонтного производства, он в наибольшей степени определяет эффективность этого производства.

Экономия настоящего (живого) и овеществленного (прошлого) труда в процессе ремонта машин достигается сбережением материалов, энергии, воды, сжатого воздуха, что способствует также охране окружающей среды.

6.3.1. Основные направления ресурсосбережения

Анализ структуры себестоимости ремонта техники обуславливает определение направлений ресурсосбережения.

Наибольшая часть цеховой себестоимости ремонта техники в настоящее время приходится на запасные части (20...30 %), полуфабрикаты и материалы (15...20 %), в то время как доля затрат на тепловую и электрическую энергию составляет 10...15 %, а на заработную плату – 6...10 %. Соотношение составляющих себестоимости ремонта машин с течением времени непрерывно изменяется. Увеличилась ее доля, связанная с приобретением запасных частей и материалов, и сократилась доля заработной платы. Каждая составляющая себестоимости связана с расходом соответствующих видов производственных ресурсов.

Экономия денег, труда, материалов и энергии заключается в первую очередь в бережном отношении к ремонтному фонду машин (остаточному ресурсу их деталей). Ресурсосберегающие мероприятия реализуют путем совершенствования организации и технологии производства.

6.3.2. Сбережение материалов

Расход материалов определяет размеры средств на их приобретение и зависит от полноты или многократности их использования. Уменьшения расхода средств на материалы достигают различными методами.

Обоснованная замена материалов более дешевыми. Втулки из бронзы БрОЦС 5-5-4 заменяют, например, втулками из алюминиевого сплава АЛ-4, АЛ-30 или биметаллическими сталеалюминиевыми. Вместо напыляемых самофлюсующихся порошков и шнуровых материалов применяют листовые закаленные ДРД из конструкционной стали, что снижает стоимость материалов до 10 раз.

Использованием отходов производства. Один из эффективных путей ресурсосбережения – применение отходов производства в качестве материалов восстановительных покрытий.

Разработана концепция создания самофлюсующихся сплавов из порошков железа, чугуна, быстрорежущих сталей ПР-10Р6М5 и др. Флюсующие элементы (бор и кремний или только бор) вводят в поверхность каждой частицы диффузионным путем, что приводит к образованию слоя из самофлюсующегося материала эвтектического строения. Покрытие из таких частиц характеризуется высокой прочностью его соединения с основой, незначительными потерями легирующих элементов и наличием боридных или карбидных фаз с повышенными триботехническими свойствами.

В отходах, которые образуются при шлифовании заготовок из стали ШХ15, содержатся легирующие элементы (Cr, Mn, Si), а также абразивные зерна и связка шлифовальных кругов (до 8...10 % по массе). После сепарирования шлама материал используют для его электроконтактной приварки на изношенные лезвия дисковых рабочих органов сельскохозяйственных машин. Восстановленное лезвие изнашивается в основном по затылованной части и существенно менее по режущей кромке, обеспечивая при этом самозатачивание рабочей части инструмента.

При лезвийной обработке заготовок из серого чугуна образуется стружка, которую используют в качестве материала для газотермического напыления. Для этой цели наиболее подходит стружка после сверления и растачивания без СОЖ. Материал проходит циклонную очистку от пылевидных фракций, затем его измельчают в шаровой мельнице и отсеивают для выделения фракции с размерами 40...160 мкм. Полученные порошки имеют повышенное содержание графита и кислорода и значительное – марганца и кремния. Структура покрытий, полученных воздушно-плазменным напылением, отличается от исходной и представляет собой мартенсит, цементит, остаточный аустенит, а также метастабильный ϵ -карбид. Такой фазовый состав обуславливает повышенную микротвердость покрытий по сравнению с исходным порошком в 2,0...2,5 раза до значений 6...8 ГПа. Прочность соединения покрытия с основой (сталь 45) при нормальном отрыве составляет 20...25 МПа. В условиях граничного трения с контртелом из нормализованной стали 40Х при удельном давлении 5,1 МПа и скорости скольжения 1 м/с эти покрытия не уступают по износостойкости покрытиям из никель-титанового сплава ПН55Т45.

Повторное применение восстановленных, регенерированных и фильтрованных материалов. В процессе анодной обработки деталей из черных металлов в электролите накапливаются их ионы. Когда массовая доля ионов превышает 5...10 г/л, условия для отложения качественных покрытий ухудшаются. Качество электролита восстанавливают фильтрованием. Для центробежной очистки электролитов служит установка ДРГ2-0,30 с фильтром и насосом производительностью 2 м³/ч. Очистку можно также вести при помощи ионообменных смол, осаждением хромовых ионов в виде гидрооксидов, добавлением сахара в электролит для получения растворимого хроматина при рН 2,2...2,6. Гидрооксиды железа при этом оседают на дно ванны.

АО “Конверсия” (Москва) выпускает универсальные установки ЭКО-91 для ректификации отработавших органических растворителей и их смесей: ацетона, бензина, ксилола, толуола, бензола, этилацетата, 1,2-дихлорэтилена, трихлорэтилена, дихлорметана, циклогексана, смесе-

вых растворителей 645, 646, P4, P5, дихлорметана, бутилацетата, четыреххлористого углерода, этилового, метилового и изопропилового спиртов, изопропилового эфира, нефраса, фреона. Качество полученных материалов соответствует требованиям стандартов к материалам в исходном состоянии. Природоохранный процесс обеспечивает многократное использование дорогостоящего сырья. Производительность установки 20 т/год, установленная мощность 7 кВт. Срок окупаемости 6...9 месяцев.

Изготовление металлоасбестовых прокладок сопряжено с расходом дефицитных материалов и большой трудоемкостью (число технологических операций изготовления и сборки их элементов превышает десять наименований). Прокладки, устанавливаемые под головки цилиндров, в процессе работы прочно соединяются с уплотняемыми стыками и повреждаются при разборке двигателя. Прокладка легко отделяется от стыка после длительной эксплуатации, если на ее поверхность было нанесено противопопригарное покрытие состава (% массы): моторное масло – 44, графит – 29, каолин – 25 и клей ПВА – 2.

Для нанесения такого покрытия используют стенд (рис. 6.4). Вращение от электродвигателя 8 передается на редуктор 9, а с его ведомого вала посредством цепной передачи 7 (закрыта кожухом 1) на ведущий валок 3. Опоры валка установлены на станине, а вращение от него за счет сил трения передается на прижимной валок 2, а также при помощи цепной передачи 4 – на вал-рыхлитель 5. Опоры вала-рыхлителя неподвижно установлены на станине 6, а опоры валка 2 подпружинены относительно нее. В начале работы стенд несколько минут работает вхолостую для размешивания противопопригарной массы и пропитки ею губчатой резины на валках. Затем на валки подают обрабатываемую прокладку, ко-

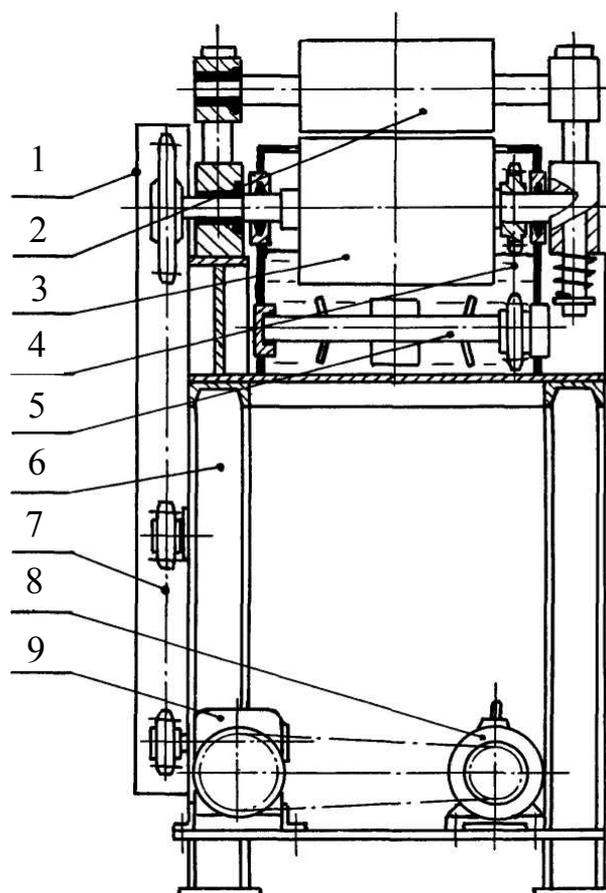


Рис. 6.4. Стенд для нанесения противопопригарного покрытия: 1 – кожух; 2 – прижимной валок; 3 – ведущий валок; 4 и 7 – цепные передачи; 5 – вал-рыхлитель; 6 – станина; 8 – электродвигатель; 9 – редуктор

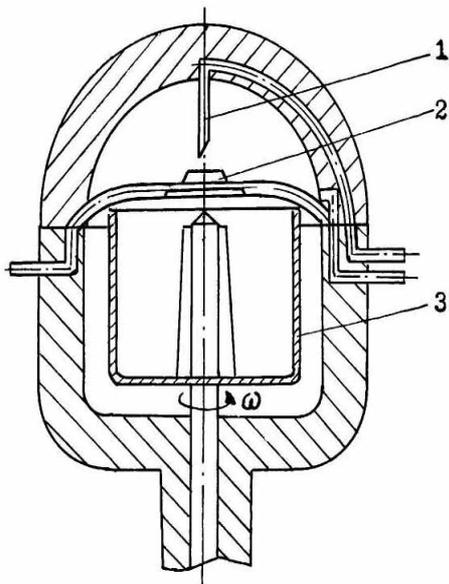


Рис. 6.5. Установка сепараторная для очистки масла: 1 – патрубков подводящий; 2 – тарелка конусная; 3 – ротор

крупность разделения твердой фазы $< 0,01$ мм.

Рациональный раскрой листовых материалов позволяет снизить норму их расхода до 30 %.

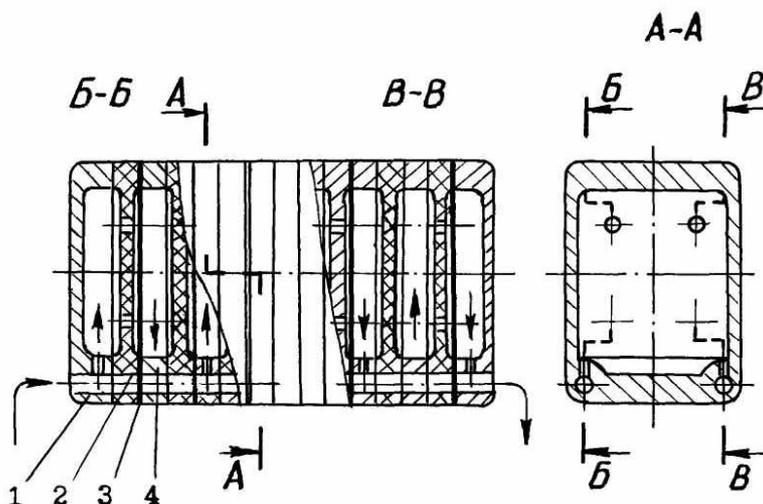


Рис. 6.6. Пресс-фильтр: 1 – крышка; 2 – перегородка; 3 – фильтрующий элемент; 4 – секция

6.3.3. Сбережение электрической и тепловой энергии

Электроэнергия потребляется для работы технологического оборудования и освещения. Баланс расхода тепловой энергии учитывает отопление и горячее водоснабжение производственных и административно-бытовых зданий, расход тепла на технологические нужды (нагрев сред и материалов, сушку и др.) и тепловые потери в сетях. На основании анализа

расхода энергии определяют оборудование, которое потребляет наибольшее ее количество, и выявляют случаи ее нерационального расходования. У таких потребителей в первую очередь ищут резервы энергосбережения.

Существенный эффект дает оптимизация режимов нанесения покрытий, работы оборудования для термической обработки заготовок и плавления металла и пластмасс.

Обкаточно-тормозные стенды бесцельно диссипируют энергию в нагрузочных реостатах, которая может быть использована для нагрева технологических сред. Обратные системы водопотребления с нагревом воды используются на рабочих местах определения течей в стенках восстанавливаемых корпусных деталей и с охлаждением воды – на рабочих местах аргонодуговой, вибродуговой и контактной сварки, плазменного напыления, на гальваническом, термическом и обкаточном участках. Взаимодействие нагревающего и охлаждающего оборудования между собой исключает бесцельные потери тепловой энергии.

Расход энергии уменьшается при сокращении времени протекания технологических процессов (очистных, приработочных и др.).

6.3.4. Экономия труда

Экономия труда достигается заменой ручного труда работой машин и механизмов, использующих энергию неживой природы. Это выражается повышением уровня и степени механизации и автоматизации технологических процессов. Экономия труда составляет один из разделов плана организационно-технических мероприятий ремонтного завода.

Ручной труд – это труд людей без использования энергии неживой природы. Механизированный труд связан с применением энергии людей без использования или с частичным использованием энергии неживой природы. Автоматизированный труд основан на применении средств, функционирующих и управляемых по заданному алгоритму с использованием энергии неживой природы без непосредственного участия людей.

Мускульная энергия – самый дорогой вид энергии. Работа по сбережению труда включает составление баланса его расходования по участкам ремонтного производства и времени работы участков, по видам ремонтируемой продукции и технологическим процессам и подробный анализ этого баланса. При этом определяют трудовые потери, оптимизируют интенсивность труда, находят лучшее сочетание труда и отдыха, создают условия для производительного труда.

Технологические мероприятия по экономии труда включают разработку средств ремонта (оборудования и оснастки), их изготовление и внедрение. При этом стремятся заменить ручной труд на механизированный, а последний – на автоматизированный. Этому способствует изучение опыта передовых ремонтных заводов и машиностроительных производств, патентного фонда и научно-технической литературы.

6.3.5. Сбережение остаточной долговечности деталей ремонтного фонда

Остаточная долговечность деталей представляет собой специфический ресурс ремонтного производства. Наиболее полное ее использование приобретает особую актуальность в деле снижения стоимости ремонта машин за счет меньшего объема приобретаемых дорогих запасных частей.

Годная деталь ремонтного фонда обходится производству в 3...5 % от цены новой детали завода-изготовителя, восстановленная – в 10...30 %, а приобретенная – в 110...250 % за счет таможенных сборов и начислений коммерческих структур.

По нормативам ГосНИТИ, например, при ремонте двигателей нормативной замене подлежат 9 % блоков и 10 % головок цилиндров, однако цена такого комплекта деталей, доставленных из России, превышает сложившуюся цену капитального ремонта двигателя в Беларуси.

Углубленный поиск годных деталей ремонтного фонда. Обследование деталей, которые согласно нормативной документации подлежат при ремонте машины замене новыми, показывает, что в 15...30 % случаев значения их параметров находятся в пределах установленных допусков.

Остаточный ресурс деталей – случайная величина. Измерения, например, деталей ремонтного фонда двигателей ЗМЗ-53 дают такие результаты. Средние значения доли годных деталей и стандартные ошибки ее определения следующие (рис. 6.7): поршней – $0,165 \pm 0,021$, поршневых пальцев – $0,171 \pm 0,032$, шатунных вкладышей коленчатого вала – $0,258 \pm 0,053$ и втулок распределительного вала – $0,190 \pm 0,041$. Доля годных накладок ведомых дисков сцепления составляет 25...30 %. Такие детали могут быть использованы повторно.

Оснащение постов определения технического состояния деталей необходимыми средствами и организация дополнительных слесарных работ обеспечивают выявление множества деталей с размерами, формой и расположением поверхностей, удовлетворяющими требованиям к товарной продукции. Названные работы экономически выгодны, начиная с небольших объемов ремонта 1,0...1,6 тыс. агрегатов в год. При объемах ремонта 6,3 тыс. агрегатов в год уменьшение себестоимости их ремонта составляет 15...20 %.

Наличие деталей с допустимыми износами объясняется: меньшей наработкой отремонтированных агрегатов по сравнению с новыми; неодинаковой износостойкостью поверхностей деталей; разными условиями эксплуатации агрегатов; наличием деталей, установленных на агрегат перед сдачей его в капитальный ремонт.

Учет технического состояния деталей ремонтного фонда. Действующая концепция восстановления деталей предполагает, как правило, качественный принцип определения каждого повреждения (оно есть или его нет) и однозначность технологии его устранения. При этом не учитывают состояние восстанавливаемых элементов, а технология построена на уст-

ранении повреждения наибольшего размера, что сокращает остаточную долговечность деталей и приводит к повышенному расходу труда, энергии и материалов.

