**В. П. ИВАНОВ**

# ОСНОВЫ РЕМОНТА МАШИН

Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности
Т.03.02 "Технология и оборудование высокоэффективных
процессов обработки материалов"

Новополоцк
2000

УДК 631.3.004.67

Рецензенты:

Член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор Н. Н. ДОРОЖКИН.

Доцент кафедры ремонта машин Белорусского государственного аграрного технического университета, кандидат технических наук И. И. ХИЛЬКО.

В. П. Иванов. Основы ремонта машин. Учебное пособие. Новополоцк: ПГУ, 2000. - 245 с. ISBN985-418-068-9: ил.

Изложены особенности и рассмотрены эффективность технологии ремонта машин. Приведены способы и технологии восстановления деталей машин, сборки узлов, уравновешивания сборочных единиц, приработки, окраски и испытания агрегатов. Рассмотрены основы технологической подготовки ремонтного производства.

Для студентов специальности "Технология и оборудование высокоэффективных процессов обработки материалов" и инженерно-технических работников ремонтных предприятий.

ISBN 985-418-068-9

© В.П. Иванов, 2000

# ВВЕДЕНИЕ

Ремонт машин возник одновременно с созданием их парка как объективная необходимость поддержания машин в работоспособном состоянии 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, утраченных во время их длительной эксплуатации. Объемы ремонта велики – в настоящее время в Республике Беларусь капитально отремонтированных машин находится больше, чем новых.

Однако послеремонтная наработка техники в 1,5...2,5 раза меньше наработки новых изделий. На долю устранения отказов приходится до 60 % общих затрат на поддержание машин в работоспособном состоянии, а наработка на сложный отказ в среднем на 30 % ниже нормативных значений. Эти показатели объясняются тем, что ремонтные заводы в количественном и качественном отношениях оснащены только на 15...25 % по сравнению с предприятиями по изготовлению машин.

Специализированное ремонтное производство, несмотря на недостатки, остается ресурсосберегающим производством, которое нуждается в совершенствовании, поскольку затраты на устранение неисправностей и восстановление ресурса при капитальном ремонте составляют только 20...30 % от затрат на производство машин.

Научно обоснованные технология и организация ремонта машин позволяют достичь нормативной наработки техники, а в отдельных случаях и превзойти наработку новых изделий.

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 энергии на пути превращения ремонтируемых машин из состояния ремонтного фонда в товарную продукцию.

Научная база ремонта машин создавалась на трудах профессоров И. В. Грибова, В. Э. Вейриха, В. И. Казарцева, В. В. Ефремова, В. А. Шадричева, К. Т. Кошкина и др.

Предмет науки о ремонте машин составляют закономерности подготовки и организации производства к ремонту машин, обеспечивающего требуемое качество и заданное количество отремонтированных машин с наименьшими затратами труда, энергии и материалов.

Большой объем исследований по восстановлению изношенных деталей ведут академические учреждения (Институт надежности машин, Физико-технический институт, НПО «Порошковая металлургия», Институт механики металлополимерных систем), учебные ВУЗы (БАТУ, БГПА, БГУ, ПГУ и др.). Над организацией ремонта работают отраслевые проектно–конструкторские организации (ПТИ «Сельхозтехпроект», НПО «Транстехника» и др.).

Цель настоящего курса состоит в формировании у студента представления о специализированном ремонтном производстве и его особенностях, об основных технологических процессах разборки и очистки объектов, получении исходных и ремонтных заготовок различными способами, сборки, приработки и испытаниях ремонтируемых машин, выборе лучших технических решений и разработке технологического процесса восстановления деталей, о технологической подготовке ремонтного производства и источниках экономической эффективности ремонта.

Знания дисциплины, получаемые будущими инженерами, необходимы для обеспечения требуемого качества отремонтированных машин, эффективности производства, установленных сроков и объемов выпуска продукции.

Курс «Основы ремонта машин» состоит из следующих разделов:

1. Характеристика и производственный процесс ремонта.
2. Получение исходных заготовок ремонта.
3. Основы восстановления деталей.
4. Сборочно-испытательное производство и подготовка ремонта.

Вопросы надежности машин и физики отказов, диагностики машин и проектирования участков восстановления деталей изложены в отдельных курсах специальности Т.03.02 и в рамках настоящей дисциплины не рассматривались.

Дисциплина требует от студента знаний физики, химии, материаловедения, термической обработки металлов, технологии машиностроения, квалиметрии, экономики и организации производства, теории надежности и старения машин

# Раздел 1. ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС РЕМОНТА

## *1.1. Характеристика объекта, технологии и эффективность ремонта*

### 1.1.1. Место и необходимость ремонта в системе поддержания машин в работоспособном состоянии

Машина – это устройство искусственного происхождения, которое обладает определенностью движений своих частей, использует энергию неживой природы и целесообразно преобразует материалы, энергию и информацию. Машины облегчают физический и умственный труд человека или высвобождают его из трудового процесса.

Машины относятся к продукции, которая расходует свой ресурс при использовании, в отличие от продукции, которая расходуется при использовании сама. Как расходуется и восстанавливается ресурс машин?

В машине при ее работе протекают рабочие и разрушительные процессы. Рабочие процессы – это полезные процессы, связанные с выполнением машиной основной функции по назначению. Рабочие процессы являются предметом теории рабочих процессов.

Теорию ремонта машин интересуют разрушительные процессы и их соотношение с рабочими процессами. Интенсивность рабочих процессов $f_1(t)$ и разрушительных процессов $f_2(t)$ может быть представлена двумя прерывистыми кривыми (рис. 1. 1). Естественно, интенсивность рабочих процессов по мере наработки машины падает, а интенсивность разрушительных процессов – возрастает. Если не проводить никаких работ по поддержанию исправности и работоспособности машины, то скоро наступит момент $t_0$ ее отказа. Работы по обслуживанию машин сдерживают рост интенсивности разрушительных процессов и уменьшают падение кривой рабочих процессов. Разрывы кривых в точках графика $t_1$, $t_2$, …, $t_{n-1}$, $t_n$ объясняются скачкообразным изменением интенсивностей обоих процессов за счет ремонтных работ. Однако наступает момент, когда разрушение начинает превалировать над полезными процессами.

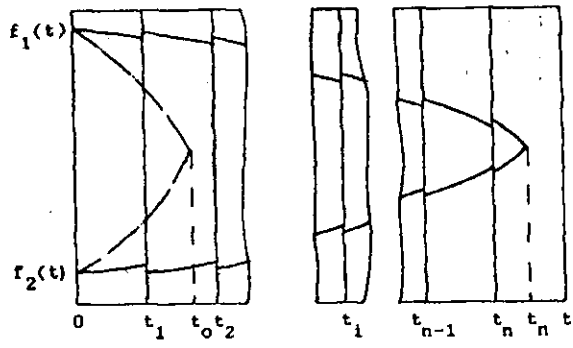


Рис 1. 1. Интенсивность рабочих процессов $f_1(t)$ и разрушительных процессов $f_2(t)$, протекающих в машине в течение срока службы t

Машина в этом случае или не способна выполнять предназначенную функцию, или выполнение ее сопряжено с затратами, превышающими пользу от применения машины. Такое состояние машины называется предельным.

Машина может быть также в исправном, неисправном, работоспособном и неработоспособном состояниях. В исправном состоянии машина соответствует всем требованиям нормативной документации, а если машина не соответствует хотя бы одному из требований этой документации, то она признается неисправной. Работоспособное состояние машины такое, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной документации. Если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативной документации, то машина признается неработоспособной.

Площадь, ограниченная кривыми $f_1(t)$ и $f_2(t)$, определяет потенциальную возможность A машины, которая соответствует интегралу:

$$A = \int_0^{t_n} \left[ \sum_{i=1}^{n} f_1(t) - \sum_{i=1}^{n} f_2(t) \right] \cdot dt$$

В результате разрушительных процессов в деталях накапливаются повреждения, что приводит к старению машин.

Переход в неисправное или неработоспособное состояние определяется как отказ. Причина отказа машины заключается в накоплении критического множества повреждений в ее элементах. Повреждения проявляются в виде деформаций и механических разрушений, трения и истирания поверхностей, старения и усталости материала, коррозии деталей.

Одно из основных эксплуатационных свойств машины – это ее надежность. Согласно ГОСТ 27.002–89 под надежностью понимают свойство объекта 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 – это комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость или сочетания этих свойств. Надежность отремонтированной машины зависит в основном от качества ремонта, условий ее эксплуатации и обслуживания.

Безотказность – свойство машины сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Оценивается, например, вероятностью безотказной работы или средней наработкой до отказа.

Долговечность – свойство машины сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Показателями долговечности служат ресурс и срок службы. Ресурс – это наработка машины до предельного состояния, а срок службы – календарная продолжительность ее эксплуатации до исчерпания ресурса.

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

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение, после хранения и транспортирования.

Ресурс деталей по прочности, как правило, превышает их ресурс по износостойкости и усталостной прочности. Это положение

предполагает использование остаточной долговечности деталей путем восстановления их элементов до уровня, установленного нормативной документацией.

Система поддержания машин в работоспособном состоянии получила наибольшее развитие применительно к летательным аппаратам, автомобилям, станкам и сельскохозяйственной технике.

В большинстве отраслей промышленности действует система мер по поддержанию машин в работоспособном состоянии, которая имеет профилактическую направленность и учитывает закономерности изнашивания машин. Мероприятия этой системы включают в себя два вида воздействий.