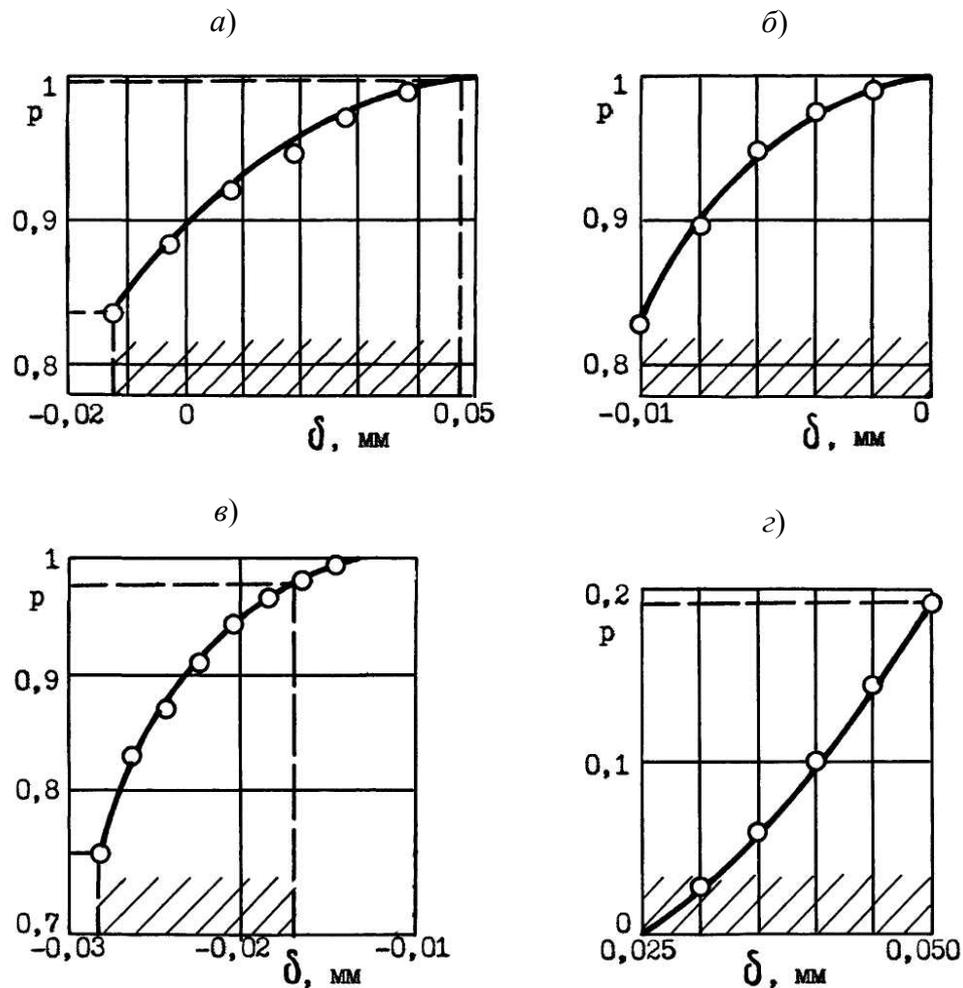


Рис. 6.7. Интегральные распределения p отклонений δ от номинальных (ремонтных) размеров деталей ремонтного фонда: *a* – поршня (диаметра юбки); *б* – поршневого пальца (диаметра рабочей поверхности); *в* – вкладышей (толщины); *г* – втулок распределительного вала (диаметра отверстий)

Дифференцированное назначение совокупности технологических воздействий по устранению повреждений с учетом размеров этих повреждений даже при многовариантной восстановительной технологии обеспечивает уменьшение потребления производственных ресурсов.

Рассмотрим восстановление коренных опор корпусной детали двигателя – блока цилиндров. В течение всего срока службы деталь в среднем проходит три восстановления коренных опор.

Базовый вариант предусматривает в течение жизненного цикла детали трехкратное нанесение покрытия, как на поверхности коренных опор в блоке цилиндров, так и на поверхности крышек при каждом восстановлении. Перед первым нанесением покрытия на поверхности крышек, если

они изготовлены из высокопрочного чугуна ВЧ50, предусмотрено их предварительное растачивание, чтобы при обработке покрытия исключить контакт расточного резца с отбеленным чугуном.

Предлагаемый вариант восстановления коренных опор учитывает порядковый номер восстановления детали и основан на максимальном использовании в качестве припуска поверхностного слоя металла за счет механической обработки стыков крышек.

Первые два восстановления коренных опор целесообразно производить без нанесения покрытия. Стыки опор, выполненные на блоках и крышках, фрезеруют или шлифуют с целью уменьшения на 0,2...0,8 мм диаметрального размера отверстия в направлении, перпендикулярном стыкам. Припуск на поверхности отверстия 0,2...0,3 мм снимают хонингованием, а припуски больших значений – растачиванием. При растачивании ось коренных опор смещают в “тело” блока цилиндров до 0,3 мм, а восстановленные таким образом блоки при сборке комплектуют укороченными шатунами. Исчерпание такой возможности восстановления опор требует нанесения покрытия только при третьем восстановлении.

При первом восстановлении коренных опор блока цилиндров затраты в 1,71 раза меньше, чем при базовом процессе, при втором – в 1,05 раза. При третьем восстановлении эти затраты в 1,18 раза больше, однако суммарные затраты по предлагаемому варианту в 1,37 раза меньше, чем по базовому. Аналогичные результаты имеют место и при восстановлении других деталей.

Таким образом, при первых восстановлениях деталей необходимо наиболее полно использовать поверхностный слой изношенного металла с внедрением необходимых СТО, а только затем применять способы нанесения покрытий.

В ряде случаев целесообразно введение ремонтных размеров на элементы деталей с минимальным ремонтным интервалом. Полному использованию ремонтных размеров способствует правка длинных деталей (коленчатых и распределительных валов, осей коромысел и др.), применение адаптивных схем базирования и повышение точности обработки.

Для полного использования ресурса восстанавливаемых деталей необходимо использовать все ремонтные размеры путем точной механической обработки и обеспечения производства сопрягаемыми деталями соответствующих размеров.

С развитием технологии ремонта расширяется номенклатура восстанавливаемых деталей и устраняемых повреждений, например, трещин, проходящих через нагруженные элементы деталей.

Восстановление малоресурсных деталей. Результаты работы передовых заводов отрасли показывают, что ряд деталей, которые согласно Руко-

водству по капитальному ремонту подлежат замене новыми, могут быть восстановлены.

На Полоцком заводе “Проммашремонт”, например, впервые внедрены процессы и средства для восстановления сложных в технологическом отношении деталей двигателей: поршней и вкладышей коленчатого вала.

У поршней устраняют повреждения – износы юбок, отверстий под поршневой палец и поверхностей под поршневое кольцо. Эти повреждения встречаются у 47...57 % поршней ремонтного фонда. Процесс восстановления включает: очистку детали, точение головки и канавок, создание технологических баз, изготовление, установку и приварку ДРД, точение верхней канавки, копирное шлифование юбки до предыдущего ремонтного (номинального) размера, разворачивание под ремонтный размер отверстия под поршневой палец. Здесь способ установки и закрепления ДРД (рис. 6.8) сочетается со способом ремонтных размеров. ДРД применяют для выполнения канавки номинального размера под верхнее поршневое кольцо. На восстанавливаемые поршни наносят химическим способом слой олова толщиной 5 мкм.

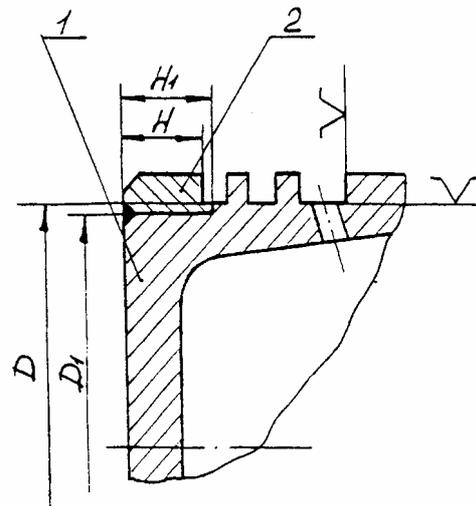


Рис. 6.8. Схема установки ДРД при восстановлении канавки поршня: 1 – восстанавливаемая деталь, 2 – ДРД; D – диаметр канавки; D_1 – диаметр проточки; H – расстояние от канавки до днища; H_1 – длина проточки

Вкладыши коленчатых валов карбюраторных двигателей допускают одно растачивание под ремонтный или номинальный размер на станках повышенной точности Одесского станкозавода. При исчерпании такой возможности на рабочие поверхности сталеалюминиевых вкладышей, выполненных из материала АО-20-1 или АО-6, наносят электрохимические покрытия. По технологии НПО “НИИ тракторосельхозмаш” (Москва) трущиеся поверхности вкладышей, изношенные не менее чем на 0,03 мм, предварительно растачивают и на них наносят покрытие из сплава СОС-6-6 толщиной 0,125 мм. Сплав состоит из олова (5,5...6,5 %), сурьмы (5,5...6,5 %) и свинца (остальное).

Следует отметить, что восстановление комплекта деталей увеличивает затраты живого труда на 12,8 чел.-ч (применительно к ремонту автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л), но тем не менее приносит экономический эффект. Затраты на восстановление поршней составляют 10...30 % от стоимости новых деталей, для вкладышей это соотношение равно 10...50 %.

6.3.6. Организация необезличенного ремонта

Один из ключевых вопросов организации ремонта машин – сохранять или не сохранять принадлежность деталей к конкретной машине при ее ремонте? Несмотря на кажущуюся простоту проблемы, ее решение определяет организационную форму, эффективность ремонта и сбережение доремонтного ресурса машин.

Необезличенный ремонт был первой организационной формой ремонта. Индустриализация ремонта в 50 – 60-х годах прошлого века привела к большим достижениям в централизованном восстановлении деталей на поточно-механизированных линиях с внедрением прогрессивных технологий, но также и к обезличиванию ремонтируемых агрегатов и машин.

Однако обезличенный ремонт приводит к неполному использованию остаточного ресурса деталей, нарушению взаимного расположения их поверхностей, которое достигнуто в результате обкатки и эксплуатации агрегатов, стабилизации внутренних напряжений в материале деталей, изменению параметров зацепления шестерен, увеличению дисбаланса и др. Обезличенный ремонт не стимулирует заказчика беречь ремонтный фонд, а поощряет сдачу его в ремонт в подсобранном виде и в состоянии металлолома. Заказчик не сдает малоизношенную машину в обезличенный ремонт, а экономит на средствах, ремонтирует ее сам, не имея на это надлежащих условий и базы.

Только 4 % двигателей ремонтного фонда приходят первый раз в заводской капитальный ремонт, а свыше 80 % двигателей поступают не менее чем в третий ремонт.

С другой стороны, если заказчик сдаст в обезличенный ремонт машину с полностью израсходованным ресурсом и заплатит за какой-то усредненный, хотя и дорогой ремонт, то получит удовлетворительного состояния машину, собранную из запасных частей и выборки годных и восстановленных деталей наличного ремонтного фонда.

Противоречие может быть решено путем организации необезличенного ремонта с назначением цены не за абстрактный ремонт, а за фактический его объем, установленный путем диагностирования. Использование идей необезличенного ремонта в современных условиях целесообразно в сочетании их с принципами поточного индустриального ремонта.

Различие в ресурсах деталей и узлов делают нерациональным применение полностью необезличенного ремонта. Какие противоречивые факторы способствуют и мешают внедрению ремонта с сохранением принадлежности деталей к машине?

В пользу такой организации можно привести такие факты: владелец заинтересован сдать машину удовлетворительного технического состояния, так как эту же машину придется получить по цене фактического ремонта, учитывающей трудоемкость ремонта и стоимость запасных частей; в материале деталей произошла релаксация внутренних напряжений и сопутст-

вующая ей стабилизация формы элементов; сохранение взаимного расположения поверхностей деталей, достигнутого в результате их приработки и эксплуатации; меньшее приращение дисбаланса во время ремонта сборочной единицы; сохранение значений параметров зацепления шестерен.

К трудностям ремонта с сохранением принадлежности деталей к машине относятся: усложненное делопроизводство и учет деталей; необходимость применения контейнеров, подвесок или стеллажей для перемещения и хранения комплектов деталей; увеличение производственной площади на создание участка ремонта; увеличение сроков ремонта; большая трудоемкость создания средств для безразборного определения неисправностей и остаточного ресурса.

При внедрении необезличенного ремонта машин определяют множество деталей, входящих в сохраняемый комплект. Сохранение комплекта деталей во время ремонта машины создает немалую трудоемкость и требует вложения затрат, при этом сохранение принадлежности к машине всех без исключения деталей не имеет смысла.

Можно обезличивать детали:

- которые после ремонта агрегата не будут восстанавливаться при следующем ремонте. К ним относятся уплотнительные элементы (прокладки, сальники, набивки), детали, исчерпавшие ремонтные размеры, для которых на заводе не освоены способы восстановления под номинальные размеры;

- находящиеся на грани исчерпания остаточного ресурса (коленчатые и распределительные валы, требующие второй наплавки, блоки цилиндров, претерпевшие восстановление коренных опор с нанесением покрытий, приварку ДРД и заварку трещин);

- имеющие большой ресурс, но малую стоимость (крепежные и стопорящие детали, крышки и кронштейны).

Теряется смысл сохранения комплекта деталей агрегата, если утрачена вследствие утери или выбраковки его корпусная деталь.

Какие детали должны входить в сохраняемый комплект? Это детали:

- совместно обработанные на заводе-изготовителе (например, блок цилиндров с крышками коренных опор и картером сцепления, шатуны с крышками);

- соприкасающиеся необрабатываемыми при данном ремонте стыками. Такие сочетания деталей могут составлять: блок цилиндров – головки цилиндров – гильзы цилиндров – крышки коренных подшипников – картер сцепления – упорные шайбы коленчатого вала – крышка распределительных шестерен; головка цилиндров – впускная труба – выхлопной коллектор – стойки коромысел – втулки клапанов; коленчатый вал – маховик;

- дорогие, имеющие остаточные ресурсы, равные не менее двум межремонтным наработкам;

- прошедшие динамическую балансировку.

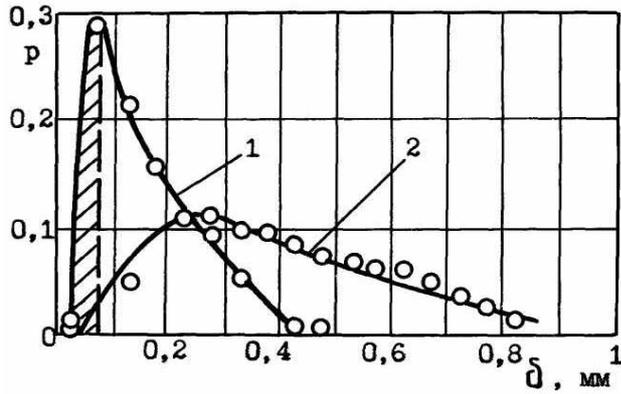


Рис. 6.9. Частота p распределения биений δ рабочего торца маховика двигателя ЗМЗ-53 относительно коренных шеек коленчатого вала. Сборочная единица собрана из необезличенных (1) и обезличенных (2) деталей

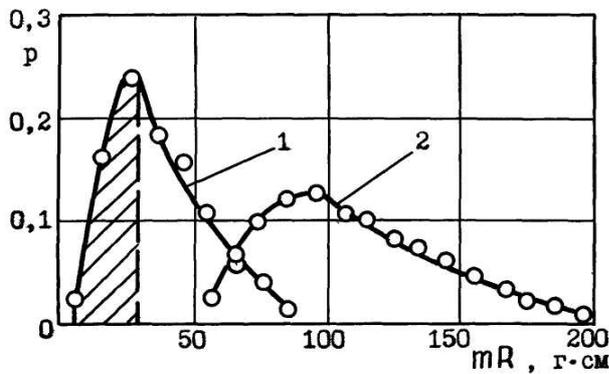


Рис. 6.10. Частота p распределения значений дисбаланса mR сборочных единиц коленчатый вал – маховик двигателя ЗМЗ-53 необезличенных (1) и обезличенных (2)

В пользу второго и четвертого условий вхождения деталей в сохраняемый комплект говорят такие сведения (рис. 6.9 и 6.10). Значения торцового биения рабочей поверхности маховика и дисбаланса сборочной единицы коленчатый вал – маховик находятся в допустимых пределах (заштрихованные поля графиков), соответственно, у 38,8 % и 42,2 % сборочных единиц из необезличенных деталей. В группе изделий из обезличенных деталей практически не встречаются сборочные единицы с допустимыми биением и дисбалансом. Таким образом, сохранение принадлежности комплекта деталей к ремонтируемому агрегату уменьшает объем обработки резанием и балансировки.