Воздействия первого вида выполняются в плановом порядке и направлены на уменьшение интенсивности изнашивания деталей за счет предупреждения и своевременного выявления неисправностей. Неисправности выявляются в результате осмотра, контроля и проверки действия механизмов, а предупреждаются за счет проведения уборочно-моечных, смазочных и крепежно-регулировочных работ. Это множество работ называется техническим обслуживанием и направлено на поддержание работоспособности или исправности машин при их использовании по назначению, хранении или транспортировании.

Главная задача технического обслуживания заключается в экономически эффективном поддержании работоспособности машин путем уменьшения интенсивности разрушительных процессов, протекающих в машинах при их хранении и эксплуатации.

Воздействия второго вида направлены на устранение неисправностей и восстановление ресурса машин путем замены или восстановления изношенных деталей и сборочных единиц. Воздействия этого вида называются ремонтом.

Ремонт машин возник в начале века вместе с их использованием по назначению. Плановый ремонт оборудования впервые проводился в 1923–28 гг. на предприятиях б. Приокского горного округа под руководством инженера А. Т. Попова. Начало развития авторемонтного производства следует отнести к 1920–21 гг., когда в системе Наркомата продовольствия был построен Миусский авторемонтный завод в Москве.

Система плановых (профилактических) ремонтов, назначаемых через определенные сроки, действует в авиации, исходя из высоких нормативов надежности, а также для пожарных машин, подвижного

состава, перевозящего опасные грузы и работающего в экстремальных условиях. В других отраслях промышленности преимущественно действует система ремонтов, основанная на обнаружении повреждений, называемая системой ремонтов по потребности. Ее разновидность – планово–диагностическая система ремонтов, которые проводятся с учетом технического состояния машины, определенного путем дискретного диагностирования.

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

'Система технического обслуживания и ремонта включает совокупность технологического оборудования и оснастки, документации и исполнителей, которые необходимы для поддержания и восстановления качества машин.

Жизненный цикл машины (рис. 1. 2) можно представить в виде этапов, основные из которых: проектирование, изготовление и эксплуатация с перерывами на техническое обслуживание и ремонт. Наиболее важным является третий этап жизни машины, в течение которого происходит ее потребление. При достижении предельного состояния машина перестает существовать как средство производства, а превращается во множество годных и негодных деталей. Однако использование массы годных деталей в качестве заготовок при капитальном ремонте может быть экономически оправдано при выполнении определенных условий.

Необходимость ремонта машин в современных условиях обусловлена рядом обстоятельств.

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

Второе. Различные детали и узлы машин имеют неодинаковый ресурс. Машина, спроектированная в виде устройства с равноресурсными элементами, не может реализовать это свойство в различных условиях эксплуатации. Неравнопрочность – свойство машины, заключающееся в разновременности выхода из строя ее составных частей. Потребность в ремонте возникает в различные

моменты эксплуатации. Капитальный ремонт обеспечивает нормативную безотказность машин в течение установленного срока их службы.

Третье. Ремонт позволяет использовать сохранившуюся потребительскую стоимость в виде остаточной долговечности. Досрочная замена машины приводит к потере недоамортизированной стоимости машины.

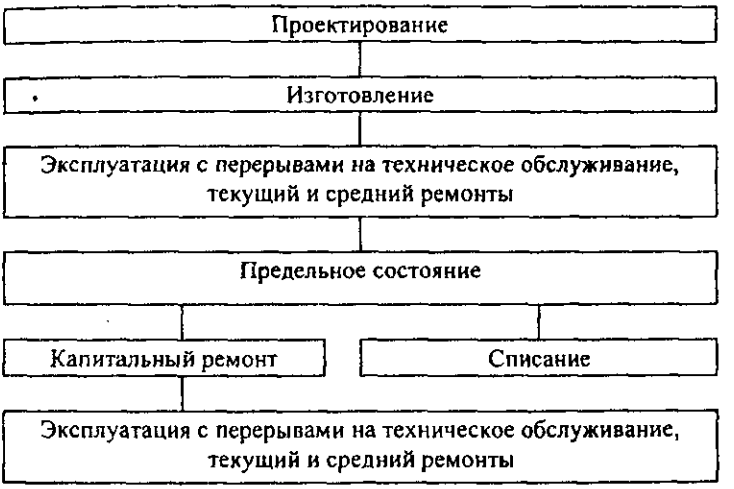


Рис. 1. 2. Стадии жизненного цикла машины.

Четвертое. Ремонт, проводимый совместно с модернизацией, позволяет значительно сблизить сроки физического и морального износа машин, повысить их технический уровень или приспособить к новым потребностям производства. Ремонт снижает интенсивность морального износа.

И, пятое. Имеется экономическая целесообразность ремонта. Рассмотрение множества деталей ремонтного фонда показывает, что около четверти деталей изношены в допустимых пределах и могут быть

использованы повторно. 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.

Научное обеспечение ремонтной отрасли включает в настоящее время такие основные разделы: исследование процессов старения машин (Селиванов А. И.), ремонтопригодность машин (Волков П. Н., Аристов А. И.), промышленная чистота машин (Тельнов Н. Ф., Коробко В. И., Мороз В. П.), изучение и разработка способов восстановления утраченной работоспособности деталей и их упрочнения (Ульман И. Е., Петров Ю. Н., Поляченко А. В., Наливкин В. А., Кряжков В. М., Вадивасов Д. Г., Мелков М. П., Черноиванов В. И., Каракозов Э. С., Ачкасов К. А., Некрасов С. С., Дорожкин Н. Н., Ярошевич В. К., Пантелеенко Ф. И., Ивашко В. С., Бетеня Г. Ф., Спиридонов Н. В., Кожуро Л. М., Деев В. А., Ломоносов Ю. А., Авдеев М. В.), разработка ремонтно-технологического оборудования (Воловик Е. Л., Еремин А. В.), организация, специализация и размещение ремонтного производства (Черепанов С. С., Дергачев А. Ф., Крипицер М. В., Масино М. А., Какуевицкий В. А., Конкин Ю. А., Суслов В. П., Рассказов М. Я., Маслов Н. Н.), послеремонтная надежность (Авдонькин Ф. Н., Дехтеринский Л. В., Михлин В. М., Иващенко Н. И., Луневский И. И., Дюмин И. Е., Крамаров В. С., Бурумкулов Ф. Х.).

Уточним понятия, применяемые в литературе о ремонте машин: реставрация, восстановление и ремонт. Реставрация (лат. restauratio) – означает восстановление в первоначальном виде художественных и архитектурных произведений, восстановление свергнутого общественного строя. Вводить этот термин в практику ремонта машин нет необходимости. Термин «восстановление» – приведение в прежнее состояние, относится к детали. Ремонт – буквально означает «перемонтировать». Монтаж (фр. montage) – подъем, сборка и установка машин и сооружений, относится к машине, т.е. к объекту, к которому применительны воздействия, называемые разборочно-сборочными работами.

### 1.1.2. Отличительные признаки ремонтного производства

Большинство отраслей машиностроения не осуществляют ремонта своих изделий. Сложившаяся практика использования машин показывает, что эти функции осуществляют отрасли, потребляющие машины.

Выяснение общих черт и отличий ремонтного производства в сравнении с машиностроением необходимо для заимствования прогрессивных средств оснащения, технологий и организационных форм и определения специфичных путей развития ремонтного производства.

Проф. К. Т. Кошкин первым определил специфические черты технологии ремонта: наличие разборочного процесса; применение дефектоскопии деталей ремонтного фонда; производство сборки машин в значительной мере из уже работавших деталей (восстановленных и годных без ремонта), которые по отдельным параметрам отличаются от новых; отличие способов восстановления изношенных деталей от способов их изготовления. Неопределенное состояние ремонтного фонда также отличает ремонтное производство от машиностроения.

Разные исходные заготовки и объемы производств диктуют отличия ремонтного производства от машиностроительного (рис. 1. 3).

Исходный предмет ремонта – это ремонтный фонд машин, состоящий из загрязненных и изношенных деталей. Повреждения одноименных элементов деталей характеризуются различными значениями (допустимыми и предельными), что обусловливает различные сочетания износных повреждений и различную остаточную долговечность. Большое количество состояний деталей ремонтного фонда требует группирования деталей с подобными сочетаниями повреждений, формирования партий деталей с такими сочетаниями и запуск их на восстановление партиями.

Детали новых машин изготавливают из материальных полуфабрикатов, обладающих технологической определенностью.