Сопоставление технологических и организационных признаков обезличенного и необезличенного методов ремонта агрегатов приведено в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Содержание отличающихся технологий, СТО и организаций при обезличенном и необезличенном ремонте агрегатов

Содержание отличительных мероприятий при внедрении методов ремонта		Источник экономического эффекта (+) или убытка (–) от внедрения необезличенного ремонта
обезличенного	необезличенного	
1	2	3
Разборка агрегатов		
Укладка деталей на подвески или в тару с учетом только их наименования	Укладка деталей на подвески или в тару с учетом их принадлежности к ремонтируемому агрегату	(–) Увеличение объема транспортной тары (–) Увеличение производственной площади для накопления комплектов деталей (–) Увеличение трудоемкости подготовки комплектов деталей

1	2	3
Очистка деталей		
Внедрение процессов очистки деталей с учетом только их наименования	Внедрение очистки комплектов деталей	(-) Увеличение количества очистного оборудования (-) Увеличение трудоемкости очистки
Определение технического состояния деталей		
Организация работ на специализированных постах	Организация работ на универсальных постах Назначение совокупности технологических воздействий, связанных со значениями износов деталей Нанесение клейм и меток на сопрягаемые детали	(-) Высокая квалификация сортировщиков, увеличение трудоемкости работ, учет деталей (-) Затраты труда на маркирование
Нанесение восстановительно-упрочняющих покрытий		
Средства и процессы по нанесению покрытий одной толщины, рассчитанных для компенсации наибольшего износа	Средства и процессы по нанесению покрытий толщиной, зависящей от значения износа	(+) Сокращение расхода энергии и материалов, уменьшение трудоемкости воздействий (-) Перемещение деталей комплектами
Обработка заготовок резанием		
Традиционные схемы базирования	Адаптивные схемы базирования Базирование по необрабатываемым поверхностям	(+) Повышение точности обработки, сокращение расхода энергии, уменьшение машинного времени (-) Увеличение площади под межоперационное хранение
Подготовка сборочных комплектов		
Подбор деталей из их множества на участке	Подбор деталей из сохраняемого комплекта	(-) Увеличение площади участка (-) Увеличение количества оргоснастки (+) Упрощение подбора по массе
Балансировка сборочных единиц		
Балансировка сборочных единиц, собранных из обезличенных деталей	Балансировка сборочных единиц из деталей, ранее входивших в комплекты	(+) Меньшая масса удаляемого металла, меньшая трудоемкость балансировки
Сборка двигателей		
Использование деталей всего ремонтного фонда	Использование деталей данного двигателя	(+) Повышение точности сборки (замыкающих размеров) (+) Уменьшение внутренних напряжений в деталях

Область эффективного применения организации необезличенного ремонта ограничена объемами 4,0...6,3 тыс. агрегатов в год.

Вопросы для самоконтроля

1. Как выбирают направления ресурсосбережения? 2. Какие принимают меры по снижению затрат на материалы? 3. Как планируют и организуют мероприятия по сбережению электрической и тепловой энергии? 4. Какую роль играет сбережение остаточной долговечности деталей ремонтного фонда? 5. Какие мероприятия обеспечивают полное использование остаточной долговечности деталей? 6. Какова роль необезличенного ремонта в снижении его себестоимости?

6.4. Охрана окружающей среды

При выпуске продукции одного вида и объема в ремонтном производстве образуется примерно в 20 раз меньше *отходов*, чем в машиностроении.

На изготовление одного коленчатого вала двигателя с рабочим объемом 4,8 л расходуют 57 кг металла и 183 МДж энергии, масса отходов при этом равна 2,5 кг.

Однако ремонтное производство должно исключить или свести к минимуму загрязнение почвы, водного и воздушного бассейнов своими отходами. Опасность окружающей среде представляют процессы очистки изделий, сварочные и наплавочные работы, нанесение электрохимических и лакокрасочных покрытий, плавление металла, переработка резины и пластмасс, обкатка машин, работа заводского транспорта, котельной и кузницы.

Лимит отходов, выбрасываемых в окружающую среду, устанавливается комитетом по охране природы. За это количество отходов предприятие платит экологический налог. Лимит отходов каждый год уменьшается.

6.4.1. Отходы предприятия

Отходы предприятия в зависимости от их агрегатного состояния делятся на газообразные, жидкие и твердые.

Газообразные вещества, выбрасываемые предприятием в атмосферу, состоят более чем из 40 наименований. В атмосферу уходят пыль различного химического и размерного состава, дым, сажа и копоть, аэрозоли масляные, сварочные и поверхностно-активных веществ, ароматические растворители, хромовый и сернистый ангидриды, хлориды водорода, оксиды углерода и азота, альдегиды и др. Запыленный воздух состоит из взвеси несмешивающихся друг с другом твердой дисперсной и газовой фаз.

Химический состав отходов зависит от вида исходных материалов и технологии их переработки. Примерное распределение отходов котельной, использующей жидкое топливо, следующее (% массы): сернистый ангидрид – 62, оксид углерода – 23, углеводороды – 6, диоксид азота – 5, твердые частицы – 1. Карбюраторные двигатели при обкатке выделяют свинец, бром и иногда фосфор из топлива и приработочных присадок. Технологические процессы основного производства дают около 13 % общей массы газообразных выбросов и аэрозолей, остальные выбросы обусловлены сжиганием топлива.

В ремонтном производстве в течение года образуется до 20 тыс. т нефтесодержащих сточных вод в виде отходов технологических процессов: разборочно-очистного, восстановления деталей, обкаточно-испытательного и других. Эти отходы представляют опасность для водного бассейна и почвы. В жидких стоках содержатся моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, СОЖ, промывочные жидкости и др. Сточные воды загрязняются минеральными маслами при разборке и очистке машин, агрегатов и деталей, термообработке деталей, обкатке двигателей, утечках масел из гидравлических систем, работе внутризаводского транспорта. Промышленные сточные воды по своему составу и свойствам значительно отличаются от исходного состояния, отражая разнообразие технологических процессов, в которых воды принимали участие. Содержание нефтяных фракций и взвешенных веществ в сточных водах достигает 1100 мг/л. Хотя растворимость минеральных масел в воде ничтожна, но устойчивые масляные эмульсии образуются в них за счет высокой дисперсности и наличия эмульгаторов. Плавающее масло в стоках – это результат низкой культуры производства, слабой его организации и плохого состояния оборудования.

На ремонтных предприятиях образуются также твердые и желеобразные отходы. Это, например, металлургические отходы, окалина, шлам, зола, древесина, пластмассы, резина, мусор и др. На каждом из ремонтных заводов ежегодно образуется 50...60 т твердых отходов, примерный состав которых следующий (% массы): твердые бытовые отходы – 18, прокладочные материалы – 16, древесные отходы – 15, резиновая обрезь – 13, ветошь обтирочная – 12, отработавший флюс – 10, шлифовальные отходы – 8, изношенные шины – 6, шлам гальванического производства – 1, шлам окрасочный – около 1.

6.4.2. Процессы и средства для обезвреживания отходов

Наиболее радикальная защита воздушного бассейна от производственных отходов – совершенствование технологических процессов. Загрязненные среды очищают химическими, физическими или механическими способами. В основу химических способов положено протекание каталитических реакций. Физические способы используют явления адсорбции и десорбции вещества, а механические – различие плотности и размеров составляющих и их агрегатного состояния. В результате этих процессов газы освобождаются от опасных соединений или эти соединения превращаются в неопасные вещества.

Наибольшее применение нашла механическая очистка газов от пыли, дыма и тумана в фильтрах и циклонах. Фильтры типа ФВГТ-1,1 задерживают 91...95 % взвеси, находящейся в газах. Очистка в циклонах происходит за счет вращательного движения потока взвеси, которое приводит к

перемещению дисперсных частиц к его периферии, а очищенный газ отбирают из центральной части этого потока.

Российское НПП “Экоюрус-Венто” выпускает оборудование, которое улавливает вредные вещества на неподвижных и подвижных рабочих местах и возвращает очищенный воздух в помещение. Образцы этого оборудования следующие.

Электростатические фильтры ФЭС очищают воздух от сварочного аэрозоля, масляного тумана и других мелкодисперсных частиц. Принцип работы фильтра (рис. 6.11) основан на том,

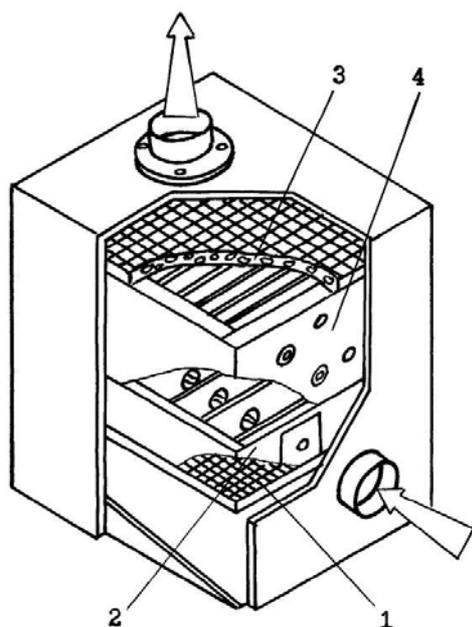


Рис. 6.11. Схема электростатического фильтра для очистки воздуха: 1 – предфильтр; 2 – ионизационная камера; 3 – кассета фильтрующая; 4 – камера осадительная

что находящиеся в воздухе вредные частицы размером 0,3...100 мкм твердых и жидких веществ заряжаются, проходя через ионизационную камеру 2, которая находится под напряжением около 12 кВ, а затем осаждаются на пластинах осадительной камеры 3, находящейся под напряжением примерно 6 кВ. Перед ионизационной камерой устанавливают фильтр грубой очистки 1 для улавливания крупных частиц и выравнивания воздушного потока, поступающего в ионизационную камеру. Осевшую пыль удаляют промывкой пластин осадительной камеры моющим раствором, после чего пластины сушат. Производительность очистки 1000...3000 м³/ч, степень очистки по твердой фазе сварочного аэрозоля 92...98 %, а по газообразной фазе (%): оксидов азота и углерода – 70, фтористого водорода – 80 и озона – 60.

Фильтро-вентиляционные агрегаты ФВА предназначены для удаления с рабочих мест загрязненного воздуха с последующей очисткой его от сварочного аэрозоля и других мелкодисперсных частиц. Производительность фильтра 1000 м³/ч.

Сорбционно-каталитические фильтры УЛОВ очищают газообразные выбросы с содержанием до 10 мг/м³ органических веществ (стирола, фенола, формальдегида и др.). В качестве фильтрующего материала применяют алюмохромфосфатный сорбент-катализатор. Фильтры обеспечивают очистку воздуха при комнатной температуре, а многократная и быстрая регенерация сорбента происходит за 30...40 мин при температуре 350...400 °С. Производительность фильтра 500, 1000 или 3000 м³/ч. Степень очистки по стиролу, метилстиролу, фенолу, формальдегиду, акролеину и метакрилату 80...90 %, а по уксусной кислоте, ацетальдегиду, винилацетату – 60...70 %.

Пылеулавливающие агрегаты ПУА очищают воздух от пыли и масляного тумана при работе шлифовального оборудования. Производительность фильтров 1000 м³/ч, степень очистки 88...98 %, пылеемкость фильтрующего элемента 3 кг.

Водяные экраны в окрасочных камерах с гидрофильтрами осаждают окрасочные аэрозоли. Препятствием для испарения электролитов в гальванических ваннах служат плавающие полиэтиленовые шарики-поплавки на поверхности среды.

Большой объем выбросов в атмосферу дают заводские котельные. Перевод заводской котельной на сжигание газообразного топлива вместо мазута исключает в продуктах сернистый ангидрид, что существенно снижает объем выбросов и размер экологического налога.

Воду для жизнедеятельности производства берут из рек, водохранилищ, озер или из-под земли. Подземные воды наиболее чистые, однако запасы их небольшие, а добыча требует больших затрат энергии.

Основные направления снижения сбросов загрязненных сточных вод заключаются в уменьшении расхода воды на единицу продукции и в создании систем оборотного водоснабжения.

Водяные стоки предприятия могут быть сброшены в водоемы в том случае, когда ПДК вредных веществ не превышают значений, приведенных в табл. 6.7.

Таблица 6.7

ПДК вредных факторов в сточных водах предприятия

Вредные факторы	ПДК
Эквивалент биологического потребления кислорода БПК ₅	4,5 мг/л
Взвешенные вещества (приращение к естественному содержанию)	+ 0,75
Нефтепродукты	0,3 мг/л
Сухой остаток	1000 мг/л
Хлориды	350 мг/л
Сульфаты	5000 мг/л
ПАВ	0,5 мг/л
pH	6,5...8,5

Воды, предназначенные для дальнейшего применения или сброса, должны пройти механическую, химическую, биохимическую, термическую или другого вида обработку. Механическая очистка, в свою очередь, включает процеживание, отстаивание и фильтрование.

Процеживание, как правило, применяют для предварительной очистки жидких сред с целью отделения крупных твердых и волокнистых загрязнений. Процеживание ведут через решетки и сетчатые корзины, которые быстро засоряются задерживаемыми загрязнениями.

Отстаивание применяют как пассивный способ очистки жидких сред. При этом способе затруднено удаление осевших минеральных взве-

сей и всплывших нефтепродуктов. Отстаивание раствора необходимо в оборудовании для очистки машин. Первая ступень очистки загрязненных вод происходит на цеховых очистных сооружениях, а вторая – на очистных сооружениях предприятия. Чтобы исключить залповые выбросы нефтесодержащих вод, на очистных сооружениях вместо выходных перегородок применяют сифоны. Нефтепродукты с зеркала очищаемых вод периодически собирают, а затем после дополнительного отстаивания и эмульгирования направляют на сжигание в котельную. Очистные сооружения для производственно-ливневых сточных вод требуют своего совершенствования, чтобы довести содержание нефтепродуктов и взвешенных веществ в водах до требуемых нормативов.

Растворы для очистки точных деталей фильтруют. Фильтровальные перегородки выполняют из сеток, тканей или бумаги, между которыми помещают слои фильтровальных материалов. В качестве этих материалов применяют целлюлозу, трепел, зернистые слои песка, угля, диатомита, слои синтетических и природных волокон, пористые перегородки из шамота, кварца, спекшегося стеклянного или металлического порошка.

Центробежное фильтрование производят в гидроциклонах или центрифугах. Для осаждения твердых включений применяют напорные гидроциклоны, а для удаления всплывших загрязнений и их осаждения – открытые безнапорные.

Способ ультрафильтрации получил распространение для разделения эмульсий как процесс фильтрования раствора через полунепроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое. Мембрана в таком случае пропускает молекулы растворителя, задерживая растворенное вещество. В процессе нет фазовых переходов, что позволяет вести процесс с небольшим расходом энергии при комнатной температуре. Конструкция фильтра простая. Недостатки процесса – небольшие производительность и срок службы мембраны, необходимость поддержания в полости мембраны повышенного давления и предварительной очистки раствора.

Коагуляция сопровождается укрупнением частиц загрязнений и выпадением из коллоидного раствора хлопьевидного осадка. Лучшими коагулянтами являются железный купорос и гашеная известь.

Флотация основана на прилипании частиц загрязнений к воздушным пузырькам, переводе их в пенный слой и удалении этого слоя. Флотацию применяют для удаления из сточных вод нерастворимых эмульгированных примесей, например, масел, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. Глубина и время очистки зависят от исходной концентрации нефтепродуктов и взвесей, а также дисперсности пузырьков воздуха. Однако вместе с загрязнениями удаляются и поверхностно-активные вещества.

Технологические машины, реализующие способы отстаивания, коагуляции и флотации загрязненных сред, применяют для создания цеховых пунктов регенерации очистных растворов.

Сравнение между собой способов регенерации отработавших сред (отстаивания, коагуляции, флотации, ультрафильтрации с предварительным осветлением и самоочищающимися механическими фильтрами) по технологическим затратам на суточный объем отработавшего вещества ремонтного завода дает такие результаты (рис. 6.12). При значениях объемов ремонта до 6,3 тыс. агрегатов в год наибольшие затраты связаны с применением коагуляции и флотации. При увеличении объемов ремонта свыше 6,3 тыс. агрегатов год наименее эффективным способом становится отстаивание. Соотношение результатов объясняется недостаточным использованием мощности оборудования для коагуляции и флотации и несовершенством процесса отстаивания, связанного с малой производительностью и большими габаритами оборудования.

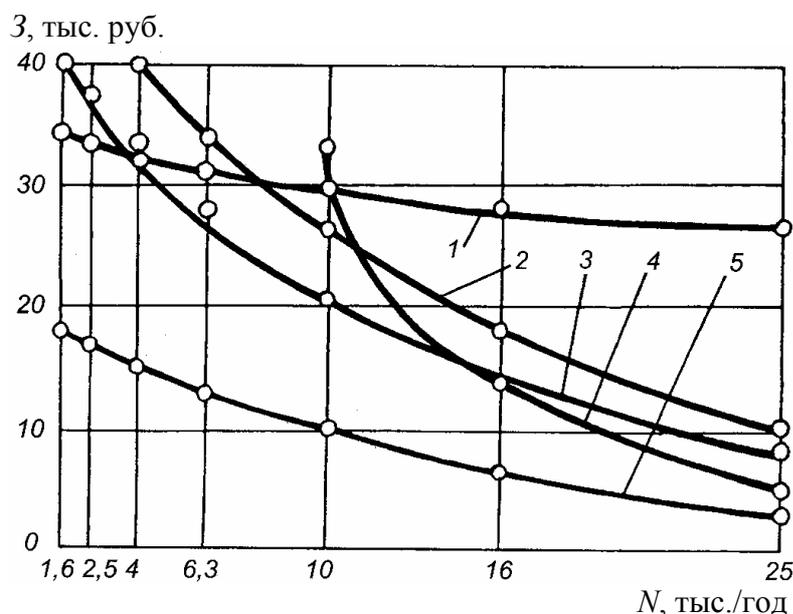


Рис. 6.12. Зависимости затрат Z на очистку растворов от годового объема ремонта N различными способами: 1 – отстаиванием; 2 – коагуляцией; 3 – флотацией; 4 – ультрафильтрацией с предварительным осветлением; 5 – самоочищающимся фильтром

Способ ультрафильтрации становится эффективнее коагуляции и флотации, начиная с объемов ремонта примерно 10 тыс. агрегатов в год.

На всем рассматриваемом отрезке объемов ремонта затраты на флотационный процесс меньше затрат на коагуляцию, что объясняется меньшими затратами на вспомогательные материалы при флотации.

Наиболее эффективны самоочищающиеся фильтры (кривая 5), которые ведут непрерывную очистку раствора с выделением твердой и жидкой фаз при непрерывной работе очистного оборудования. Производительность фильтров должна соответствовать объемам очищаемого вещества и интенсивности его загрязнения.

Химические способы основаны на обработке сточных вод химическими реагентами. Вредные вещества в результате реакций нейтрализации,

окисления или восстановления переходят в нетоксичные продукты или выпадают в осадок, который отделяется механическими способами.

Отработавшие очистные растворы нейтрализуют реагентным методом до рН 6,8...8,5 непосредственно в очистных машинах в следующей последовательности. Измеряют концентрацию щелочи или кислоты в растворе и его объем. Рассчитывают массы нейтрализующего вещества и реагента. Подают нейтрализующее вещество при помощи кислотостойкого насоса в отработавший раствор. Для нейтрализации щелочных растворов применяют серную или соляную кислоты, а для кислотных растворов – едкий натр, кальцинированную соду и 10 %-ный раствор бисульфита натрия. В течение 10 мин производят перемешивание раствора, например, с помощью поступающего в раствор сжатого воздуха. Водородный показатель среды определяют с помощью универсальной индикаторной бумаги. Длительность осветления 1,5...2,0 часа.

Физико-химические методы основаны на массообменных процессах адсорбции и десорбции. Они требуют дорогих реагентов и сложного оборудования, поэтому не нашли в ремонтном производстве широкого применения при очистке стоков от небольших количеств токсичных веществ.

Биохимическая очистка воды происходит в железобетонном бассейне, в котором разведены колонии бактерий. В бассейн непрерывно подают воздух. Пищей для бактерий служат органические вещества, содержащиеся в стоках. Массы ожиревших бактерий отделяют от стоков и используют как удобрения.

Отстоявшуюся воду после очистки применяют повторно или сливают в заводскую канализацию, осадки шлама утилизируют.

Стоки с большим содержанием органических соединений сжигают вместе с мазутом в паровых котлах. При этом получают нетоксичные газообразные продукты и твердый осадок. Сжигание сильно обводненных горючих отходов нефтепродуктов (18 % воды) с мазутом при равномерном распределении воды по всему объему материала в котле ДКВР-10-13 обеспечивает снижение выбросов токсичных веществ по сравнению с их количеством при сжигании печного топлива. КПД отопительных котлов малой мощности повышается на 3...5 %. Достигнуто уменьшение сажи на 85...90 %, оксида углерода и углеводородов – на 75...80 % и оксидов азота – на 40...45 %. Горючие добавки в виде вторичного энергоресурса из нефтяных фракций сточных вод позволяют уменьшить потребление мазута на 3...5 %. Отработавшие масла также служат топливом для котельных агрегатов. Сжигание гидрофобной эмульсии мазут – масло – вода снижает до 15 % расход мазута на обогрев технологических сред.

Серьезную опасность окружающей среде представляют отходы гальванического производства. Его сточные воды из ванн химической и электрохимической обработки и нанесения покрытий содержат различные токсичные химические соединения – свободные минеральные кислоты и ще-

лочи, соединения шестивалентного хрома и др. Вещества проходят ионообменную очистку с образованием смешанных кристаллов и химических неактивных соединений.

Ионообменные (катионитовые и анионитовые) фильтры применяют для очистки стоков гальванического производства с созданием замкнутых систем водопользования. Они не только очищают кислотные и щелочные стоки от ионов тяжелых металлов, но и значительно снижают общее содержание солей в стоках.

Промышленную очистку стоков от ионов тяжелых металлов, соединений шестивалентного хрома, кислот и щелочей обеспечивает автоматизированная установка РВК 50-032М, основное назначение которой – обезвреживание отходов гальванического и очистного участков. Установка включает блоки сбора сточных вод и концентратов, отделения загрязнений, приготовления коагулянта и обезвоживания осадка. Блоки взаимодействуют друг с другом посредством системы трубопроводов и насосных агрегатов. Имеется пост управления. Основу установки составляет реактор-акселератор (рис. 6.13), в котором происходит восстановление шестивалентного хрома, превращение ионов тяжелых металлов в нерастворимые гидроксиды, нейтрализация кислот и щелочей и коагуляция гидроксидов. Реактор-акселератор включает камеры реакции 1, флокуляции 2 и фильтрации 3.

Отходы нейтрализуют с помощью коагулянта – гидрата закиси железа $FeOH$, получаемого из стальных отходов путем электролиза. Щелочь или кислоту применяют для корректировки величины рН, а 16 %-ный раствор полиакриламида – как флокулятор. В камеру 1 подводят сточные воды, реагенты, а также рециркулируемые воды из камеры 2. Последняя разделена перегородкой 4 на две камеры: флокуляции *a* и отстойную *б*. В камере *a* установлен флокулятор 5, а в камере *б* – отражательный фильтр 6 и тонкослойный отстойник 7. Фильтр 6 заполнен вспененным полистиролом марки ПСВ или ПСВ-С. Камера фильтрации 3 служит для финишного отделения взвесей гидроксидов из обезвреженной воды при прохождении ее через слой вспененного полистирола толщиной 0,8...0,9 м.

Процесс обезвреживания стоков начинается еще в сливном трубопроводе, в котором соединения шестивалентного хрома вместе с кислотными и щелочными отходами, ионами двухвалентного железа преобразуются в соединения трехвалентного хрома и гидроксидные соединения. Процесс продолжается в камере реакций 1, в которой составляющие при интенсивном перемешивании взаимодействуют между собой. Состав перетекает через патрубок 6 в камеру флокуляции 2, а затем в камере 3 выделяются взвешенные гидроксиды.

В производство возвращают до 70 % обезвреженной воды. Желеобразные обезвреженные отходы используют в производстве строительной керамической плитки.

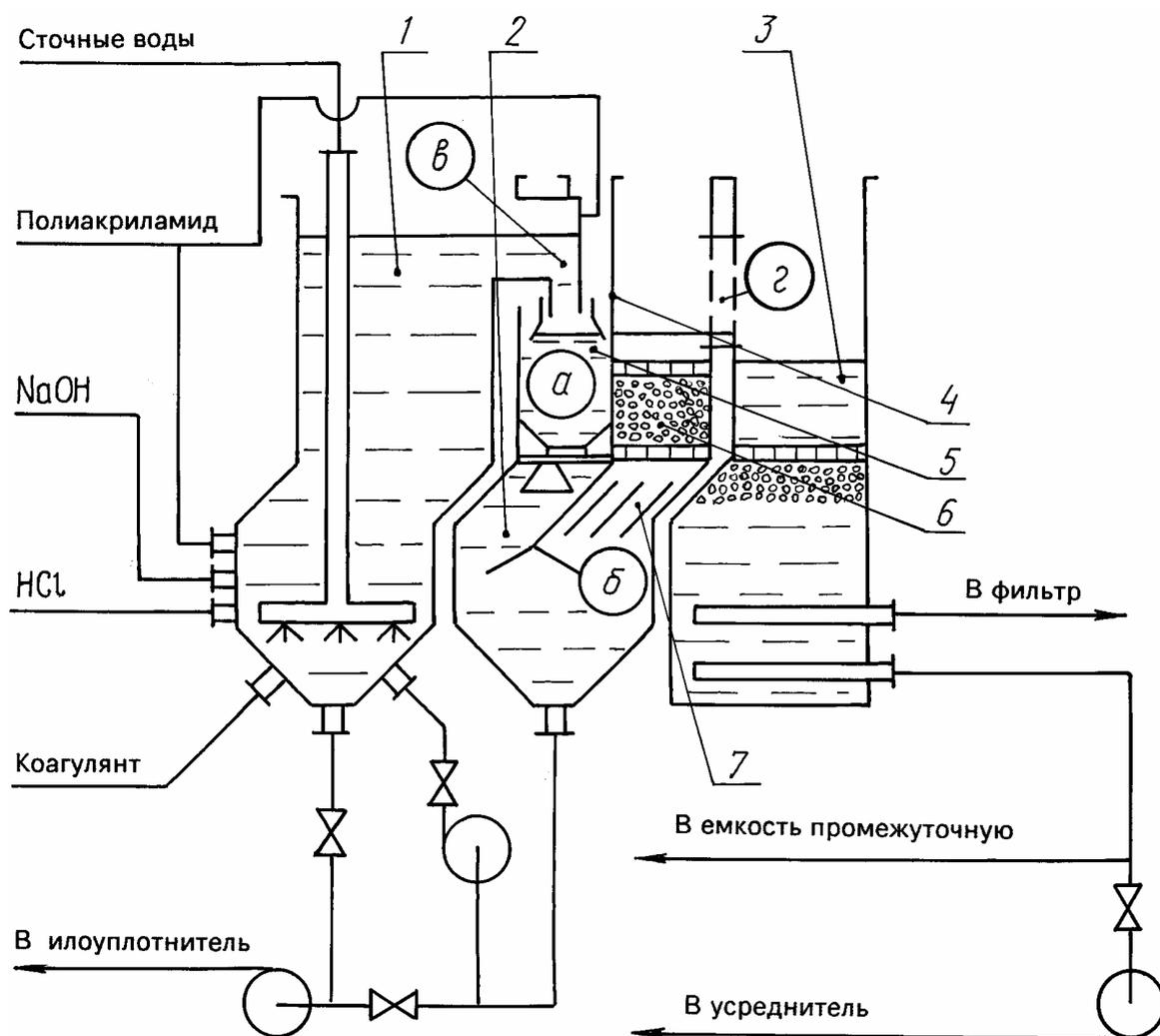


Рис. 6.13. Схема установки для обезвреживания отходов гальванического производства: *a* – зона флокуляции; *б* – зона отстаивания; *в* – патрубок подачи жидкости; *г* – окно; 1 – камера реакций; 2 – камера флокуляции; 3 – камера фильтрации; 4 – перегородка; 5 – флокулятор; 6 – фильтр отражательный; 7 – отстойник тонкослойный

Проблема использования или обезвреживания твердых отходов достаточно актуальна, поскольку в регионах нет специализированных полигонов и технологий переработки. Часть отходов вывозится на полигоны твердых бытовых отходов для хранения, а другая часть – используется населением в качестве топлива. Полигонный метод хранения отходов является вынужденной и неэффективной мерой.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается важность охраны окружающей среды? 2. Что представляет опасность окружающей среде? 3. Какие процессы и средства применяют для обезвреживания отходов производства? 4. Какие процессы основного производства ремонтного завода подлежат совершенствованию с целью уменьшения опасности для окружающей среды?

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Анализ организации ремонтного завода и предложения по ее совершенствованию.
2. Организация производства в пространстве и во времени.
3. Организация поточного производства, условия и эффективность его внедрения.
4. Определение резервов производства расчетом производственной мощности его рабочих мест.
5. Нормирование расхода производственных ресурсов в повышении эффективности производства.
6. Анализ технической нормы времени на операцию и меры по ее уменьшению.
7. Анализ качества ремонта машин и меры по его улучшению.
8. Роль системы качества ремонта машин в повышении эффективности производства.
9. Основные принципы современной системы качества.
10. Роль ресурсосбережения в повышении эффективности ремонтного производства.
11. Нормирование расхода производственных ресурсов.
12. Анализ отходов ремонтного производства.
13. Мероприятия по охране окружающей среды.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- содержание, принципы и критерии организации ремонтного производства;
- условия организации поточного производства;
- метод расчета производственной мощности участка по производительности основного оборудования и производственной площади;
- санитарные нормы на рабочих местах;
- структуру производственных ресурсов предприятия и их нормирование;
- принципы оценки качества промышленной продукции;
- современную систему качества промышленной продукции;
- принципы разработки системы качества;
- проблему ресурсосбережения ремонтного предприятия;
- меры по сбережению остаточной долговечности деталей ремонтного фонда;
- организацию необезличенного ремонта и состав сохраняемого комплекта деталей;

- структуру отходов производства и их влияние на окружающую среду;

- меры по исключению загрязнения окружающей среды.

Студент должен уметь:

- выполнять технологические расчеты поточного производства;
- рассчитывать производственную мощность участков ремонтного производства;

- уравнивать производственные мощности рабочих мест и участков;

- выполнять расчеты по нормированию материалов и энергии;

- составлять политику качества;

- разрабатывать корректирующие и предупреждающие мероприятия;

- выбирать направления ресурсосбережения;

- назначать состав сохраняемого комплекта деталей при необезличенном ремонте агрегатов;

- назначать мероприятия по охране окружающей среды.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Знания студентов оценивает преподаватель на основании собеседования по результатам выполнения практических занятий и ответов на вопросы, поставленные в конце изучаемых тем.

Для высокой оценки знаний необходимо знать:

- определение, оценочные параметры и ограничения организации ремонтного производства;

- организацию поточного производства;

- порядок расчета производственной мощности и способы уравнивания производственной мощности предприятия и его частей;

- содержание системы качества ремонта машин;

- ресурсосбережение в ремонтном производстве и его экологическую безопасность.

7. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

7.1. Ремонт за рубежом

Литературные сведения и отчеты специалистов, которые изучали на месте зарубежный ремонт машин, свидетельствуют о том, что он выполняется на большом числе предприятий в больших объемах и является эффективным. Изучение структуры зарубежных ремонтных предприятий, их организации, применяемых материалов, технологических процессов и оборудования способствует внедрению прогрессивных технических решений в отечественное производство и повышению его технического уровня.

7.1.1. Предприятия и участки по ремонту машин и восстановлению деталей

Только в США более 120 тыс. ремонтных предприятий различной мощности, из которых 50 тыс. специализированы по ремонту автомобилей. Из числа приведенных 25 тыс. предприятий ремонтируют кузова, 3 тыс. – электрооборудование, 7,5 тыс. – заняты восстановлением отдельных деталей. На одном предприятии в среднем работает 15...20 человек. На крупных предприятиях выполняют около 29 % объемов капитального ремонта агрегатов, на мелких – около 33 %.

Фирма Northwest Motor Welding (Лос-Анджелес) проводит капитальный ремонт автотракторных двигателей фирм Cummins, Caterpillar и др., выпускаемых в США и других странах. Применение современного производственного очистного, диагностического и обрабатывающего оборудования (в т.ч. обрабатывающих центров) и эффективной восстановительной технологии позволяет производить необезличенный капитальный ремонт техники в короткие сроки (до 14 дней) при достаточно низкой стоимости. Двигатели ремонтируют не более одного раза в течение их срока службы. Отмечается, что их послеремонтная наработка не ниже наработки новых двигателей, а иногда и превышает ее на 5...10 %. Кроме основного завода фирма имеет еще 10 филиалов в других городах.

В Чикаго имеется специализированный завод фирмы International Harvester для ремонта тракторных агрегатов. На нем работают 200 человек. В цехе ежегодно ремонтируют свыше 2 тыс. двигателей, 30 тыс. карбюраторов, 25 тыс. сцеплений, 20 тыс. водяных насосов. Кроме того, восстанавливают 3 тыс. коленчатых валов. Детали восстанавливают на поточных линиях. Стоимость восстановления составляет 20...25 % от стоимости новых деталей, а ресурсы их равны. Опыт фирмы получает все большее распространение, так как приносит значительную прибыль.

Завод в Шуази-Ле-Руа (Франция) выполняет в год до 80 тыс. капитальных ремонтов двигателей автомобилей Renault. Двигатели разбирают, комплектуют и собирают на специальных подвесках. Разборка и сборка

организована на постах непоточным методом. Организована двухстадийная очистка двигателей перед разборкой и четырехстадийная очистка деталей. Рабочие поверхности деталей восстанавливают способом ремонтных размеров, при этом совершенно не применяют наплавку восстанавливаемых поверхностей. Сборкой двигателей управляют со специального пульта, что обеспечивает ритмичную подачу любых сборочных единиц на сборочные позиции.