В ряде случаев исходные заготовки ремонта не имеют припусков на обработку не только под номинальные, но и под ремонтные размеры, что приводит к проблеме создания ремонтных заготовок, т.е. к образованию 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 предприятиями и их ведомственная

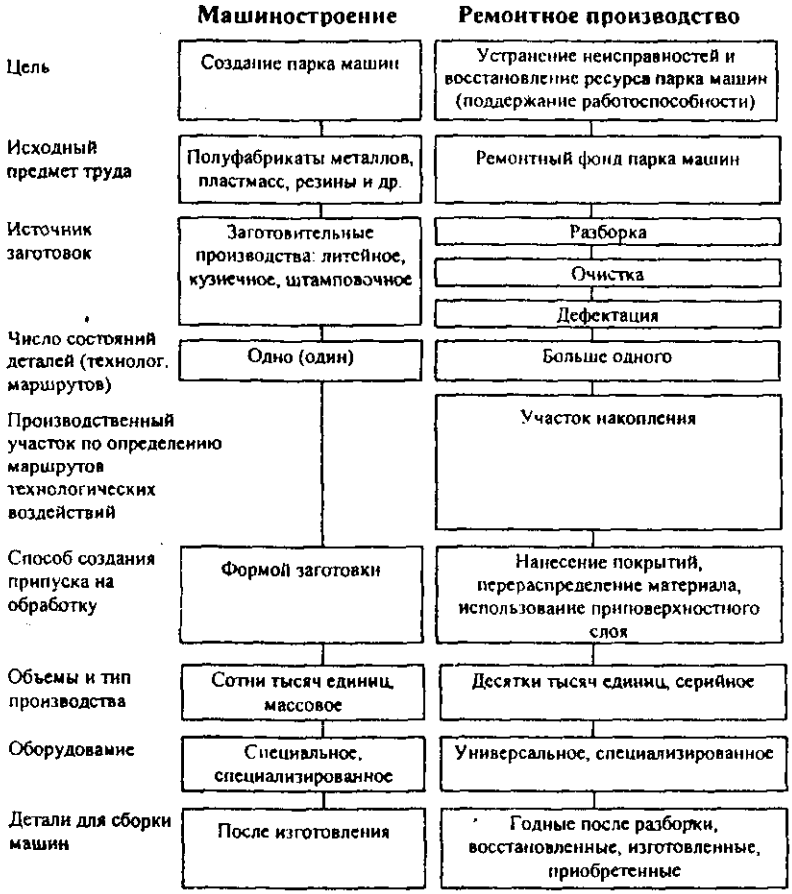


Рис. 1. 3. Сопоставление признаков машиностроения и ремонтного производства

разобщенность объясняют меньшие объемы выпуска продукции отдельным ремонтным заводом. Этим, в свою очередь, объясняется и меньшая оснащенность операций ремонта, как по количеству, так и по

техническому уровню оборудования. Ремонтные предприятия оснащены в 4...6 раз хуже машиностроительных заводов.

Распространенное оборудование в ремонтном производстве – универсальное и специализированное. Специальное оборудование здесь исчисляется единицами. Специализированное оборудование ремонтного производства получают путем заводской модернизации универсальных металлорежущих станков.

В машиностроении распространено оборудование специализированное и специальное.

Таким образом, отличие ремонтного производства от машиностроения обусловливается следующими причинами: наличием специализированных производств (разборки, очистки, определения технического состояния деталей, создания ремонтных заготовок, комплектования деталей различных категорий перед сборкой машин), которым нет аналогов в машиностроении; необходимостью пред– и послеремонтного диагностирования, как неразрушающего и безразборного определения неисправностей, качества ремонта и остаточного ресурса деталей и сопряжений; 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 этапа отработки изделия на технологичность, т.к. в качестве чертежей изделий применяют разработки машиностроительного производства с небольшими изменениями; требованием обеспечения примерно одинаковых значений свойств товарной продукции при различных производственных возможностях; большой потребностью в создании переналаживаемых средств технологического оснащения и необходимостью изготовления большого количества оснастки на универсальное оборудование.

Послеремонтная наработка машин уступает наработке новых изделий в силу приведенных ранее причин технологического и организационного характера.

### 1.1.3. Виды ремонта и ремонтных производств

Ремонт машин разделяют на капитальный, средний и текущий, в зависимости от степени восстановления их ресурса. Капитальный ремонт служит для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса машины с заменой или восстановлением любых ее деталей, включая базовые. Средний ремонт выполняет восстановление исправности и частичное восстановление ресурса машины с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры. Текущий ремонт машины служит для восстановления ее работоспособности и состоит в замене или восстановлении отдельных ее частей.

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

Метод ремонта, выполняемого с принудительным перемещением машины с одного специализированного рабочего места на другое в определенной технологической последовательности и с установленным ритмом, называется поточным. В противном случае ремонт является тупиковым.

Ремонт выполняется силами эксплуатирующей или специализированной организации, или предприятием–изготовителем.

Капитальный ремонт выполняется в специализированном основном производстве, а текущий – в зоне технического обслуживания и ремонта вспомогательного производства.

Предприятия по предметному признаку специализированы на ремонт продукции определенного вида и комплектности.

Различные заводы ремонтируют автомобили, двигатели, тракторы, тепловозы, суда, самолеты, бронетехнику и другие машины. Заводы могут ремонтировать полнокомплектные машины и (или) их агрегаты.

По территориальному признаку, объему и сложности выполняемых работ ремонтно-обслуживающее производство относят к трем уровням.

Первый уровень составляют подразделения организаций, эксплуатирующих свою технику. Например, каждое машиностроительное предприятие имеет собственное производство для среднего и текущего ремонта оборудования.

Второй уровень – это ремонтные мастерские общего назначения, станции технического обслуживания и ремонта, специализированные по различным видам машин.

Третий уровень составляют специализированные ремонтные заводы и научно-производственные объединения, предназначенные для наиболее сложных и трудоемких видов ремонта машин и их составных частей. Эти предприятия областного или республиканского значения, они наиболее оснащены, здесь в полной мере представлены средства и процессы ремонта.

Специализированное ремонтное производство Республики Беларусь состоит более чем из 30-ти ремонтных заводов, по существу выполняющих вторичное производство машин. Это производство основано на принципах полной или групповой взаимозаменяемости. Ремонтные заводы принадлежат министерствам сельского хозяйства и продовольствия, транспорта, обороны и другим ведомствам. На одну машину, выпущенную заново, приходится 2...4 капитально отремонтированные машины. Самое большое ремонтное 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.

Специализация ремонтных заводов изменяется с потребностями рынка. Наблюдается переход от ремонта полнокомплектных машин к ремонту их агрегатов. Сейчас необходим ремонт основных сборочных единиц (цилиндропоршневых групп, коленчатых валов с маховиком и сцеплением и др.) с восстановлением малоресурсных деталей (поршней, вкладышей коленчатого вала), которые ранее подлежали замене на новые. Комплекты восстановленных деталей применяют в хозяйствах при среднем или текущем ремонтах машин.

## Производственный процесс ремонта

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

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

### 1.2.1. Нормативные и ремонтные документы

Нормативные документы на ремонт техники – это межгосударственные или республиканские стандарты, определяющие общие технические требования к машинам, сдаваемым в ремонт и выпускаемым из ремонта, а также их комплектность. Ремонтные документы включают руководства по капитальному ремонту отдельных машин и их агрегатов, ремонтные чертежи, каталог деталей и нормы расхода запасных частей и материалов на капитальный ремонт.

Применительно к автомобилям и их составным частям действуют стандарты СТБ 928–93 – 930–93, устанавливающие общие технические требования и комплектность к объектам, сдаваемым в капитальный ремонт и выпускаемым из него. Стандарты устанавливают правила приемки в ремонт, комплектность и документацию, процедуру приемки, состояние техники, поступающей в ремонт и сдаваемой заказчику. Машина проходит только один капитальный ремонт в течение всего времени существования.

Руководства по капитальному ремонту отдельных машин и их агрегатов разрабатывают отраслевые специализированные проектно-конструкторские организации (например, ПТИ «Сельхозтехпроект», НПО «Транстехника»). Руководства содержат требования к организации ремонта, сведения по приемке в ремонт и хранению ремонтного фонда, разборке, подготовке к сортировке и восстановлению деталей, технические требования к сортировке, восстановлению, сборке, окраске и приемке из ремонта, устанавливают порядок маркировки, упаковки, хранения и транспортирования, приводят гарантии ремонтного предприятия. Требования к отремонтированной продукции рассчитаны на достижение 80%-ой наработки от нового изделия, поэтому эти требования уступают требованиям к новому изделию. Требования конкретизированы нормами геометрической точности деталей, свойствами объема и поверхностного слоя восстанавливаемых деталей, замыкающими размерами при сборке, моментами и усилиями при сборке, испытательными параметрами. Ранее приведенные стандарты служат нормативной базой для составления Руководств.

Ремонтному предприятию необходимо иметь комплект рабочих конструкторских документов завода-изготовителя на ремонтируемое изделие и типовые технологические процессы на различные этапы ремонта.

Типовые технологические процессы на различные этапы разрабатывают и издают проектные и учебные институты. Эти процессы имеют рекомендательную силу и служат методическим руководством для разработки технологических процессов на конкретном заводе.

Ремонтные чертежи предназначены для изготовления дополнительных ремонтных деталей, восстановления деталей, ремонта сборочных единиц, сборки и контроля отремонтированного изделия. Они содержат только размеры, предельные отклонения, замыкающие размеры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделий.

Иллюстрированный каталог деталей машины выпускает завод-изготовитель типографским способом. Принята семизначная система нумерации деталей машин, действующая на всех автомобильных и тракторных и большинстве машиностроительных заводов. По этой системе обозначение детали включает следующие элементы: индекс модели машины, дефис, первые две цифры – номер группы, вторые две цифры – номер подгруппы, последние три цифры – порядковый номер детали в подгруппе.

Проектные организации разрабатывают укрупненные нормы расхода запасных частей, материалов и инструментов на капитальный ремонт отдельных машин.

Заводские инженерные службы (технический отдел, отдел главного технолога) разрабатывают процессы восстановления деталей и ремонта машин, соответствующие средства ремонта и уточняют материальные нормативы, взятые из нормативных документов. Технологическая документация и средства ремонта, разработанные на заводе, проходят технологическую экспертизу и нормоконтроль на предмет обеспечения требований, установленных нормативными документами.

## 1.2.2. Схема процесса ремонта машин

Производственный процесс ремонтного завода охватывает доставку и хранение ремонтного фонда, обеспечение материалами и запасными частями и их складское хранение, работу вспомогательного производства по обеспечению теплом, энергией, воздухом, холодом, и другими ресурсами, все этапы технологических воздействий на

ремонтируемое изделие, хранение и сбыт отремонтированных машин (рис. 1. 4).

Технологический процесс ремонта – это часть его производственного процесса, которая содержит действия по изменению

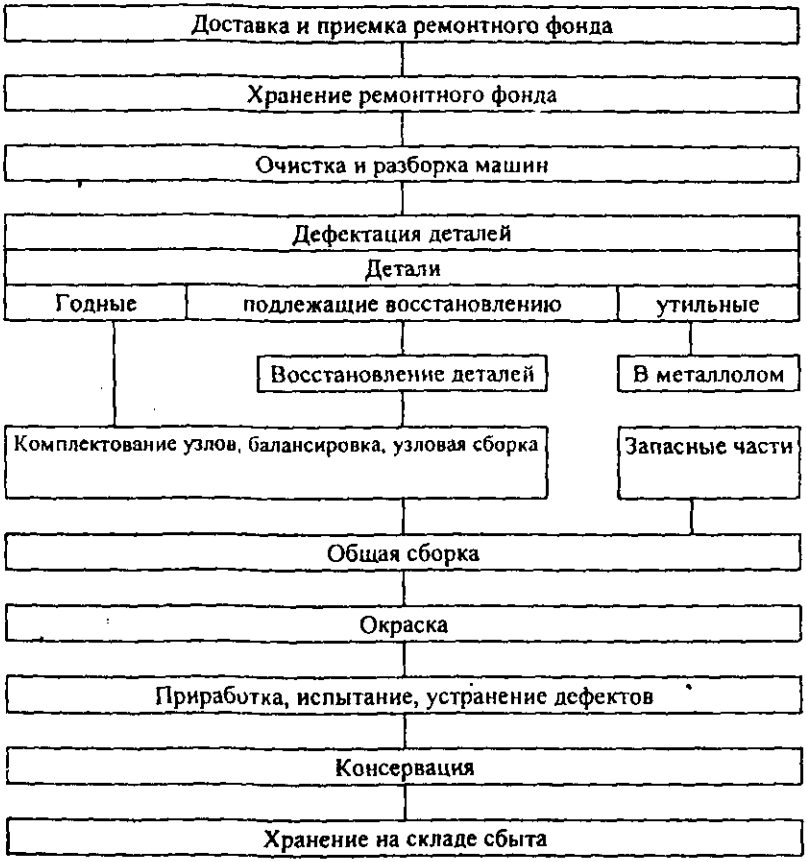


Рис. 1. 4. Схема производственного процесса ремонта машин.

состояний предмета ремонта и последующему определению этих состояний.

Ремонтный фонд машин доставляет на завод заказчик, а ремонтный фонд агрегатов, как правило, централизованным порядком – завод. Принятый ремонтный фонд хранится в закрытых помещениях или под навесами на технологических стеллажах или подставках.

Машины, сдаваемые в ремонт, должны быть тщательно очищены от грязи и вымыты. Составные части, сдаваемые в ремонт отдельно, должны быть без жидкой смазки, герметизированы пробками или заглушками, а неокрашенные поверхности покрыты консервирующими составами.

Технику в ремонт принимает представитель ремонтного завода в присутствии заказчика. Приемщик составляет приемо-сдаточный акт, имея заключение о техническом состоянии машины. Последнее определяется в результате наружного осмотра, применения средств контроля и диагностирования, а в необходимых случаях и разборки. Машина, принятая в капитальный ремонт, должна быть в состоянии, обусловленном нормальной эксплуатацией и естественным износом деталей. На машине не должно быть деталей, отремонтированных способами, исключающими возможность их последующего восстановления (приварка вместо закрепления резьбой и др.). Все сборочные единицы, приборы и детали должны быть закреплены так, как это предусмотрено конструкторской документацией.

В ремонт принимают машины только соответствующей комплектности, а также, если базовые детали не подлежат списанию. Машину, принятую в ремонт, при необходимости консервируют.

Машина на разборочно-очистной участок подается с помощью конвейера.

Очистные и разборочные технологические воздействия, сменяя друг друга, превращают машину из состояния ремонтного фонда во множество исходных заготовок. Это множество деталей подлежит сортировке на три группы: годных, требующих восстановления и негодных. Работы по группированию выполняют на участке определения технического состояния деталей. Годные к использованию детали без дальнейшей доработки направляются на комплектовочный участок. Детали, которые имеют устранимые повреждения и подлежат восстановлению, являются исходными заготовками и направляются в склад накопления. Детали, имеющие неисправимые повреждения,

признаются утильными и направляются на участок переработки металлолома. Сортировке подлежат все детали разобранной машины, рассмотренные в технических требованиях к их техническому состоянию.

Детали с устранимыми повреждениями формируются в складе накопления в группы с одинаковыми сочетаниями устраняемых повреждений и в виде партий направляются на соответствующие участки восстановления.

Восстановление изношенных деталей является основой ремонтного производства. Оно обеспечивает энерго– и ресурсосбережение этого производства.

На специализированных участках по восстановлению отдельных деталей вначале исходные заготовки превращают в ремонтные заготовки путем создания припусков на восстанавливаемых элементах. Припуски создают из материала исходной заготовки или путем нанесения покрытий. Материал самой детали может быть использован для обработки под новый ремонтный размер или после перемещения его из неизнашиваемого объема в зону износа путем пластического деформирования. Ремонтное производство располагает разнообразными способами создания припусков на восстанавливаемых поверхностях, обеспечивающих получение требуемых геометрических параметров и свойств детали. Эти способы включают закрепление дополнительных ремонтных деталей, наплавку, напыление, нанесение гальванических и химических покрытий и другие. Создание припусков в отдельных случаях сочетается с упрочнением восстанавливаемых элементов.

Исходные заготовки с созданным припуском под механическую обработку превращаются в ремонтные заготовки.

Ремонтные заготовки проходят механическую и термическую обработку, в результате которой они превращаются в детали за счет приобретения необходимых взаимного расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей, а также требуемых физико-механических свойств материала. В конце процесса восстановления определяют значения параметров, установленных картой технического контроля.

Восстановленные детали поступают на комплектовочный участок. Здесь формируют комплекты деталей ремонтируемых изделий. В эти комплекты входят детали годные без восстановления,

восстановленные и запасные части. Детали должны быть подобраны друг к другу по размерам и в необходимых случаях по массе. Некоторые детали или сборочные единицы должны иметь допустимый дисбаланс. Такие изделия проходят статическую или динамическую балансировку.

Полные комплекты деталей подают на универсальные сборочные посты или части этих комплектов – на специализированные посты сборочного конвейера. При сборке обеспечивают точность замыкающих размеров сборочных единиц с контролем значений моментов затяжки резьбовых соединений.

Собранные агрегаты окрашивают с целью придания им товарного вида и защиты от вредного влияния окружающей среды. Затем их направляют на участок приработки. Двигатели приводят вначале от постороннего источника энергии, а затем заводят, постепенно увеличивая нагрузку по установленной программе. Таким образом, сопряжения готовят к восприятию эксплуатационных нагрузок. В заключение приработки агрегаты испытывают. Испытание заключается в прослушивании и осмотре машины и измерении значений рабочих параметров с сопоставлением их с нормативными значениями. Собранную машину обкатывают и испытывают. По результатам испытаний принимают решение о реализации машины или устранении обнаруженных дефектов. Если были выявлены дефекты, то они устраняются, а машина направляется на повторные (возможно, сокращенные) испытания. Машина, принятая контрольным аппаратом, консервируется и сдается на склад готовой продукции.

### 1.2.3. Основное, вспомогательное и обслуживающее производства

Основное производство – это совокупность производственных цехов или участков (разборочно-очистных, сортировочных, создания ремонтных заготовок, обработки, комплектовочно – сборочных, окрасочных и приработочно – испытательных), функция которых – выпуск товарной продукции для продажи. Средства технологического оснащения и исполнители превращают предмет ремонта из состояния ремонтного фонда в состояние товарной продукции путем целенаправленного приложения ремонтно-восстановительных воздействий.

Производственная мощность основного производства выражается максимально возможным годовым объемом выпуска продукции. Объем продукции исчисляют в натуральном выражении, в приведенных и условных ремонтах. Отношение фактического объема выпуска продукции к производственной мощности завода является коэффициентом использования мощности.

За единицу приведенного ремонта принимают объем ремонта машины-представителя (например, автомобиля ГАЗ-3307 или двигателя ЗМЗ-53-11). Коэффициенты приведения соответствуют отношению трудоемкостей ремонта рассматриваемой машины и машины-представителя. За единицу условного ремонта принят объем ремонтных работ в 100 чел-час для условий мастерской общего пользования с производственной мощностью, равной 300 условных ремонтов в год.

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

$$K_{зо} = O/p$$

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

Различают производство единичное, серийное и массовое. В массовом производстве на каждом рабочем месте выполняют одну операцию ($K_{зо} = 1$). В единичном производстве $K > 40$, в мелкосерийном – $40 > K_{зо} > 20$, в серийном – $20 > K_{зо} > 10$ и в крупносерийном – $10 > K_{зо} > 1$.