Фирма Daimler-Benz (Германия) имеет четыре завода по необезличенному капитальному ремонту двигателей. Разборку, комплектование деталями и сборку каждого двигателя ведут на одной подвесной транспортируемой раме. Приборы питания и электрооборудования отправляют для специализированного ремонта на предприятия, которые их изготовили. На заводе в Маннгейме ежегодно ремонтируют 15 тыс. дизельных двигателей после их пробега 300...500 тыс. км. Ресурсосберегающие способы ремонта с упрочнением восстанавливаемых деталей обеспечивают отремонтированным двигателям ресурс, равный ресурсу нового двигателя. Стоимость ремонта составляет 70 % от стоимости нового двигателя при условии сдачи покупателем изношенного агрегата. Если покупатель не передает фирме изношенный двигатель, то стоимость агрегата составляет 90 % стоимости нового двигателя. Фирма считает, что она производит не ремонт, а сборку новых двигателей с использованием деталей, бывших в эксплуатации.

В Великобритании на специализированных агрегатно-ремонтных предприятиях выполняют основной объем по восстановлению деталей. На заводе London Transport Board ремонтируют более 15 видов агрегатов, а также узлы грузовых автомобилей и автобусов. Ежегодно ремонтируют по 2 тыс. двигателей, коробок передач, передних и задних мостов, рулевых управлений и др. Особенность ремонта заключается в тщательном определении технического состояния ремонтного фонда, использовании маршрутной технологии восстановления деталей, обязательном предсборочном их контроле, использовании современных контрольно-измерительных средств. Все это обеспечивает высокое качество отремонтированных агрегатов. Так же организовано производство на другом специализированном авторемонтном заводе, принадлежащем фирме London Transport Cheerweek Works. Стоимость отремонтированного двигателя составляет 60 % цены нового изделия, коробки передач – 25 %, заднего моста – 30 % при 90 %-ном ресурсе.

Большое значение уделяют восстановлению таких дорогостоящих, металлоемких и массовых деталей, как блоки цилиндров двигателей, коленчатые валы, катки, звенья гусениц, направляющие колеса. Номенклатура деталей непрерывно расширяется и охватывает те детали, которые определяют ресурс отремонтированного агрегата. Восстановление деталей

характеризуется высоким техническим уровнем применяемого оборудования (высокоточные станки с программным управлением, автоматизация процессов восстановления и контроля деталей) и качеством материалов, используемых для нанесения покрытий. Это обеспечивает высокое качество восстановления деталей, позволяет фирмам нести полную ответственность за надежность машин с восстановленными деталями, выдерживать конкурентную борьбу на рынках сбыта продукции. Многие фирмы создали поточные линии восстановления деталей на своих ремонтных заводах.

Существуют и узкоспециализированные прибыльные фирмы. Фирма United Grinding восстанавливает стальные и чугунные коленчатые валы с использованием газопламенного напыления порошков. Стоимость восстановления одного кулачка составляет около 1 долл. Цена нового распределительного вала – 22...30 долл., покупная цена изношенного – 4...5 долл., поэтому стоимость восстановленного вала не превышает 50 % стоимости нового изделия.

Восстановление деталей является экономически выгодным делом во многих развитых странах. Так, на металлургическом заводе фирмы Von Roll (Швейцария) на протяжении 20 лет успешно восстанавливают детали металлургического оборудования, авиакомпания Istery Airlines (США) организовала восстановление деталей реактивных двигателей.

Расширение номенклатуры восстанавливаемых деталей – одно из направлений деятельности фирм, производящих сельскохозяйственную и дорожно-строительную технику и грузовые автомобили. Так, на одном из крупных предприятий компании Caterpillar создан специализированный участок для восстановления с применением наплавки деталей ходовой части тракторов. На нем ежегодно восстанавливают более 1500 полотен гусениц. Здесь же организовано восстановление поддерживающих роликов. Гарантируют ресурс не ниже ресурса нового изделия.

В Японии восстановлением деталей занимается фирма Maruma. Она разрабатывает оборудование и процессы для восстановления деталей гусеничных машин. Например, фирма разработала и применяет установку для наплавки катка и направляющего колеса под слоем флюса без разборки изделия при непрерывной подаче охлаждающей жидкости внутрь его через отверстие в валах.

Специализация и концентрация восстановления деталей, развитие кооперации между предприятиями и фирмами способствуют созданию поточно-механизированных линий. В некоторых странах существуют корпорации, специализированные на восстановлении деталей. Примером служит швейцарская фирма Castolin Utectic с дочерними предприятиями в США, Германии и других странах. На 34 заводах в различных странах организовано восстановление и упрочнение деталей по технологиям, разработанным

ным в исследовательском центре. В этом центре работают около 2 тыс. специалистов, силами которых выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разрабатываются технологические процессы и оборудование. В состав фирмы входят заводы, изготавливающие СТО и выпускающие сварочно-наплавочные материалы.

Выставки в Телфорде (Великобритания), организованные Federation of Engine Remanufacturers с целью показа ремонта двигателей Cummins, Detroit Diesel, Perkins и восстановления их деталей, показали, что сфера ремонта превратилась в высокоорганизованное производство. На выставках было представлено оборудование для нанесения покрытий и обработки различных деталей двигателей и их сборки, холодной правки коленчатых валов, регулировки топливной аппаратуры и осмотра поверхностей закрытых мест с их фотографированием. Сообщается, что некоторые фирмы, выпускающие новые двигатели (например, фирма Gardner), занимаются их ремонтом, а высокого качества добиваются за счет внедрения новейших технологий.

Многие крупнейшие производители техники (фирмы John-Dir, Caterpillar, Kaise, Massey Fergusson, Klaas, Fiat, Volvo BM, Misubisy, Kamatsu и др.) первоочередное внимание уделяют проблеме упрочнения деталей на стадии изготовления машин, что проявляется в показателях их надежности, на порядок превышающих (особенно по наработке на отказ) значения этих показателей у отечественных машин.

7.1.2. Применяемые материалы и технологические процессы

За рубежом большое внимание уделяют организации и технологии восстановления деталей, постоянно увеличивают ассигнования на разработку новых способов и оборудования.

Широко применяют полимеры. В США внедрена технология восстановления изношенных поверхностей поршней и гильз напылением полимерного покрытия – тефлона. Например, восстановленные соединения 35 дизельных двигателей тепловозов эксплуатировались более 26 месяцев. Проверка после этого срока показала, что двигатели находились в работоспособном состоянии. Новая технология на 30 % дешевле хромирования. Отмечено снижение расхода топлива.

Из полимерных материалов и клеев составляют различные комплекты для проведения ремонтных работ в эксплуатационных условиях. Однокомпонентные анаэробные пластмассы применяют для стопорения резьбовых деталей.

Для закрепления ДРД в виде зубчатых венцов используют электронно-лучевую сварку, глубина сварного шва при этом достигает 10 мм. С помощью электронного луча упрочняют рабочие поверхности клиноременных шкивов.

Широко применяют пластическое деформирование материала, например, для восстановления размеров фасок клапанов, звездочек сельскохозяйственных машин и верхних канавок поршней под поршневые кольца. Для повышения усталостной прочности восстанавливаемых деталей применяют дробеструйную обработку. Применяют как традиционную поперечную, так и ротационную правку. Восстановленные наплавкой валы имеют большее рассеяние значений усталостной прочности, чем новые. Дробеструйная обработка галтелей валов повышает их усталостную прочность, а также уменьшает разброс ее значений.

Коленчатые валы правят сразу после наплавки, используя тепло остывающей заготовки, что облегчает сам процесс правки и уменьшает внутренние напряжения в материале детали. Добиваются биения коренных шеек не более 0,1 мм. Время определения усталостных трещин, предварительной механической обработки, правки, шлифования и полирования деталей составляет 5...6 ч.

При восстановлении шеек коленчатых валов применяют их вибродугую наплавку в среде диоксида углерода проволокой DUR-650 (Германия) диаметром 1,2 мм состава (%): С – 0,36; Cr – 5,1; Mo – 1,4; W – 1,15; V – 0,4; Si – 0,75; Mn – 0,40; S и P – по 0,025 (не более); Cu – 0,2; Fe – остальное. Режим наплавки: сила тока 110 А, напряжение 19 В, скорость подачи проволоки 2 м/мин, частота вибрации электрода 75...80 Гц, частота вращения заготовки $2,5 \text{ мин}^{-1}$, подача проволоки 2,5 мм/об.

Расширяется область применения плазменной наплавки, которая развивается за счет увеличения производительности и номенклатуры используемых порошков. Одно из направлений совершенствования процесса заключается в подогреве наплавочных проволок (рис. 7.1). Проволоки подаются в плазменную дугу, подогретые до температуры, близкой к температуре плавления, независимым источником питания переменного тока. Использование такого источника уменьшает влияние магнитного поля на сварочную дугу, генерируемую током, протекающим по проволокам. Такая схема позволяет гибко управлять наплавкой. С помощью основного источника

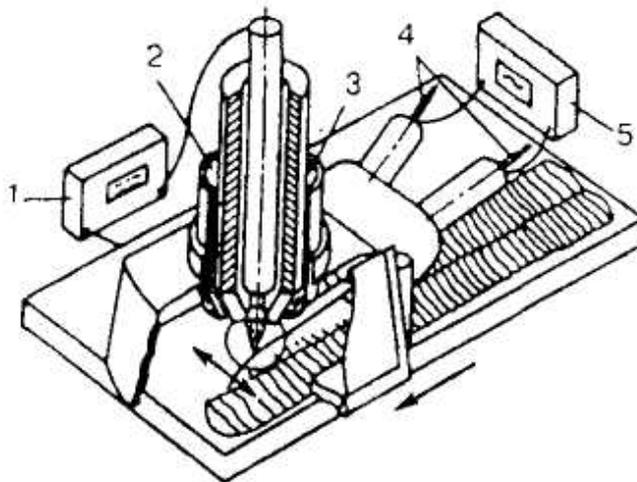


Рис. 7.1. Схема устройства для плазменной наплавки горячей проволокой: 1 – источник питания; 2 и 3 – полости для подачи защитного и плазмообразующего газов; 4 – наплавочные проволоки; 5 – источник подогрева проволок

постоянного тока регулируют мощность дуги, а посредством ее – провар основы и форму наплавленного металла. Вспомогательный источник переменного тока позволяет изменять интенсивность плавления проволок. Производительность плазменной наплавки с подогревом материала достигает 40...50 кг/ч, уступая наплавке под слоем флюса широкой лентой или несколькими проволоками.

В использовании материалов для плазменной наплавки прослеживается следующая тенденция: кобальтовые сплавы заменяют никелевыми, а последние, в свою очередь, – сплавами на железной основе для снижения стоимости материала. Иногда приводят доводы экологического характера, считая, что кобальт и никель относятся к канцерогенным веществам.

Применяют электроконтактное нанесение электрохимических покрытий из электролита состава (г/л): сульфат никеля ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 250, хлорид натрия (NaCl_2) – 42, борная кислота (H_3BO_3) – 45, сульфат железа ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 16,4, нитрат натрия (NaNO_3) – 10, сахарин – 4. Режим работы: частота вращения анода 100 мин^{-1} , катодная плотность тока 5 А/дм^2 , температура электролита $40...50 \text{ }^\circ\text{C}$, время нанесения покрытия 60 мин. Железоникелевый сплав содержит 18...25 % железа, твердость покрытия составляет 225...250 НВ. Скорость его нанесения в 3 раза выше, чем при ванном способе.

Детали после напыления проходят дробеструйную обработку частицами корунда размером 1 мм. Это необходимо для снятия внутренних напряжений, удаления защитного слоя жидкого стекла и контроля качества поверхности.

При растачивании восстанавливаемых гильз цилиндров широко используют резцы из искусственных алмазов.

Детали динамически балансируют на трехопорных стендах, которые позволяют уравнивать валы, состоящие их двух частей.

Используют термопластическое деформирование заготовок, которое создает остаточную деформацию материала, что в свою очередь приводит к увеличению или уменьшению размеров изношенных деталей на $0,1...0,2 \text{ мм}$ в зависимости от толщины их стенок. При этом исключают термическую или химико-термическую обработку, поскольку обезуглероживание поверхности не происходит.

7.1.3. Особенности зарубежного ремонта

Номенклатура восстанавливаемых деталей в промышленно развитых странах непрерывно расширяется.

Доля восстанавливаемых деталей в общем объеме потребления запасных частей достигает в Японии 40 %, США, Великобритании, Германии – 30...35 %. В СССР эта доля в 1985 году была 17,8 %, в России в 2000 году она составляла 8,0 %.

Интерес представляет организация сбора изношенных деталей. Используют три ее формы:

– силами широкой сети дилеров. Дилеры создают стимул для сдачи деталей владельцами техники на восстановление тем, что при продаже запасных частей или узлов снижают цены на 20...25 %. Такая форма широко распространена в США и Германии;

– путем обмена отказавших или требующих ремонта агрегатов на новые или отремонтированные, при этом простой машин минимальные. Весь ремонтный фонд остается на специализированных предприятиях и используется для восстановления деталей. Такую форму организации применяют ремонтные заводы компаний Lucas & Parkins (Англия), Bosch (Германия) и Baerliette (Франция);

– путем продажи мелкими ремонтными предприятиями изношенных дорогостоящих деталей, годных для восстановления, крупным специализированным заводам. Для многих небольших ремонтных предприятий это мероприятие выгодно. Например, на территории бывшей ФРГ коленчатые валы восстанавливают только на трех специализированных предприятиях.

Особенностями ремонта двигателей за рубежом является сокращение доли процессов создания ремонтных заготовок с тепловложением в материал восстанавливаемых деталей, ограничение количества ремонтов агрегатов одним капитальным ремонтом за весь срок его службы, высокая технологическая дисциплина и широкое применение средств диагностирования.

Имеет место уменьшение доли всех видов электродуговой наплавки в объеме восстановительных работ, увеличение объемов плазменной наплавки, различных видов напыления, электрофизических способов и использования полимеров.

На примере работы фирмы Deimler Benz (Германия) видно, что ремонт дизелей организуют необезличенным методом с учетом технического состояния деталей. Если их износы и деформации невелики, то восстановление организуют механической обработкой с минимальными припусками под ремонтные или номинальные размеры. Отверстия в разъемных сборочных единицах (блоках цилиндров, шатунах) вначале восстанавливают путем фрезерования плоскостей разъема и последующего растачивания отверстия. Особое внимание уделяют определению усталостных трещин, при наличии которых детали заменяют новыми. Стыковые поверхности шлифуют со снятием припуска 0,10...0,15 мм. Нанесение покрытий применяют только при больших износах и деформациях, трудно устранимых правкой. Опорные шейки распределительных валов и трущиеся цилиндрические поверхности толкателей, которые практически не изнашиваются, при восстановлении не обрабатывают. Втулки распределительного вала заменяют.

Торцы толкателей клапанов шлифуют и упрочняют азотированием. При шлифовании шеек валов применяют приборы активного контроля Mapross.

При восстановлении валов используют их правку. Широко применяют наплавку порошковыми материалами. Контролируемая наплавка тонких покрытий обеспечивает небольшой нагрев материала заготовки. Средства механизации и автоматизации процессов уменьшают трудоемкость работ. В странах восточной Европы широко применяют электродуговое напыление, в том числе для восстановления коленчатых валов двигателей 4VD и 6VD и советских двигателей Д-50 и ЯМЗ-238. В качестве материала для подслоя используют стальную проволоку марки 45CrSi34 (DUR-300) диаметром 1,6 мм, которая обеспечивает прочность соединения 17...21 МПа. Основной слой напыляют из проволоки 110MnCrTi8 (DUR-600) диаметром 1,6 мм, обеспечивающей высокую износостойкость (микротвердость около 7,25 ГПа).

Вопросы для самоконтроля

1. Верно ли то, что за рубежом ремонта нет, а машины без ремонта утилизируют? 2. Охарактеризуйте систему зарубежных фирм и предприятий, занимающихся ремонтом техники. 3. Какие отличительные признаки зарубежного ремонта? 4. Какие новые материалы и технологические процессы применяют за рубежом?

7.2. Совершенствование специализации, структуры и организации ремонтного производства

7.2.1. Маркетинговые исследования рынка продукции и услуг

Маркетинг – это изучение спроса на ремонт техники и влияния качества ремонта и технического сервиса на объемы реализации продукции. Один из видных идеологов маркетинга, профессор Ф. Котлер определил маркетинг как вид деятельности, направленной на удовлетворение нужд и потребностей общества путем обмена.

Задачи маркетинга – комплектование портфеля заказов, налаживание товародвижения и сбыта продукции, ориентированной на запросы потребителей.

В основу концепции маркетинга положены идеи удовлетворения нужд и потребностей потенциальных потребителей. Она возникла в ответ на усложнение сбытовой деятельности в условиях наращивания объемов выпуска продукции. Ранее имело место приоритетное положение производителя по отношению к потребителю. Рынок такого типа получил название “рынок продавца”. В этом случае сначала производился товар, а затем шли активные поиски его потребителя и методов интенсивного сбыта. При насыщенном рынке вступали в действие жесткая конкуренция, агрессивная реклама и изоциренные формы стимулирования сбыта. В какой-то момент времени “рынок продавца” становился тормозом на пути научно-техни-

ческого прогресса и появления новых товаров. Разрешение противоречия стало возможным за счет создания “рынка покупателя”, предполагающего выпуск товаров, которые будут согласны приобрести потенциальные потребители. В этом случае в основу производства закладываются данные, полученные в результате изучения запросов различных рыночных сегментов (отдельных групп населения, предприятий, организаций и других потребителей), которым и будет адресована вновь созданная продукция. Здесь меняется направление усилий производителя. Он выявляет с помощью исследований неудовлетворенные нужды и потребности, разрабатывает и начинает производить те товары и услуги, которые способны удовлетворить покупателя. Таким образом, определение производства и сбыта продукции в условиях “рынка покупателя” и составляет содержание маркетинговой деятельности.

На ремонтных предприятиях создают отделы или бюро маркетинга, которые изучают характеристики рынка и его потенциальные возможности, анализируют распределение долей рынка между предприятиями, определяют сбыт и готовят предложения руководству предприятия для организации выпуска продукции и подготовки производства. Успешно действует то предприятие в непрерывно меняющейся обстановке, которое постоянно корректирует свою деятельность на основе перемен в рынке.

Выбор стратегии охвата рынка зависит от производственной мощности предприятия, однородности продукции и рынка, стадии жизненного цикла товара и маркетинговой стратегии конкурентов. С учетом всех этих данных определяют, какие рыночные сегменты наиболее привлекательны для предприятия и решают, которые из них больше других соответствуют его сильным сторонам и опыту.

Маркетинговые исследования служат также основой для назначения цены товара. Эта цена может устанавливаться на основании одного из пяти методов ценообразования: средних издержек плюс прибыль; анализа и обеспечения целевой прибыли; ощутимой ценности товара; уровня текущих цен; на основе закрытых торгов.

Предприятие рекламирует свою продукцию путем рассылки рекламных проспектов потенциальным покупателям и участия в тематических выставках.

7.2.2. Изменение специализации ремонтного производства

Специализация ремонтного производства изменяется под влиянием потребностей рынка. До конца 80-х годов прошлого века был востребован капитальный ремонт полнокомплектных машин. Сейчас заводы перешли на капитальный ремонт агрегатов. Обследование деталей ремонтного фонда показывает, что при поступлении агрегата в капитальный ремонт они обладают неодинаковой остаточной долговечностью. Применительно к те-

пловым двигателям обычно исчерпан ресурс уплотнительных деталей (например, поршневых колец), близки к его исчерпанию коленчатые валы и их вкладыши, поршни и выпускные клапаны. У гильз цилиндров и поршневых пальцев ресурс исчерпан на 50...70 %, а у блоков и головок цилиндров, толкателей, распределительных валов и шатунов – на 30...40 %. Это обязывает ремонтные заводы выпускать в виде товарной продукции комплекты сборочных единиц и деталей. В комплекты входят основные сборочные единицы (цилиндропоршневые группы, коленчатые валы с маховиками и сцеплениями), гильзы с прокладками и др., а также восстановленные или изготовленные малоресурсные детали (поршни, вкладыши коленчатого вала). Комплекты восстановленных и изготовленных деталей (табл. 7.1) применяют в хозяйствах при среднем или текущем ремонтах машин.

Таблица 7.1

Комплект деталей двигателя ЗМЗ-53 для среднего (текущего) ремонта

Детали			Повреждения	
Наименование (№ по каталогу)	Количество	Индекс *)	Наименование	Способ устранения
1	2	3	4	5
Гильза цилиндра (66-1002020-03)	8	В	Износ зеркала	Растачивание и хонингование под следующий ремонтный размер
Прокладка гильзы цилиндра (66-1002024)	8	И	–	–
Прокладка крышки распределительных шестерен (66-1002064)	1	И	–	–
Прокладка головки цилиндров (66-01-1003020)	2	Н	–	–
Поршень (ВК-53-100415-А)	8	В	Износ юбки	Точение головки, шлифование юбки под предыдущий ремонтный (номинальный) размер
			Износ канавок под компрессионные кольца	Установка ДРД, точение под номинальный размер
			Износ отверстия под поршневой палец	Разворачивание под ремонтный размер
Поршневой палец (21-1004020-А)	8	В	Износ наружной цилиндрической поверхности	Хромирование, шлифование
Стопорное кольцо (21-1004022)	16	Н	–	–

Окончание табл. 7.1

1	2	3	4	5
Комплект поршневых колец (ВК-53-1004024-АР, -БР, -ВР)	8	Н	–	–
Шатун в сборе (66-1004045-02)	8	В	Износ отверстия во втулке	Замена втулки, растачивание
Вкладыши шатуна (комплект) (ВК-13-1000104-А, -БР1, ..., КР)	1	Н	–	–
Коленчатый вал (66-1005011-10)	1	В	Износ шеек	Напыление, шлифование, полирование
Вкладыши коренных подшипников (комплект) (ВК-53-1000102-БР, ..., КР)	1	Н	–	–
Набивка сальника (24-1005154-01)	2	И	–	–
Уплотнительная прокладка заднего сальника (13-1005162-Г1)	2	И	–	–
Маслоотражательный колпачок впускного клапана (21-1007014-Б)	8	И	–	–
Выпускной клапан (66-1007015)	8	В	Износ стержня	Железнение, шлифование
			Износ фаски	Наплавка, шлифование
Уплотнительная прокладка крышки (13-1007243-Б)	4	И	–	–
Прокладка крышки (13-1007245)	2	И	–	–
Задняя прокладка впускной трубы (66-1008079-Б)	1	И	–	–
Боковая прокладка впускной трубы (13-1008080-15)	2	И	–	–
Передняя прокладка впускной трубы (66-1008081-12)	1	И	–	–
*) Обозначения: В – восстановленная; И – изготовленная; Н – новая (приобретенная)				

На некоторых заводах организовано изготовление новых деталей из приобретенных поковок или отливок. Это сокращает дефицит запасных частей, используемых взамен выбракованных деталей, и уменьшает цену ремонта. На ремонтном заводе, имеющем литейный и кузнечно-штамповочный участки, может быть налажено изготовление гильз цилиндров и уплотнительных колец под них, поршней, шатунов, коленчатых и распределительных валов, маховиков и их зубчатых венцов, шестерен масляного насоса, распределительных шестерен коленчатого и распределительного валов, втулок распределительного вала и направляющих клапанов, корпусов масляного и водяного насосов, маслоотражательных колпачков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, рычагов сцепления и других деталей. Ремонтный завод на собственных литейных мощностях может получить отливки поршней, маховиков, нажимных дисков сцеплений, различных дополнительных ремонтных деталей.

Изготовление и восстановление деталей на ремонтных заводах уменьшает различие в качестве продукции машиностроительных и ремонтных предприятий.

7.2.3. Изменение структуры ремонтного производства

Структура ремонтного предприятия (состав его производственных участков и их отношения) зависит от его специализации и объемов выпуска. Структуру производства изменяют в результате его реконструкции. Технический уровень отдельных участков повышают путем их технического перевооружения.

Цель *реконструкции* производства состоит в изменении профиля и коренном совершенствовании предприятия.

Реконструкция действующего предприятия включает полное или частичное изменение или перестановку производственных участков с заменой морально устаревшего и физически изношенного оборудования. Реконструкция производства необходима для организации выпуска новой продукции, увеличения объемов ремонта, повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости. Реконструкция предполагает изменение границ участков и дает более быстрые и дешевые результаты, чем новое строительство. Реконструкция основного производства предполагает также создание новых и расширение действующих подразделений вспомогательного и обслуживающего производств.

К *техническому перевооружению* производства относят мероприятия по повышению до современных требований технического уровня отдельных производственных участков путем замены оборудования с изме-

нением технологии и организации производства. Техническое перевооружение ведут без строительных работ.

Об эффективности работ по реконструкции и техническому перевооружению судят по статистическим данным. Если взять за 100 % затраты на техническое перевооружение, то затраты на реконструкцию для достижения той же производственной мощности составят 108 %, на расширение действующих предприятий – 136 % и на новое строительство – 280 %.

Практика развития производства убеждает, что реконструкция и техническое перевооружение производства обоснованы и повышают его эффективность при соблюдении трех обязательных условий.

Первое – состояние рынка позволяет в течение длительного времени реализовывать выпущенную продукцию.

Второе – наличие проверенных технических решений, которые после реконструкции и технического перевооружения гарантируют повышение технического уровня производства.

Третье – предприятие имеет полноценные основные фонды, целесообразность дальнейшего использования которых подтверждена как технически, так и экономически.

7.2.4. Совершенствование организации ремонтного производства

Мероприятия по совершенствованию организации труда и управления ремонтного завода приводят в одном из разделов годового плана организационно-технических мероприятий.

Общие принципы организации ремонта машин, который в настоящее время все больше становится многономенклатурным, состоят в следующем.

На каждом ремонтном предприятии организуют виды и объемы работ, соответствующие его технологическим возможностям. Чем больше объемы ремонта и полнее загрузка производственной мощности предприятия, тем больше экономическая эффективность его деятельности. Это требует большей концентрации ремонтного производства и специализации как самого предприятия, так и его структурных подразделений. Если при анализе использования производственной мощности будет выявлена недостаточная загрузка производительного и дорогого оборудования, то на основе кооперации и договоров с другими предприятиями необходимо загрузить это оборудование.

На принципах кооперации, например, отдельные заводы организуют хромирование и никелирование заготовок с обезвреживанием отходов гальванического производства, аргодуговую сварку на переменном токе деталей из алюминиевого сплава, плазменную резку листов на заготовки, нанесение плазменных покрытий на шейки коленчатых валов компрессоров с их механической обработкой, наплавку намораживанием и др.

При крупных ремонтных предприятиях создают цеха восстановления деталей не только для нужд самого предприятия, но и для восстановления деталей по кооперации.

Концентрация производства сопровождается заменой технологии и оборудования на более современные. Одно из направлений этого совершенствования – создание поточно-механизированных линий (ПМЛ).

Поточно-механизированная линия – это система основного и вспомогательного ремонтно-технологического и подъемно-транспортного оборудования, специализированного по выполнению операций технологического процесса и расположенного в порядке их следования.

На ПМЛ разбирают и очищают машины и агрегаты, восстанавливают детали, собирают и окрашивают агрегаты и машины. Чаще ПМЛ применяют для восстановления деталей: наносят покрытия (кроме электрохимических), закрепляют ДРД, выполняют механическую и термическую обработку заготовок, очистку от технологических загрязнений и контроль. Очистные работы и определение технического состояния деталей ремонтного фонда можно выполнять вне ПМЛ на соответствующем участке.

ПМЛ по восстановлению деталей организуют на основе предметной специализации. Если ПМЛ служит для восстановления деталей одного типа (корпусные, валы, гильзы и др.), то ее создают из переналаживаемого оборудования, а если на ПМЛ восстанавливают детали одного вида (наименования), то ее оснащают непеналаживаемым оборудованием.

Использование ПМЛ, оснащенных специализированным или специальным точным и производительным оборудованием позволяет:

- обеспечить нормативные значения показателей качества изделий, в т.ч. достичь стабильности структуры и свойств наносимых покрытий;
- достичь высокой производительности труда;
- добиться при достаточных объемах производства снижения себестоимости продукции.

Создание ПМЛ предполагает использование новых средств и процессов для создания ремонтных заготовок, их термической и механической обработки, а также средств перемещения восстанавливаемых объектов. При этом получает развитие принцип дифференциации операций.

При определении целесообразности создания и внедрения ПМЛ, например, по восстановлению детали, рассчитывают себестоимость восстановления детали, имеющей наибольшее число повреждений, и определяют минимальные объемы выпуска.

Целесообразность определяют на основании анализа следующих данных:

- соотношения между затратами на создание ПМЛ, оборотного ремонтного фонда и его перевозку, с одной стороны, и снижением себестоимости восстановления деталей за счет увеличения его объема, с другой стороны;
- соотношения между затратами на организацию ПМЛ по восстановлению деталей заданной номенклатуры и на их производство на заводе-изготовителе;
- влияния срока службы восстановленных деталей на послеремонтную наработку агрегатов, составными частями которых они являются.

Допустимое расстояние перевозки деталей ремонтного фонда увеличивается при создании ПМЛ. Источники экономического эффекта при этом заключены в применении более совершенной организации и технологии, что приводит к снижению себестоимости восстановления и повышению долговечности деталей.

Объемы восстановления деталей увеличиваются при расширении области охвата потребителей. Эти объемы тем больше, чем больше машин в регионе и их годовая наработка. Значительные объемы восстановления легче обеспечить для многочисленных недолговечных деталей одного наименования при большом их расходе в эксплуатации. Увеличение массы восстанавливаемых деталей снижает величину целесообразного расстояния их перевозки. Особенно резкое снижение этого расстояния наблюдается для деталей большой массы, себестоимость восстановления которых небольшая. Однако, большие эксплуатационные затраты, связанные с малой долговечностью деталей, восстановленных на комплексных участках, обуславливают увеличение расстояния перевозки деталей на их восстановление на ПМЛ.

Организация ПМЛ целесообразна в том случае, если количество техники в рассматриваемом регионе достаточно для создания крупносерийного или массового производства по восстановлению ее деталей. Это приводит к повышению качества их восстановления по сравнению с уровнем качества, который достигнут на комплексных участках восстановления деталей.

Влияние межремонтных пробегов агрегатов, в которых находятся восстановленные детали, существенно сказывается на объемах восстановления этих деталей только при большой нагрузке агрегатов.

Восстановлению деталей на ПМЛ в условиях высокой концентрации производства подлежат наиболее изношенные и поврежденные дефицитные детали распространенных моделей машин с высокой плотностью распределения их в рассматриваемом регионе. Потребность этих деталей в эксплуатации и при ремонте техники особенно велика. Наибольшая эффективность ПМЛ достигается при создании специализированного производства по определенной номенклатуре этих деталей. Для этих деталей характерными являются значительные затраты на замену их в эксплуатации и малые себестои-

мость восстановления и стоимость перевозки. Особенно важно организовать качественное восстановление на специализированном производстве корпусных и других основных деталей, срок службы которых до предельного состояния или отказа определяет послеремонтные ресурсы агрегатов.

Такие многочисленные детали, как поршневые пальцы, толкатели, крестовины кардана, муфты и фланцы валов, шатуны, гильзы цилиндров, шкворни и ряд других допускают экономически обоснованную перевозку их на расстояние 300...500 км. Для таких деталей может быть организовано одна ПМЛ по их восстановлению в республике или крупном регионе.

Восстановлению на ПМЛ подлежат и более металлоемкие изделия. Допустимое расстояние перевозки карданных, коленчатых и распределительных валов, вилок и фланцев карданов, валов коробок передач и других изделий меньше примерно в два раза, чем в предыдущем случае. Восстановление их целесообразно организовать в областных регионах. Ряд сборочных единиц, имеющих значительную массу (головки и блоки цилиндров, картеры коробок передач и редукторов), целесообразно восстанавливать на ПМЛ только при определенном сочетании повреждений.

Вопросы для самоконтроля

1. На основании каких сведений принимают решение о структуре ремонтного предприятия и объемах его производства? 2. От чего зависит специализация ремонтного предприятия? 3. Какие тенденции изменения специализации ремонта во времени? 4. Какие Вы знаете виды развития участков ремонтного производства? 5. Как совершенствуют организацию ремонтного производства?

7.3. Совершенствование процессов и средств ремонта

7.3.1. Обоснование направлений совершенствования

О техническом уровне предприятия судят по его производительности, качеству и себестоимости выпускаемой продукции.

Производительность труда, например, авторемонтных заводов в 3...5 раз уступает соответствующему показателю автомобильных заводов. Фактическая наработка отремонтированной техники с восстановленными деталями существенно уступает нормативным показателям и наработке новых изделий. Нормативную послеремонтную наработку выдерживают, например, только 40...60 % двигателей легковых автомобилей и 30...40 % двигателей грузовых автомобилей. При этом цена ремонта достигает 60...90 % цены нового изделия.

Для ремонтного производства характерна большая доля ручного труда. Производительность труда повышают внедрением оборудования, потребляющего энергию неживой природы. Низкая послеремонтная наработка машин объясняется тем, что 30...50 % значений параметров не соот-

ветствуют нормативным значениям из-за отсутствия или низкого технического уровня применяемых СТО. Эти причины обуславливают и высокую себестоимость ремонта.

Таким образом, направления совершенствования процессов и средств ремонтного производства сводятся к внедрению производительных и точных СТО, непрерывному повышению качества ремонта техники за счет внедрения новых процессов и материалов, разработанных в результате научных исследований или используемых на передовых предприятиях.