Применяют цеховую, участковую и комбинированную структуру основного производства. Первую применяют 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 отделениями механическим, кузнечным и штамповочным;

– разборочный с отделениями разборки, очистки, определения повреждений и сортировки деталей, приготовления и очистки растворов и складом накопления;

– централизованного восстановления деталей с отделениями сварочно-наплавочным, нанесения газотермических покрытий, гальваническим, медницким, термическим, переработки резины и пластмасс, механическим с участками приготовления СОЖ и переработки стружки и специализированными отделениями по восстановлению типовых деталей;
– сборочный с отделениями ремонта электрооборудования, пневмо– и гидроаппаратуры, топливных систем, шин, сборки, окраски, нанесения антикоррозийных покрытий и комплектовочным складом;
– приработочно – испытательный с отделениями приработки, досборки и устранения дефектов со складом товарной продукции.

В структуре управления цехом имеются начальник цеха, начальники смен, старшие мастера, мастера и бригадиры.

Средне– и маломощные заводы в своем составе имеют участки, которые возглавляются старшими мастерами.

Вспомогательное производство служит для обеспечения жизнедеятельности основного производства. Функции вспомогательного производства: изготовление средств ремонта (оборудования и оснастки), необходимых в основном производстве, 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.

Вспомогательное производство включает отделы главного механика и энергетика, инструментальный и ремонтно-строительный участки.

Обслуживающее производство обеспечивает бесперебойную работу основного и вспомогательного производства. Обслуживающие процессы: транспортирование, складирование и выдача материалов и полуфабрикатов, лабораторные испытания материалов и др. В результате обслуживающих процессов не создается продукция, а только выполняются услуги.

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.

Внутризаводской транспорт производит внутри– и межцеховые и складские перевозки материалов, полуфабрикатов и изделий.

Лаборатории ремонтного завода: химическая, металлографическая, измерительная и надежности.

Заводоуправление включает должностных лиц и отделы, состав и функции которых зависят от мощности и специализации предприятия. Состав отделов: главного технолога и главного конструктора (технический отдел), технического контроля, материально–технического снабжения, планово–экономический, финансово–сбытовой, производственно–диспетчерский, труда и заработной платы, кадров.

### 1.2.4. Организационные формы ремонта

Ремонт машин потребляет большой объем труда, материалов и энергии, необходимых для реализации технологических процессов. Оптимизация расхода этих ресурсов за счет наилучшего их использования при своевременном выполнении объемов производства и обеспечении показателей качества и составляет предмет организации производства.

Производство должно быть организовано в масштабах ремонтной отрасли, завода, цехов (участков) и рабочих мест. Производство распределяют между заводами и их структурными подразделениями, затем организуют в пространстве, а затем во времени.

Производство организуют в трех уровнях пространства производственного корпуса: технологическом потолке, на уровне пола и в технологическом подвале. При этом средства ремонта и их обеспечения распределяют в объеме здания по высоте и на производственной площади производственного корпуса.

Объем технологического потолка можно разделить на три части по высоте здания. Объем выше подкрановых путей занимают подводные воздушные, водяные, паровые и кабельные коммуникации. Оценочным критерием для размещения пунктов ввода ресурсов и траекторий их перемещения является минимум диссипативных потерь энергии. В перспективе целесообразно размещение предсборочных складов агрегатов во втором уровне технологического потолка (в машиностроении такая организация накопления, хранения и комплектования изделий на подвесных конвейерах с автоматическим

адресованием груза применяется более двадцати лет). Здесь действуют грузоподъемные средства. В самом низком уровне технологического потолка в зоне досягаемости рук рабочего размещают подвесные инструменты (гайковерты, съемники и др.). Приведенные средства ремонта выполняют обслуживающие и вспомогательные функции. На уровне пола размещают технологическое оборудование и организуют перемещение предметов ремонта.

Наибольший объем организационно–технологических работ приходится на оптимизацию решений в этом уровне производственного объема. На этой стадии проектирования принимают следующие оценочные критерии: кратчайшие пути перемещения предмета ремонта; минимальная площадь производственных участков; минимальная транспортная работа по перемещению предмета ремонта и отходов. Основной принцип организации, обеспечивающий минимальное значение приведенных критериев, заключается в прямолинейности (прямоточности) перемещения предмета ремонта. Наименьшие строительные расходы и теплопотери имеют место в том случае, если производственное здание в плане имеет форму квадрата. Трансформаторы и распределительные устройства электроэнергии, пункты ввода тепловой энергии и воды, миникотельные должны быть расположены из расчета, чтобы потери энергии или напора были минимальными.

Технологический подвал занимают холостые ветви напольных конвейеров, технологическое оборудование вспомогательного назначения (насосные станции, фильтры, баки для сбора СОЖ, масла и оборотной воды) и канализационные трубопроводы. В ряде случаев технологический подвал используют для перемещения отходов (отработавшей воды, стружки). Создание канализационных коммуникаций требует строительных работ большой трудоемкости, а перенос этих коммуникаций в построенном здании почти невозможен. Разборочно-очистные участки, оснащенные развитой сетью канализационных каналов, должны тщательно прорабатываться на стадии подготовки производства, потому что дальнейшая их реконструкция сопряжена с огромными переделками.

Устойчиво сформировались принципы организации производства во времени: дифференциация или концентрация операций; равенство производственных мощностей производства и его частей; непрерывность, ритмичность и гибкость.

Принцип дифференциации предполагает разделение производственного процесса на отдельные технологические процессы, операции, переходы, приемы, движения. Чем на большее число частей разделен технологический процесс, тем меньше требования к квалификации рабочих, зато выше производительность труда и более высокие требования к организации производства. Концентрация операций и интеграция производства – принципы, обратные дифференциации. Технологические операции такого вида становятся многопереходными и многоинструментальными и реализуются на оборудовании с ЧПУ. Квалификация рабочих высокая, но организация работ – простая.

Если производственная мощность рабочего места или участка будет выше производственной мощности производства, то излишек этой мощности востребован не будет, а капитальные и текущие затраты будут больше необходимых. Мероприятия по уравниванию производственной мощности отдельных рабочих мест между собой включают передачу с места на место части работ, перестановку рабочих или дополнительное оснащение рабочего места средствами ремонта. Число рабочих на каждом рабочем месте должно быть пропорционально трудоемкости выполняемых на нем работ. Повышение степени пропорциональности процессов приводит к повышению производственной мощности предприятия в целом, улучшению использования производственных фондов, снижению себестоимости продукции.

Непрерывность производства предполагает сокращение до минимума перерывов в его процессах. Возможные потери рабочего времени выявляет анализ составляющих производственного цикла (времени выполнения операций, естественных процессов и перерывов). Исключение этих потерь обеспечивает корректирующее действие. Управляющие факторы, обеспечивающие непрерывность производства:

- расстановка рабочих и распределение между ними работ;
- установление взаимодействия;
- определение начала и конца операций;
- последовательное или параллельное их выполнение;
- определение начала и конца подачи ресурсов;
- установление интенсивности труда и распределение ее в течение смены;
- соотношение труда и отдыха.

Ритмичность производства определяется выпуском продукции через установленные промежутки времени. К нарушению ритмичности приводят внеплановые простои оборудования, несвоевременное материально–техническое обеспечение и недостаточная исполнительская дисциплина.

Гибкость производства – способность за короткое время и при минимальных затратах на том же оборудовании, не прерывая производственного процесса и не останавливая оборудования, по мере необходимости переходить на выпуск новой продукции произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования. Создание гибкого производства актуально для РП по причине его многономенклатурности и малых объемов.

На заводе возможно применение различных форм организации рабочих мест: ремонт на универсальных постах, ремонт на специализированных постах, поточный ремонт.

Ремонт на универсальных постах выполняется в том случае, если объем ремонта машин данного типа изделий мал, а их конструкция не допускает обезличивания составных частей. Эта форма организации неэффективна и применяется на маломощных предприятиях. В этом случае ремонт выполняет одна бригада рабочих, которая ведет все работы от начала до конца. Детали, требующие для восстановления специализированного оборудования, направляются на соответствующие участки. Организация простая, а исполнители определенно отвечают за качество ремонта. Однако в результате такой организации машина находится длительное время в ремонте, требуются рабочие высокой квалификации, а ремонт получается дорогой.

При увеличении объемов ремонта он организуется на специализированных постах. В условиях такой организации работ на каждом посту выполняется ремонт одного узла или множество заранее определенных воздействий. Применение специализированных постов позволяет повысить производительность труда, снизить требования к квалификации рабочих и уменьшить за счет этого стоимость ремонта. Эта форма организации применяется на предприятиях средней мощности и в крупных ремонтных мастерских. Наиболее совершенной формой организации производства является поточный ремонт машин. Поточное производство многие годы развивалось за счет глубокой дифференциации технологических процессов. При этой форме

технологические операции закрепляются за рабочими местами, расположенными в технологической последовательности. Предмет ремонта перемещается конвейером или транспортером непрерывно или с перерывом через некоторые интервалы времени, соответствующие рабочему такту. Поточное производство требует ритмичной синхронной работы всех рабочих постов, четкого бесперебойного функционирования всех производственных подразделений, обслуживающих поточную линию. Поточная форма организации производства обеспечивает наивысшую производительность труда, не требует использования высококвалифицированных рабочих и, следовательно, снижает себестоимость ремонта.

По признаку принадлежности восстанавливаемых составных частей к определенному экземпляру машины организуют обезличенный и необезличенный ремонт. При необезличенном методе ремонта сохраняется, а при обезличенном – не сохраняется принадлежность частей машины к определенному ее экземпляру. Обезличенный метод ремонта, при котором неисправные агрегаты заменяются новыми или заранее отремонтированными, называется агрегатным.

# Раздел 2. ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ЗАГОТОВОК РЕМОНТА

## *2.1. Разборка машин*

### 2.1.1. Состав разборочных работ

Разборочный процесс дает ремонтному предприятию около 20 % 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. Разборочное производство является, по сути, заготовительным производством, которое полностью обеспечивает участок восстановления деталей полуфабрикатами и сборочный участок – частью годных деталей. Трудоемкость разборочных работ составляет 6...8% от общей трудоемкости ремонта машин.

Основные работы, выполняемые на разборочном участке – разборка резьбовых и прессовых сопряжений. Например, при разборке автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л разъединяют около семисот резьбовых сопряжений с наружным диаметром резьбы от 3 до 36 мм. Необходимый момент для их разборки равен 3...560 Нм. Резьбовые детали состоят из болтов и винтов (31 %), гаек (35 %), шпилек (24 %), пробок, штуцеров, краников и других деталей (10 %). Моменты отворачивания ряда резьбовых деталей после их длительной эксплуатации в 1,5...2 раза превышают значения моментов затяжки.

Двигатель имеет около 50 наименований прессовых соединений. Значения усилий для их разборки в 1,20...1,25 раза превосходят соответствующие значения сборочных усилий и изменяются в пределах 1,7...40 кН.

Ряд сборочных единиц (блок цилиндров с картером сцепления и крышками коренных подшипников, шатуны с крышками нижних головок, разборные подшипники и др.) при изготовлении обрабатывались совместно, поэтому при ремонте не разукомплектовываются.

В ремонтном производстве имеется разборка неразъемных соединений (заклепочных, клеевых, паяных, сварных и подобных).

Разборка сопряжена с большим объемом работ по перемещению предмета ремонта.

### 2.1.2. Технологический процесс разборки и взаимодействие его с процессом очистки

Разборку машины по предметному признаку подразделяют на общую и узловую. Машину последовательно разбирают на агрегаты в результате общей разборки, а затем в процессе узловой разборки агрегаты разбирают на детали.

Разборочные и очистные работы выполняются на одном производственном участке, сменяя друг друга. Очистные работы имеются в начале и конце этой последовательности, которая имеет такой вид: очистка наружных и внутренних поверхностей неразобранной машины, подразборка, очистка подразобранной машины, общая и узловая разборка; общая очистка деталей и сборочных единиц, очистка деталей от прочных загрязнений, сбор, очистка и сортировка крепежных деталей.

Планировочное решение участка разборки и очистки двигателей внутреннего сгорания приведено на рис. 2. 1.

Двигатель устанавливают на подвесной разборочный конвейер. С установочным элементом соединена подвеска с ячейками для снятых деталей. Из двигателя сливают в емкость остатки смазочного масла. Отработанное масло сдается специализированному предприятию на регенерацию или отправляется на фильтрацию в заводских условиях.

Наружные поверхности очищают от маслогрязевых отложений в конвейерной погружной машине. Эта операция (О1) готовит агрегат к общей разборке.

Отвинчиваются резьбовые детали, которые крепят детали и сборочные единицы, закрывающие доступ вихрей очистного раствора к внутренним полостям агрегата (Р1). Здесь снимают и устанавливают на подвеску конвейера, например, впускную трубу, крышку клапанной коробки, шкив и ступицу коленчатого вала, крышку распределительных шестерен и масляный картер. Эта и последующие установки деталей на подвеску должны обеспечить доступ к очищаемым поверхностям струй или вихрей очищающей среды, в том числе и к внутренним полостям. Детали не должны покидать свои ячейки под действием этих струй или

вихрей. Приведенная операция составляет подразборку двигателя, цель которой – наилучшим образом подготовить машину к очистке.

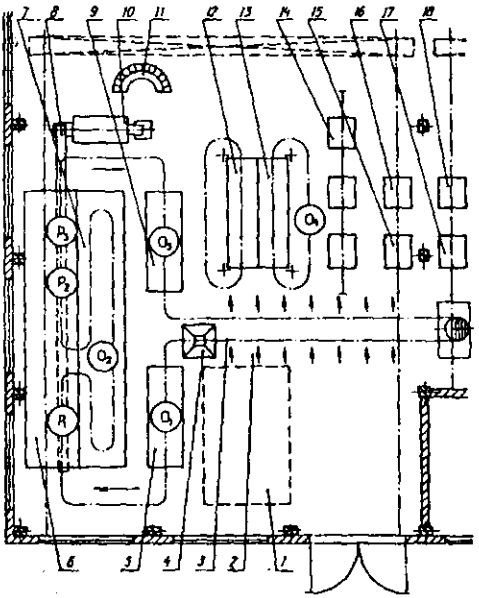

Рис. 2. 1. Планировочное решение разборочно-очистного участка:

1–площадка ремонтного фонда; 2–пост установки двигателей на конвейер; 3–подвесной конвейер; 4–емкость для масла; 5, 7 и 9–погружные машины для очистки; 6–эстакада; 8–ленточный транспортер для метизов; 10–барабанно-шнековая машина для очистки метизов; 11 – стенд для сортировки метизов; 12 и 13–машины для очистки деталей из черных и цветных металлов, соответственно в расплаве солей; 14 – машина погружного типа для очистки; 15–машина для очистки деталей косточковой крошкой; 16–то же стеклосферой; 17–для очистки деталей от накипи; 18–для очистки масляных каналов блока цилиндров; 01–очистка наружных поверхностей двигателя; 02–очистка подразобранных двигателей; 03–общая очистка деталей; 04–очистка деталей от прочих загрязнений; Р1–подразборка; Р2–общая разборка; Р3–узловая разборка.

Очистка (О2) подразобранных двигателей происходит в проходной погружной машине с активацией очистного раствора.

На следующей стадии процесса продолжается общая разборка и выполняется узловая разборка. При общей разборке отвинчивают и извлекают из агрегата сборочные единицы с помощью подъемных механизмов. Сборочные единицы устанавливают на специализированные стенды и разбирают на детали. Стенды располагают в непосредственной близости от позиций конвейера, где были сняты соответствующие узлы. На стендах, например, разбирают блок цилиндров с гильзами и картером сцепления, коленчатый вал с маховиком, сцеплением и шестерней, распределительный вал с шестерней, эксцентриком и балансиром, шатунно-поршневые группы, впускную трубу с центрифугой.

Крепежные детали собирают с постов общей и узловой разборки и подают ленточным транспортером в очистную машину. Грузовая лента транспортера совмещена с верхней плоскостью эстакады, на которой установлено разборочное оборудование.

Детали на подвесках проходят общую конвейерную очистку (О3) в погружной машине.

Затем детали снимают с конвейера и сортируют по видам загрязнений и материалов деталей. Отдельно укладывают в соответствующую тару детали из черных или цветных металлов, с асфальтосмолистыми загрязнениями или накипью, нагаром или остатками лакокрасочных покрытий. Последний этап очистки (О4) – это отделение прочных загрязнений в машинах, специализированных по видам загрязнений и материалов деталей.

Таким образом, рассматриваемый процесс содержит четыре операции очистки и три операции разборки. Перед разборочными воздействиями желательна сушка разбираемых объектов с их охлаждением, что улучшает условия работы.

Совмещение технологических и транспортных перемещений уменьшает транспортную работу, экономит время и сводит к минимуму перегрузку ремонтируемых объектов.

### 2.1.3. Средства разборки и меры по сохранности деталей

В качестве установочно-транспортного средства при общей разборке машин применяют конвейер, эстакаду или стенды. 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 раму в зоне действия рук рабочего с инструментом. Агрегат должен иметь возможность технологического вращения вокруг вертикальной или горизонтальной оси.

Необходимыми элементами оснащения разборочного участка являются стенды для разборки агрегатов. Стенд (рис. 2. 2) включает основание 4, закрепленное с помощью фундаментных болтов на полу, и вращатель, состоящий из электродвигателя 3, редуктора 2 и рамы 1 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, относящееся к общей разборке.

Стенд работает следующим образом. Предмет труда базируют с помощью грузоподъемных средств на опорных элементах рамы 1 и крепят резьбовыми прихватами. Включают электродвигатель 3, 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 малых моментов. На ведущем валу редуктора может быть установлен маховичок с рукояткой, а конец этого вала выполнен в виде шестигранника. Разбираемый агрегат в этом случае поворачивают за счет вращения ведущего вала редуктора за рукоятку вручную или гайковертом за шестигранник. Корпус редуктора закрепляют на несущей части конвейера

Наибольшая доля резьборазборочных работ выполняется при общей разборке агрегата.

Одиночные резьбовые соединения разбираются с помощью пневматических или электрических гайковертов.

Распространенный пневматический гайковерт УПГ–16 обеспечивает разборку сопряжений диаметром до 16 мм, развивает максимальный момент на ключе – 200 Нм, потребляет сжатый воздух под давлением не менее 0,3 МПа, обладает массой 3,5 кг.

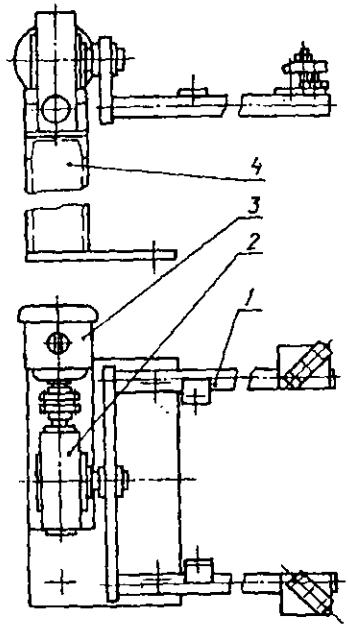


Рис. 2. 2. Стенд для разборки агрегатов:
1–рама; 2–редуктор; 3–электродвигатель; 4–основание.