7.3.2. Ремонтно-восстановительные составы

При проходке сверхглубокой скважины (глубиной 12,5 км) на Кольском полуострове в 1975 году было обнаружено шестикратное повышение износостойкости бурильного инструмента при обработке серпентинита. Серпентинит (змеевик) – это горная порода – предвестница медно-никелевых и асбестовых руд, сложенная из серпентина. Серпентинитовые минералы бывают: гранатовые (пиропные); бронзовые; дуниевые желтые или зеленые (бедные железом); никелевые (богатые никелем).

Обнаруженное явление послужило началом изучения тонкодисперсных порошков, полученных с помощью нанотехнологий из серпентинитовых минералов. Научное направление, родившееся в СССР, развивается в Китае, Японии и других странах.

Известны твердые смазочные вещества, имеющие высокую прочность соединения с основой и низкую прочность при сдвиге. Это графит, тальк, каолин, дисульфид молибдена MoS_2 , нитрид бора BN , сульфиты, селениды (MoSe_2 , WSe_2 , NbSe_2), оксиды металлов (PbO , CdO , CuO), мягкие металлы (In , Ag , Al , Pb , Sn , Cu и др.), порошки полимеров, резины и др. При использовании, например, графита коэффициент трения в парах равен 0,03...0,04.

Серпентин – группа минералов одинакового состава из силиката магния (иногда железа), но разной симметрии. Они состоят из пластинчатых кристаллов, а иногда из трубчатых частиц. Материалы на основе серпентина получили название *ремонтно-восстановительных составов* (РВС).

Формула серпентина – $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ или $3\text{MgO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, или $(\text{MgOH}) \cdot 6\text{SiO}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Известны такие его виды: антигорит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) \cdot 3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$, хризотил (клинохризотил, ортохризотил, парахризотил) $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$ и лизардит $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$. Его твердость – 2,5...3,5 по шкале Мооса, что соответствует микротвердости низкоуглеродистой стали – 1400...1600 МПа. Кристаллы обладают совершенной спайностью – способностью раскалываться или расщепляться по кристаллографическим плоскостям. Химический состав серпентина: MgO – 43 %, SiO_2 – 44 %, H_2O – остальное. Конституционная вода представлена в минералах ионами гидроксила OH^- и в единичных случаях ионами H^+ , расположенными в узлах кристал-

лической решетки. При достижении материалом температуры в отрезке 300...1300 °С выделяется вода, а его кристаллическая решетка разрушается.

Рентгенофазовый анализ используемых РВС показывает, что они бывают двух видов: первый содержит 75...80 % lizardита и 10...15 % хризолита, второй – 10...15 % lizardита и 75...80 % хризолита. Практические результаты их применения дают одинаковый эффект. Снижение коэффициента трения и величины износа соединений определяются уникальными свойствами серпентина, а не соотношением его компонентов.

Все слоистые силикаты (рис. 7.2) состоят из двух сеток $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$, соединенных вместе в компактные пакеты состава $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$. Особенностью каждой сетки $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ является наличие нескомпенсированного электрического заряда, обусловленного наличием свободной валентности на этой стороне сетки из кремнекислородных тетраэдров, что определяет отрицательный электрический заряд на одной стороне сетки. В сдвоенных пакетах $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ отрицательные заряды обеих сеток направлены внутрь пакета и скомпенсированы катионами Mg. Фактически в слоистых пакетах $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ между двумя сетками состава $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ располагается бруситовый слой $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Специфическое строение слоистых силикатов – наличие пакетов, состоящих из гексагональных сеток-слоев, связанных друг с другом очень слабыми связями, – определяет и свойства этих минералов: низкую твердость и способность расщепляться на тонкие пластинки.

Механизм действия противоизносного антифрикционного РВС, с одной стороны, аналогичен механизму действия твердых смазочных материалов. Трущуюся пару можно рассматривать, с другой стороны, как термодинамическую систему, поверхности трения которой обмениваются с внешней средой (смазкой) энергией и веществом, что приводит к образованию новых структур на основе самоорганизующихся процессов. Новые структуры обеспечивают безыносную работу узла трения с образованием сервовитной пленки на поверхности трущихся деталей.

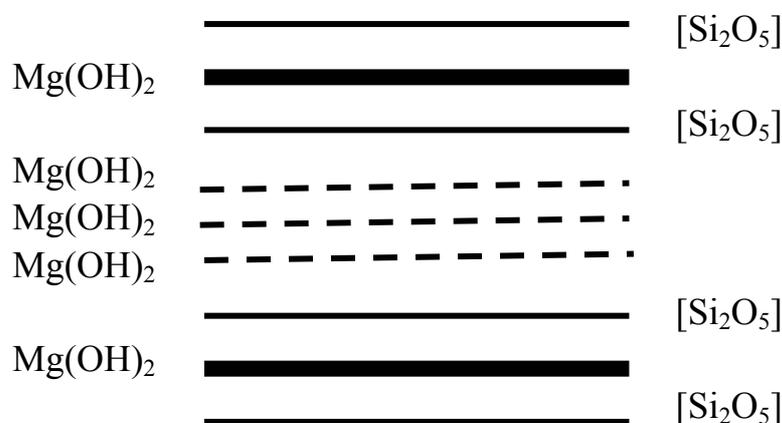
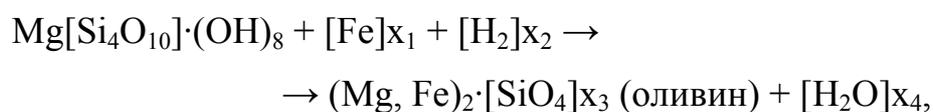


Рис. 7.2. Строение серпентина

Фазовый состав РВС (гидросиликатов магния, железа и др.) на основе серпентинов обусловлен сложными конгломератами октаэдрических и тетраэдрических соединений со связями: Si–O–Si, Si–O–OH–Металл. Эти связи при механическом и тепловом воздействии на частицы препарата разрушаются с выделением тепловой энергии. Материал при этом размягчается, площадки фактического контакта увеличиваются и возникают соединения Si–O–, Si–O–OH– с выделением воды в результате обезводоруживания стальной или чугунной детали и смазки, а также освобождение конституционной воды из минерала. Идет активный процесс образования новых связей типа Si–O–Fe. Последний процесс по аналогии с термическим преобразованием серпентина описывают такими преобразованиями:



что подтверждается изменением фазового анализа поверхностей стальных деталей после их взаимодействия с РВС, содержанием большого количества паров воды в отработавших газах двигателя и обводнением масла.

Таким образом, серпентин под влиянием давления, температуры и трибоэлектричества претерпевает физические и химические превращения и воздействует на кристаллы железоуглеродистых сплавов. На поверхностях трения образуются пленки толщиной 0,02...0,10 мм (в отдельных случаях до 0,20 мм), компенсирующие износ, которые по физико-механическим свойствам близки к оливину. Образование пленок приводит к наращиванию поверхностей трения.

Содержание серпентина в смазке составляет 1...5 %. Увеличение его содержания более 10 % приводит к росту интенсивности изнашивания, а при его содержании 30 % наблюдается абразивное изнашивание. При добавлении в природную смазку “Солитол” двух процентов серпентина коэффициент трения снижается на 20...40 %.

Преимущества материала: простота производства; безвредность приготовления и применения; малое количество и дешевизна; малая потребность в оборудовании для его приготовления; универсальность для всех узлов трения со всеми смазками и без них; продление ресурса соединений; увеличение срока службы смазки и снижение требований к ней.

Область применения РВС – ремонт уникального энергоемкого оборудования, работающего в тяжелых условиях со значительными износами без возможности остановки при отсутствии запасных частей.

Один из видов РВС – препарат “Recovery” при эксплуатации агрегатов обеспечивает образование железо-магниево-силикатного покрытия

толщиной 20...30 мкм, например, на поверхностях цилиндропоршневой группы двигателя. При этом уменьшается интенсивность изнашивания трущихся соединений, увеличивается наработка и улучшаются эксплуатационные характеристики агрегата. В двигателе внутреннего сгорания снижаются трение и механические потери на 20...40 %, мощность увеличивается до 15 %, расход топлива снижается до 35 %, содержание СО в отработавших газах снижается в 2...10 раз, а дымность отработавших газов дизелей – на 40 %. Срок службы моторного масла продлевается, снижаются требования к нему по антиизносным, антизадирным, антифрикционным и уплотняющим свойствам, но повышаются требования по охлаждению двигателя в начале эксплуатации. Уменьшение зазора в соединениях способствует уменьшению динамических нагрузок и, как следствие, снижению вибраций и шума агрегатов. В целом затраты на ремонт снижаются в 3...4 раза. Подача отремонтированных насосов увеличивается на 16...18 %.

Препарат “Resaverу” совместим со всеми типами масел. Как минерал он не токсичен, не горюч, не задерживается масляными фильтрами из-за малой дисперсности (5...40 мкм) и концентрации (0,05...0,20 г/л), не закупоривает масляные каналы. Электромагнитная обработка порошка во время его приготовления, хранения или использования в составе моторного масла повышает его активность или восстанавливает свойства.

7.3.3. Процессы и средства ремонта

Рассмотрим направления совершенствования процессов и средств ремонта.

В последнее время произошел переход от поточной организации разборки к стационарно-постовой, что снизило качество и производительность труда.

Необходимо использовать механизированные пневматические и более эффективные гидравлические средства со статическим приложением нагрузки к деталям разбираемых прессовых соединений. В результате будет исключена ручная ударная разборка, повреждающая детали. Разборка прессовых соединений должна быть полностью оснащена стационарными прессоразборочными механизмами, которые наиболее эффективны на рабочих местах узловой разборки. Технический уровень разборочного оборудования определяется давлением энергоносителей и частотой потребляемого тока. Необходима разработка и внедрение многошпindelных гайковертов для разборки групп резьбовых соединений. Гайковерты должны собираться из унифицированных блоков. Необходимы исследования по определению оптимального сочетания разборочных и очистных воздействий на ремонтируемые объекты.

Для сохранения остаточного ресурса деталей и сборочных единиц требуется внедрение маркирования и прослеживаемости деталей даже при увеличении объемов ремонта машин.

Чистоту поверхностей деталей обеспечивают в результате надлежащего отделения эксплуатационных и технологических загрязнений с учетом разнообразия их свойств. Наименьший расход материалов и энергии обеспечивает применение системы оборудования погружного типа для очистки внутренних и наружных поверхностей деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений с непрерывной фильтрацией очистного раствора и машин ударно-диспергирующего типа для очистки поверхностей деталей от нагара и накипи. Очистные операции на ряде заводов являются самыми непривлекательными и тяжелыми, что объясняется тепловыделением от очистных машин, большой трудоемкостью загрузки, укладки и снятия деталей и большой влажностью воздуха в помещении. На этих операциях требуется улучшение условий труда.

В производство следует внедрить эффективные средства для очистки и контроля герметичности каналов масляной системы.

Запас остаточной долговечности деталей, необходимый для их повторного применения, устанавливают на стадии определения технического состояния этих деталей. Из-за отсутствия или несовершенства средств для измерения этого параметра на восстановление направляются и те детали, которые не обладают достаточным запасом долговечности, что приводит к увеличению количества изломов деталей в эксплуатации. Технический уровень контрольно-сортировочного оборудования недостаточен. Это относится, главным образом, к оборудованию для определения течей в стенках и в стыках и усталостных трещин в поверхностном слое металла. Применяемое оборудование для определения трещин в шейках валов и в теле деталей типа шатунов не обеспечивает объективный контроль.

Наиболее актуально совершенствование средств для определения опасных усталостных трещин на шейках чугунных коленчатых валов. При определении трещин с помощью промышленных магнитно-люминесцентных или токовихревых средств невозможно обнаружить опасные трещины в основном металле детали среди наплавленных трещин в нанесенном покрытии. Оборудование для обнаружения течей сквозь стенки корпусных деталей устроено таким образом, что при создании замкнутого объема, в который вводят пробное вещество, стыковые поверхности детали соприкасаются с герметизируемыми плитами. Трещины, выходящие на стыковые поверхности, закрываются и не могут быть обнаружены.

При нанесении покрытий получают распространение способы с меньшим вложением тепла в материал детали, создающие высокую износостойкость поверхностного слоя, экономичные припуски, не загрязняющие окружающую среду и обеспечивающие благоприятные условия труда на рабочих местах.

Для одних и тех же деталей рекомендуется много различных способов создания ремонтных заготовок, в то время как каждому способу ставится в соответствие необоснованно большая номенклатура деталей. Рекомендации о применении различных способов восстановления не согласованы с объемами производства. Низкое качество восстановительных покрытий объясняется несоответствием действительных и расчетных значений технологических режимов протекающих процессов, что, в свою очередь, связано с отсутствием или большой погрешностью приборов, контролирующих значения технологических параметров, и несовершенством оборудования.

Большая доля ремонтных работ связана с обработкой отверстий. В большинстве случаев поверхности отверстий должны быть обработаны с точностью до 6-го качества и шероховатостью до Ra 0,32 мкм. Кроме того, в корпусных деталях поверхности отверстий выполняют функции элементов, ориентирующих между собой соединяемые детали. Взаимное расположение поверхностей различных деталей определяет величину линейных и угловых замыкающих размеров, недопустимые значения которых приводят к нерасчетным режимам смазки, увеличенным нагрузкам в соединениях и циркуляции мощности в кинематических контурах. Эти явления обуславливают снижение послеремонтной наработки агрегатов и перерасходу топлива и масла.

Точной обработке подлежат, например, отверстия в коренных опорах, втулках распределительного вала, под гильзы и толкатели в блоках цилиндров двигателей, в верхней и нижней головках шатуна, под поршневой палец в поршне и другие.

Анализ применяемого в ремонтном производстве расточного оборудования, например, станков 2E78, РД-2, РД-53 и КИ-14574, показывает невозможность получения параметров отверстий, установленных нормативной документацией. Нормативную точность обработки обеспечивают расточные станки повышенной точности Одесского и Самарского станкозаводов.

Процессы механической обработки восстанавливаемых деталей в большинстве случаев копируют соответствующие процессы машиностроения. Скорость резания при лезвийной обработке достигает 80 м/мин, а при

абразивной – 50 м/с, что в 1,5...2 раза меньше, чем в передовых отраслях машиностроения.

К снижению ресурса отремонтированной техники приводит недопустимая статическая и динамическая неуравновешенность вращающихся деталей. Точность распространенных в ремонте балансировочных машин БМ-4У и КИ 4274 не соответствует современным требованиям. Нормативную точность балансировки обеспечивают станки МС-9715 и МС-9716, работающие в зарезонансном режиме. При ремонте агрегатов необходимо балансировать не только их валы, но и сборочные единицы в составе агрегатов.

Недостаточная точность замыкающих размеров при групповой сборке соединений объясняется отсутствием или недостаточной точностью измерительных средств. К недостающим средствам относят рычажно-зубчатые головки с ценой деления 1...2 мкм и средства пневматического контроля. Наибольшую трудность представляет обеспечение замыкающих размеров, которые устанавливаются путем подгонки или подбора компенсирующих элементов. Необходимо организовать непрерывно пополняемый до сменного объема запас компенсирующих элементов и иметь индикаторные средства для определения размеров этих элементов.

Точность затяжки резьбовых соединений обеспечивают использованием предельных и динамометрических ключей, устройств для кинематического отключения привода при достижении установленного крутящего момента в составе сборочных машин, а также стендов для контроля и проверки инструментов.

Разработка единого методологического подхода к созданию системы СТО в ремонтном производстве обеспечивает экономически обоснованное и технически оправданное количество типов технических устройств и их модулей. Это ведет к уменьшению времени на создание техники, упрощает ее техническое обслуживание и ремонт.

Некоторые средства, процессы и методы, предлагаемые для внедрения в ремонтное производство в результате его технологической подготовки, и их сравнение с действующими объектами и процессами приведены в табл. 7.2.

Около половины эффекта от применения предлагаемых технических решений создают мероприятия по восстановлению деталей, а остальную долю – мероприятия по определению технического состояния деталей, совершенствованию разборочно-очистных, комплектовочных и сборочных, обкаточных и испытательных процессов.