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

Пневматические гайковерты 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.

Перспективно применение многошпиндельных гайковертов для разборки групп резьбовых соединений. На рис. 2. 3 приведен

гидравлический многошпиндельный гайковерт. В плите корпуса 2 установлены во втулках шпиндели 3. Количество шпинделей и расположение их осей соответствует расположению разбираемых сопряжений в их группе. Каждый из шпинделей имеет на верхнем конце кривошип. Радиусы всех кривошипов равны между собой. На кривошипах установлено водило 4, с которым, в свою очередь, соединены штоки гидроцилиндров 1, корпусы последних шарнирно соединены с корпусом гайковерта 2. Водило 4 преобразует поступательное движение штоков гидроцилиндров во вращательное движение шпинделей. Гидроцилиндры расположены в плоскости перемещения водила, причем оси одной группы расположены по отношению к осям гидроцилиндров другой группы под углом, близким

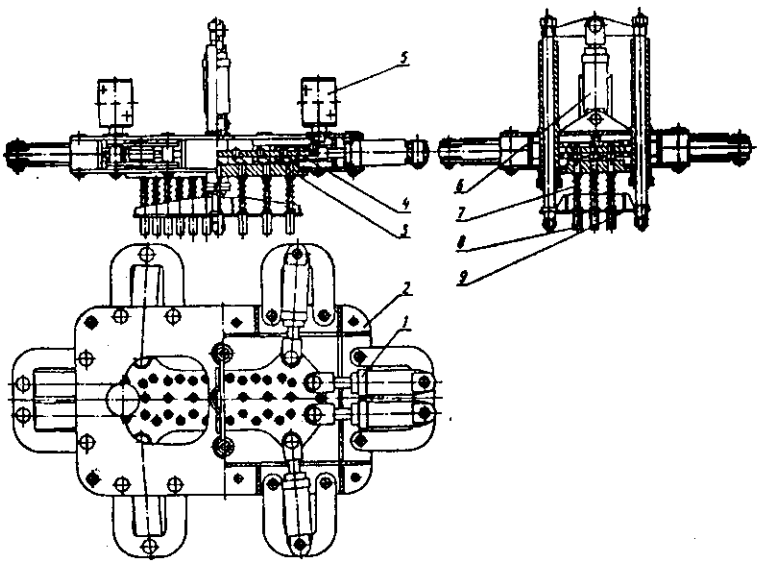


Рис. 2. 3. Гайковерт многошпиндельный для разборки:
1 и 6–гидроцилиндры; 2–корпус; 3–шпиндели; 4–водило; 5–распределители; 7–пружины; 8–ключи; 9–плита.

к прямому. Подача масла под давлением в гидроцилиндры и отвод его, в зависимости от угла поворота шпинделей, производится двумя распределителями 5, роторы которых, как и шпиндели, приводятся от водила 4.

На концах шпинделей установлены ключи 8, вращающиеся в подвижной плите 9. Ключи перемещаются с помощью пружин в направлении оси шпинделей. Перемещение плиты 9 и всех ключей для смыкания и размыкания их с отвинчиваемыми деталями происходит с помощью гидроцилиндра 6.

Гайковерт работает следующим образом. Плита 9 с помощью гидроцилиндра 6 перемещается вниз, а ключи 8 смыкаются с гранями резьбовых деталей агрегата под действием пружин 7. Масло под давлением 8...10 МПа подается в распределители 5, которые подают его в гидроцилиндры 1. Гидроцилиндры посредством водила 4 вращают шпиндели 3. После отворачивания всех резьбовых соединений, шпиндели останавливаются, гидроцилиндр 6 поднимает плиту 9, что приводит к выталкиванию отвинченных деталей из ключей 8 концами шпинделей 3.

Применение гайковерта повышает производительность разборки 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 устанавливаются на подвеске.

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

Приспособление для снятия гильзы цилиндра (рис. 2. 4) содержит цилиндр 7 с заплечиками, которыми 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.

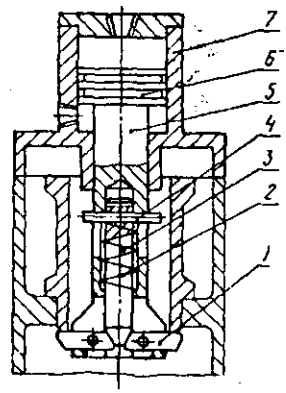


Рис. 2. 4. Приспособление для снятия гильзы цилиндра: 1–захват; 2–пружина; 3–клин; 4–штифт; 5–шток; 6–поршень; 7–гидроцилиндр.

Приспособление вводится 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.

Масло под давлением подается 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. Приспособление снимают с блока.

Детали, поступающие на сборку, имеют различную стоимость. Годные детали без восстановления обходятся производству в 5...10 % от отпускной цены, восстановленные – в 30...40 %. Замена выбракованных деталей на новые за счет транспортных и накладных расходов обходится в 110...150 % их отпускной цены.

Сохранность деталей при разборке обеспечивается применением специализированных стендов, учетом деталей и внедрением системы оплаты труда за сданные на посты дефектации неразрушенные детали.

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

## 2.2. Очистка машин и их сборочных единиц

### 2.2.1. Эксплуатационные и технологические загрязнения машин

Машина, поступающая в ремонт, несет на своих поверхностях до ста килограммов эксплуатационных загрязнений. Полная очистка от них определяет культуру производства, объективность сортировки и контроля деталей, качество их восстановления и последующую послеремонтную наработку агрегатов.

Детали машин в процессе восстановления покрываются технологическими загрязнениями (окалиной, стружкой, притирочными пастами, смазочными маслами, очистными материалами, продуктами приработочного износа и др.). Такие загрязнения уступают эксплуатационным по прочности и массе, но они должны быть также удалены с деталей перед сборочными операциями.

В начале процесса ремонта машину очищают от эксплуатационных загрязнений, а в завершение восстановления деталей и перед окраской машины с поверхностей удаляют загрязнения технологические.

Знания природы загрязнений машин позволяют обоснованно и эффективно принимать меры по качественной очистке поверхностей деталей от этих загрязнений.

По химическому составу загрязнения подразделяются на две большие группы – минеральные (кремнеземные) и органические (углеводородные).

Эксплуатационные загрязнения (рис. 2. 1) на наружных и внутренних поверхностях различны. На наружных поверхностях находятся остатки материалов, с которыми взаимодействовала машина, масла и смазки, маслогрязевые отложения, герметизирующие мастики,

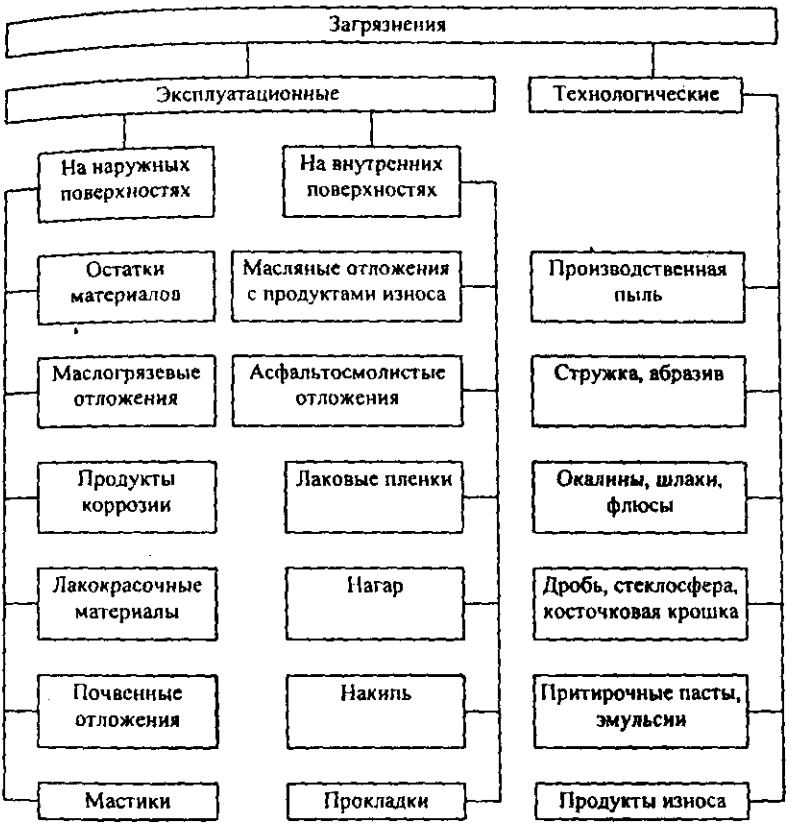


Рис. 2. 1. Классификация загрязнений.

лакокрасочные покрытия, продукты коррозии. Загрязнения внутри машины представляют собой углеродистые отложения как результат старения и химико-термического превращения смазочных материалов и топлива, продукты износа, остатки герметизирующих паст и прокладок,

а также накипь, как результат взаимодействия охлаждающих жидкостей с металлическими стенками.

Кремнеземные загрязнения образуются на поверхностях машин в результате ее взаимодействия с почвой и почвенной пылью.