Таблица 7.2

Действующие в ремонтном производстве средства, процессы и методы и предлагаемые для внедрения в результате технологической подготовки

Технологические средства, процессы и методы		Источник получения эффекта
Базовые	Предлагаемые	
1	2	3
Разборочно-очистной участок		
Оборудование для струйной очистки изделий	Оборудование для погружной очистки изделий с активацией очистного раствора	Повышение качества и производительности очистки
Ручной сбор метизов	Ленточный конвейер для сбора и перемещения метизов	Уменьшение затрат живого труда
Машины для барабанной очистки метизов с ручной загрузкой и выгрузкой	Барабанно-шнековая машина для очистки метизов с их автоматической разгрузкой	Повышение качества и производительности очистки
Разборка на стационарных стендах или эстакаде	Подразборка и общая разборка на линейном конвейере	Уменьшение затрат живого труда
	Оптимальное сочетание разборочных и очистных воздействий	Повышение качества и производительности воздействий
Гайковерты для ручной разборки	Гайковерты для механизированной разборки групп соединений	Уменьшение затрат живого труда
Ударная ручная разборка	Средства блочно-модульного типа для узловой разборки прессовых соединений	Уменьшение затрат живого труда Сохранность деталей
Машины для очистки в растворах Лабомида, потоком косточковой крошки	Машины для отделения прочных загрязнений от поверхностей деталей в расплаве щелочей и солей, потоком стеклянных шариков, в растворе кислот	Повышение качества и производительности очистки
Средства для очистки сред отстаиванием	Средства для регенерации очистных сред флотацией, коагуляцией, фильтрованием	Повышение качества и производительности очистки
Сортировочный участок		
Универсальные средства	Машины для полуавтоматической сортировки деталей – тел вращения Машины для пневмоконтроля отверстий в корпусных деталях и гильзах Машины для комплексных измерений размеров и параметров расположения деталей Машины для полуавтоматической сортировки пружин по критерию их жесткости	Повышение производительности труда, использование остаточной долговечности деталей ремонтного фонда, уменьшение расхода запасных частей

1	2	3
Участок восстановления деталей		
Единичные машины индивидуального проектирования	Машины блочно-модульной компоновки для нанесения покрытий на поверхности основных деталей	Уменьшение времени и затрат на создание машин
	Оборудование с новыми схемами базирования деталей при обработке резанием	Уменьшение трудоемкости механической обработки, повышение точности расположения поверхностей
Недостаточное количество используемых видов процессов создания ремонтных заготовок	Внедрение современных прогрессивных процессов и технологических машин по нанесению покрытий и пластическому деформированию материала	Повышение качества и производительности восстановления деталей
Инженерные службы завода		
Применение методов проектирования единичных машин и единичных и типовых процессов	Применение системы методов проектирования машин и процессов: структурно-параметрического синтеза исполнительных агрегатов (модулей) и их рядов, компоновки технологических машин, разработки и оптимизации технологических процессов	Уменьшение объема проектных работ, трудоемкости изготовления технологических машин и объема технологической подготовки ремонтного производства, повышение качества ремонта техники и создаваемых СТО

Вопросы для самоконтроля

1. Какие свойства продукции и производства определяют технический уровень последнего? 2. Перспективы применения ремонтно-восстановительных составов. 3. Как Вы представляете развитие средств и процессов ремонта?

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Структура зарубежных ремонтных предприятий.
2. Отличительные признаки зарубежного ремонтного производства от отечественного.
3. Материалы и технологические процессы, применяемые в зарубежном ремонте.
4. Какие технические и организационные решения, действующие в зарубежном ремонте, можно использовать в отечественном производстве?
5. Организация маркетинговых исследований рынка продукции.
6. Тенденция изменения специализации ремонтных предприятий.
7. Реконструкция и техническое перевооружение участков ремонтных предприятий.

8. Направления совершенствования организации ремонтного производства.

9. Ремонтно-восстановительные составы: материалы и использование.

10. Новые средства и процессы ремонта.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

Студент должен знать:

- состояние зарубежного ремонта;
- отличия зарубежного ремонта от отечественного;
- основные материалы и технологические процессы, применяемые в зарубежном ремонте;
- методы маркетинговых исследований;
- тенденции изменения специализации ремонтного производства;
- организацию реконструкции и технического перевооружения участков ремонтных предприятий;
- ремонтно-восстановительные составы;
- тенденции применения новых средств и процессов ремонта.

Студент должен уметь:

- выбирать прогрессивные технические решения на зарубежных предприятиях для использования в отечественном ремонте;
- проводить маркетинговые исследования рынка продукции;
- определять специализацию ремонтного производства;
- составлять мероприятия по реконструкции и техническому перевооружению участков ремонтных предприятий;
- определять направления совершенствования ремонтного предприятия.

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ И ДИСЦИПЛИНЫ

Текущая оценка знаний материала главы производится по результатам опроса студентов. Высокой оценки заслуживают те студенты, которые свободно владеют объемами, организацией и особенностями зарубежного ремонта и направлениями совершенствования отечественного ремонта.

Результаты рейтингового контроля знаний глав дисциплины служат основой для определения предварительной оценки знаний по всей дисциплине. Эта оценка определяется как среднее арифметическое семи оценок по главам. По решению студента эта оценка может быть признана как экзаменационная и выставлена в зачетную книжку и экзаменационную ведомость. Если студент считает, что его знания достойны более высокой оценки, то он сдает экзамен на общих основаниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ремонтное производство, как любая система, должно непрерывно развиваться. Маркетинговое наблюдение за рынком продукции, местом и конкурентоспособностью на нем своих товаров укажут направления этого развития. Произведенная продукция попадает в поле зрения покупателя, который вначале обращает внимание на ее качество, затем – на цену и, наконец, интересуется ее сервисом в эксплуатации.

Необходимое условие качественной продукции заключается в том, чтобы значения всех параметров, приведенных в конструкторской документации, находились в нормативных пределах. Достаточное условие заключается в том, чтобы значения приведенных параметров были лучшими, чем у продукции конкурирующих предприятий. В таком соревновании нет предела улучшения качества продукции за счет совершенствования технологических процессов производства, средств его технологического оснащения и системы качества.

Высокое качество продукции получают с применением современных и точных СТО, однако их эффективное использование предполагает полную загрузку.

Намного легче организовать эффективное производство, выпускающее продукцию в больших объемах, что связано с его концентрацией и специализацией. Только при этих условиях обеспечивают низкую цену единицы продукции при ее высоком качестве.

В хорошо организованном предприятии материалы, энергия и труд используют без потерь. В нем ничто не пропадает и все делается вовремя.

Ремонтное производство – часть системы технического сервиса машин. Реформирование национального хозяйства Республики Беларусь и его многоукладность требуют совершенствования этой системы. Она должна быть мобильной и эффективной, способной выполнять заявки потребителей с выездом на место в кратчайшие сроки. Отказы техники по вине ремонтных предприятий должны быть исключены.

Необходимо организовать покупку ремонтного фонда у его владельцев. Это даст возможность самостоятельно торговать отремонтированной продукцией, но определит ответственность за ее исправность и послеремонтную наработку, обеспечение запасными частями и организацию технического сервиса в течение всего срока ее службы.

Технический сервис следует организовать на кооперативных началах силами технических центров (дилеров), которые выполняют предпродажную подготовку и продажу техники потребителям, реализацию материа-

лов, восстановленных и изготовленных деталей, техническое обслуживание и текущий ремонт техники.

Формирование технической политики по созданию форм технического сервиса и рыночных структур в новых условиях хозяйствования обеспечивает экономическую заинтересованность и юридическую ответственность завода и дилера в материально-техническом обеспечении потребителя.

В учебнике изложены основы ремонта машин, выполняемого на специализированном ремонтном предприятии. Особенности ремонта автомобилей, тракторов, комбайнов, летательных аппаратов, судов, металлорежущих станков, их электрооборудования и гидравлических систем можно проследить по приведенной в конце книги литературе. Эта литература позволяет студенту и специалисту приобрести дополнительные сведения по интересующим вопросам.

Изучение и применение в производстве технологических процессов, СТО и форм организации, изложенных в учебнике, будут способствовать повышению технического уровня и эффективности ремонтного производства.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Восстановление автомобильных деталей: технология и оборудование: Учебник / Под ред. В.Е. Канарчука – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.
2. Иванов В.П. Технология и оборудование восстановления деталей машин: Учебник. – Мн.: ЗАО “Техноперспектива”, 2006. – 453 с.
3. Надежность и ремонт машин: Учебник / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
4. Ремонт машин: Учеб. пособие / Под ред. Н.Ф. Тельнова. – М.: Агропромиздат, 1992. – 500 с.
5. Савич Е.Л., Болбас М.М., Ярошевич В.К. Техническое обслуживание и ремонт легковых автомобилей: Учеб. пособие; Под общ. ред. Е.Л. Савича. – Мн.: Выш. шк., 2001. – 2001. – 479 с.
6. Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э. и др. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учеб. пособие / Под ред. В.И. Черноиванова. – Москва – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 992 с.

Дополнительная

7. Балякин О.К. Технология судоремонта: Учебник для высших учебных заведений. – М.: Транспорт, 1983 – 264 с.
8. Вещунов А.П., Вещунова Н.Л. Служба главного технолога. – Л.: Лениздат, 1985. – 144 с. (Службы предприятий)
9. Вильжер И., Николя Ж. Технология ремонта кузовов легковых автомобилей / Пер. с франц. В.Г. Полякова. – М.: Машиностроение, 1998. – 472 с.
10. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
11. Иванов В.П. Высокоэффективные процессы обработки материалов: оборудование и оснастка: Учеб. пособие. – Новополюцк: ПГУ, 2005. – 148 с.
12. Ивашко В.С. и др. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В.С. Ивашко, И.Л. Куприянов, А.И. Шевцов. – Мн.: Навука і тэхніка, 1996. – 375 с.
13. Ивашко В.С., Залуцкий А.И., Иванов В.П., Буйкус К.В. Ремонт сельскохозяйственной техники / Раздел 2: Производственный и технологический процессы ремонта машин на специализированных предприятиях: Конспект лекций. – Минск: БАГУ, 2002. – 91 с.
14. Какуевичкий В.А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. – М.: Транспорт, 1993. – 176 с.
15. Капитальный ремонт автомобилей: Справочник / Л.В. Дехтеринский, Р.Е. Есенберлин, К.Х. Акмаев и др.; Под общ. ред. Р.Е. Есенберлина. – М.: Транспорт, 1989. – 335 с.

16. Квинтовкин И.Ф., Стояненко О.М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1977. – 312 с.
17. Козлов Ю.С. Очистка автомобилей при ремонте. – М.: Транспорт, 1981. – 151 с.
18. Милютин В.С., Коротков В.А. Источники питания для сварки: Учеб. пособие. – Челябинск: Металлургия Урала, 1999. – 368 с.
19. Моющие средства, их использование в машиностроении и регенерация / А.Ф. Тельнов, Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 208 с.
20. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – Изд. 5-е, испр. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
21. Панталеенко В.И. Основы технологии производства и ремонт автомобилей: Учеб. пособие – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2002 – 200 с.
22. Пекелис Г.Д., Гельберт Б.Т. Технология ремонта металлорежущих станков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. – 240 с.
23. Рыков В.Н. Организация капитального ремонта машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 110 с.
24. Синельников А.Ф., Штоль Ю.Л., Скрипников С.А. Кузова легковых автомобилей: Обслуживание и ремонт. – 2-е изд. стер. – М.: Транспорт, 1997. – 256 с.
25. Стрельцов В.В., Попов В.Н., Карпенков В.Ф. Ресурсосберегающая ускоренная обкатка отремонтированных двигателей. – М.: Колос, 1995. – 175 с.
26. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1983. – 256 с.
27. Теория и практика газопламенного напыления / А.П. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло и др. – Мн.: Навука і тэхніка, 1993. – 295 с.
28. Усков В.П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей. Брянск, 1998. – 509 с.
29. Хромов В.Н., Сенченков И.К. Упрочнение и восстановление деталей машин термоупруго-пластическим деформированием. – Орел: Издательство ОГСХА, 1999. – 221 с.
30. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей – М.: Изд-во “За рулем”, 1999. – 440с.
31. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технология восстановления деталей машин. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
32. Шангин Ю.А. Ремонтное окрашивание легковых автомобилей: Советы автолюбителям. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 160 с.
33. Экономика предприятия: Учеб. пособие / В.П. Волков, А.И. Ильин, В.И. Станкевич и др.; Под общ. ред. А.И. Ильина. – 2-е изд., испр. – М.: Новое знание, 2004. – 672 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. РЕМОНТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЕГО ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС	5
1.1. Ремонт машин в системе содержания их в исправном состоянии	5
<i>Практическое занятие № 1. Ремонтный чертеж детали.....</i>	<i>15</i>
1.2. Производственный процесс, необходимость и особенности ремонта машин	15
1.3. Состав и структура ремонтного производства	22
<i>Практическое занятие № 2. Организационная структура ремонтного завода.....</i>	<i>26</i>
1.4. Средства технологического оснащения	28
1.5. Технологическая и организационная подготовка ремонтного производства.....	34
Тематика исследований и рефератов	43
Требования, предъявляемые к студентам.....	44
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	44
2. ПРИЕМКА В РЕМОНТ, РАЗБОРКА И ОЧИСТКА МАШИН, СОРТИРОВКА ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТНОГО ФОНДА	45
2.1. Приемка машин в ремонт.....	45
2.2. Разборка и очистка машин	52
2.3. Сортировка деталей ремонтного фонда	76
<i>Лабораторная работа № 1. Определение технического состояния детали.....</i>	<i>89</i>
Тематика исследований и рефератов	89
Требования, предъявляемые к студентам.....	90
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	90
3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ.....	91
3.1. Содержание процесса восстановления детали	91
3.2. Ремонтные заготовки.....	95
3.3. Источники тепла в процессах нанесения покрытий	99
3.4. Материалы для нанесения покрытий с использованием источников тепла	108
3.5. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок	118
3.6. Наплавка покрытий	129
<i>Практическое занятие № 3. Технологические расчеты наплавки проволочных и порошковых материалов.....</i>	<i>150</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Плазменная наплавка</i>	<i>154</i>
3.7. Напыление материала.....	155
3.8. Электроконтактная приварка металлического материала.....	169
3.9. Электроискровая обработка.....	176
3.10. Нанесение химических и электрохимических покрытий.....	181

<i>Практическое занятие № 4. Технологические расчеты нанесения электрохимических покрытий</i>	201
<i>Лабораторная работа № 3. Нанесение электрохимических покрытий</i>	202
3.11. Использование дополнительных ремонтных деталей	203
3.12. Пластическое деформирование материала	210
3.13. Обработка резанием ремонтных заготовок.....	221
<i>Практическое занятие № 5. Механическая обработка заготовок под ремонтный размер</i>	237
<i>Лабораторная работа № 4. Обработка шеек коленчатого вала под ремонтный размер</i>	238
3.14. Измерения в процессах восстановления деталей	238
3.15. Термическая обработка заготовок	247
3.16. Восстановление свойств деталей	259
<i>Лабораторная работа № 5. Устранение пробоин в стенках корпусных деталей</i>	271
3.17. Упрочнение восстанавливаемых деталей.....	272
3.18. Восстановление типовых деталей.....	279
Тематика исследований и рефератов	290
Требования, предъявляемые к студентам.....	291
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	293
4. УРАВНОВЕШИВАНИЕ И КОМПЛЕКТОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, СБОРКА, ОКРАШИВАНИЕ, ОБКАТКА И ИСПЫТАНИЕ АГРЕГАТОВ И МАШИН	294
4.1. Уравновешивание деталей и сборочных единиц.....	294
4.2. Сборочные комплекты деталей	300
<i>Практическое занятие № 6. Сборочный комплект деталей агрегата</i>	306
4.3. Сборка агрегатов и машин	307
<i>Лабораторная работа № 6. Сборка шатунно-поршневой группы</i>	315
4.4. Окрашивание машин и нанесение противокоррозионных покрытий.....	316
<i>Практическое занятие № 7. Окрашивание агрегатов</i>	330
4.5. Обкатка и испытания агрегатов и машин.....	331
<i>Лабораторная работа № 7. Обкатка и испытания двигателя</i>	344
4.6. Послеремонтное диагностирование, консервация и сдача машины заказчику	344
<i>Лабораторная работа № 8. Послеремонтное диагностирование масляного насоса</i>	349
Тематика исследований и рефератов	350
Требования, предъявляемые к студентам.....	350
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	351
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СРЕДСТВ РЕМОНТА	352
5.1. Проектирование технологических процессов и их унификация	352
5.2. Проектирование средств технологического оснащения.....	363

Тематика исследований и рефератов	380
Требования, предъявляемые к студентам.....	380
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	380
6. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА.....	381
6.1. Основы организации ремонтного производства	381
<i>Практическое занятие № 8. Поточная сборка агрегатов.....</i>	<i>394</i>
6.2. Система качества ремонта машин.....	395
<i>Практическое занятие № 9. Политика качества</i>	<i>409</i>
6.3. Ресурсосбережение в ремонтном производстве	410
6.4. Охрана окружающей среды	424
Тематика исследований и рефератов	433
Требования, предъявляемые к студентам.....	433
Рейтинговый контроль знаний материала главы.....	434
7. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	435
7.1. Ремонт за рубежом.....	435
7.2. Совершенствование специализации, структуры и организации ремонтного производства.....	442
7.3. Совершенствование процессов и средств ремонта	450
Тематика исследований и рефератов	459
Требования, предъявляемые к студентам.....	460
Рейтинговый контроль знаний материала главы и дисциплины	460
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	461
ЛИТЕРАТУРА.....	463

Учебное издание

ИВАНОВ Владимир Петрович

РЕМОНТ МАШИН
ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ
УЧЕБНИК

2-е издание, переработанное и дополненное

Редактор А.Э. Цибульская
Дизайн обложки И.С. Васильевой

Подписано в печать 25.04.06. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 27,15. Уч.-изд. л. 29,12. Тираж 70. Заказ 563.

Издатель и полиграфическое исполнение –
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29