Углеводородные отложения состоят из таких групп веществ: масел и нейтральных смол, оксикислот, асфальтенов, карбенов карбоидов, несгораемого остатка (золы).

Нейтральные смолы входят в состав нефтепродуктов. Они полностью растворяются в петролейном эфире и бензине. Оксикислоты способны образовывать соли в результате реакции омыления, диссоциировать и окисляться. 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 нерастворимы ни в каких растворителях.

С увеличением температуры и времени окисления масел наблюдается количественный рост оксикислот, асфальтенов, карбенов и карбоидов с увеличением доли веществ, содержащихся в конце приведенного ряда. Углеродистые отложения по глубине преобразования подразделяются на асфальтосмолистые и лаковые отложения и нагар.

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 ...80 %, карбены, карбоиды и зола – 10...30 %.

Лаковые отложения (пленки) образуются на немногочисленной группе деталей, например, на шатунах и поршнях, за счет тонкослойного окисления масла.

Основу нагара составляют карбены и карбоиды (30...70 %), масла и смолы (8...30 %), остальное – оксикислоты, асфальтены и зола. Большое количество нерастворимых или труднорастворимых компонентов нагара затрудняет его удаление.

На внутренних поверхностях стенок радиаторов и рубашек охлаждения двигателей откладывается накипь. Ее образование обусловлено содержанием в воде в растворенном состоянии солей

кальция и магния. Различают жесткость воды временную и постоянную. Временную жесткость устраняют кипячением, она вызвана растворением в воде бикарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$ и магния $Mg(HCO_3)_2$, сульфата кальция $CaSO_4$ и силиката магния $MgSiO_3$. При нагревании воды до 70 ...80°С или кипячении из нее выпадают соли – продукты термического разложения бикарбонатов, а также силикаты и сульфаты магния и кальция. Постоянная жесткость обусловлена солями, не выпадающими в осадок при повышенной температуре воды.

По химическому составу накипь разделяют на: карбонатную ($CaCO_3$ и $MgCO_3$), сульфатную ($CaSO_4$), силикатную ($MgSiO_3$ и $CaSiO_3$) и смешанную.

Таблица 2. 1.

Свойства загрязнений поверхностей машин.

| Загрязнения | Детали | Свойства загрязнений | |
|---|---|---|---|
| | | Толщина, мм. | Предел прочности при сжатии, МПа |
| Масло–грязевые | Картеры, крышки, поддоны | до 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 | Рамы, корпуса | 3 | 40 |
| Накипь | Блок, гильзы и головки цилиндров | 3 | 30 |
| Асфальто-смолистые отложения | Блок цилиндров, коленчатый вал, шатуны | 0,5 | 10 |
| Нагар | Головка цилиндров, поршни, коллекторы | 1 | 30 |

Характеристика основных загрязнений деталей машин приведена в таблице 2. 1. Принятый в капитальный ремонт, например, двигатель внутреннего сгорания с рабочим объемом 4,8 л имеет на своих поверхностях 5...10 кг эксплуатационных загрязнений. Маслопочвенные загрязнения распределены на площади поверхностей 6 м$^2$, 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 м$^2$.

Наибольшие технологические трудности представляет снятие прочных загрязнений (нагара и накипи), которые обладают наибольшей адгезией к металлам – 7 и 20 МПа, соответственно.

Некачественная очистка деталей снижает послеремонтную наработку машин на 20...30 %.

Разнообразие видов загрязнений и разные значения их одноименных свойств требует дифференцированного подхода к назначению технологических воздействий для отделения этих загрязнений.

## 2.2.2. Физические основы очистки поверхностей деталей от загрязнений

Энергия при очистке поверхностей от загрязнений тратится на разрушение загрязнений (преодоление когезионных сил) и на отделение загрязнений с поверхности (преодоление адгезионных сил). С другой стороны, работа очистки $A_o$ складывается из работы $A_м$, связанной с механическим воздействием рабочих тел на загрязнение, и работы $A_{фх}$, совершаемой средой за счет энергии атомно–молекулярного уровня (физико-химической активности):

$$A_o = A_м + A_{фх}$$

Чем больше физико-химическая активность среды, тем меньше требуется механической энергии на достижение одинакового результата очистки. С другой стороны, невозможность разрушения и удаления загрязнения физико-химическими способами приводит к применению энергоемких механических способов разрушения этого загрязнения. Интенсификация процессов за счет повышения температуры, давления и турбулентности очищающей среды, использования вибраций и др. приводит к уменьшению времени очистки.

Очистные средства подразделяются по виду основного эффекта, сопровождающего процесс, на растворяющие, растворяюще-эмульгирующие, смачивающе-диспергирующие, диспергирующие. Последнее средство участвует в «сухом» способе очистки, остальные – используются в виде жидких технологических сред, которые получили наибольшее распространение.

Очистное действие технологического раствора состоит в отделении жидких и твердых загрязнений с поверхности изделия, переводе их в технологическую среду в виде растворов, эмульсий или дисперсий и защите очищенной поверхности от оседания частиц загрязнений. Наибольшая доля загрязнений снимается с поверхностей деталей в очистных растворах.

Основные явления, обусловливающие очистное действие, включают растворение, физико-химическую адсорбцию, смачивание, эмульгирование, диспергирование и стабилизацию.

Растворение – это процесс образования однородной системы из двух веществ с равномерным распределением одного вещества в другом. Наибольшей взаимной растворимостью обладают вещества со сходным строением и свойствами – «подобное растворяется в подобном».

Молекулы воды, спиртов, кислот, щелочей и различных химических элементов полярны, т.е. обладают дипольным моментом. У молекул некоторых веществ дипольный момент может индуцироваться (наводиться) при соприкосновении с полярными молекулами. К таким веществам относятся, например, углеводовороды ароматического основания.

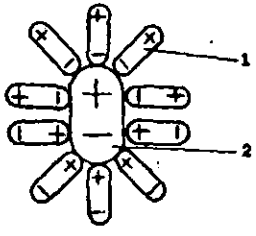


Рис. 2. 6. Модель сольватной оболочки:
1–молекулы растворителя; 2–молекулы растворяемого вещества.

Характер межмолекулярного взаимодействия определяет взаимную растворимость жидкостей. При введении в растворитель растворяемого вещества (рис. 2. 6) молекулы вступают в электростатическое взаимодействие, образуя сольваты. При этом молекулы вещества равномерно распределяются по всему объему растворителя. Растворение сопровождается и диффузией, как медленным проникновением молекул одного вещества в другое. Последний механизм растворения типичен для неполярных жидкостей. В этом случае вязкость смешиваемых веществ имеет основное значение.

Процесс адсорбции, как увеличение концентрации растворенного вещества у поверхности загрязнений, уменьшает прочность его соединения с металлической поверхностью и прочность самого загрязнения, что объясняется образованием микротрещин в загрязнении и его последующем диспергировании.

Смачивание заключается в растекании капли жидкости, помещенной на поверхность твердого тела. Это свойство зависит от поверхностного натяжения жидкости, сочетания составов жидкости и твердого тела. Смачивание – результат межмолекулярного взаимодействия сред на границе соприкосновения трех фаз «твердое тело – жидкость – газ». Процесс смачивания позволяет очистному раствору проникать в поры и трещины твердого тела. Углеводородные загрязнения не смачиваются водой, минеральные же частицы обычно смачиваются, но при условии отсутствия жировых пленок на поверхности.

Силы в поверхностном слое жидкости стремятся придать ей

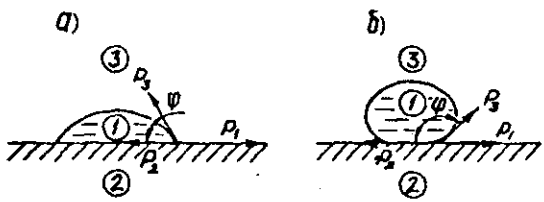


Рис. 2. 7. Схема взаимодействия капли жидкости с поверхностью твердого тела и газовой средой:
а) смачивание поверхности; б) поверхность не смачивается; 1–капля жидкости; 2–твердое тело; 3–газовая среда (воздух)

такую форму, чтобы ее поверхность была наименьшей. На каждую элементарную площадку у края жидкости, растекающейся по поверхности твердого тела (рис. 2. 7), действует 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 определяется из соотношения:

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

На границе очищаемой поверхности и раствора имеется пограничный слой молекул, не уравновешенных жидкой средой. Молекулы слоя подвержены притяжению молекул всего объема этой жидкости, поэтому слой обладает избытком свободной энергии или адсорбционной активностью. Избыток свободной энергии определяет поверхностную энергию или натяжение. Поверхностное натяжение измеряют работой, которую необходимо затратить для увеличения поверхности жидкости на 1 $см^2$, а произведение поверхностного натяжения на величину поверхности называют свободной поверхностной энергией. Способность вещества понижать свободную поверхностную энергию характеризует его поверхностную активность. Вещество, понижающее поверхностное натяжение раствора, называют поверхностно–активным веществом (ПАВ).

ПАВ представляют собой полярные органические соединения. Полярность ПАВ обусловлена строением молекул, состоящих из гидрофобной и гидрофильной частей. Гидрофобная (водоотталкивающая) часть молекулы состоит из остатка углеводородной цепи длиной 10...18 углеродных атомов и способствует растворению ПАВ в масле. Гидрофильная часть молекулы содержит карбоксильную COOH, гидроксильную OH, сульфатную $OSO_3$ или аминогруппу $NH_2$ и способствует растворению ПАВ в воде.

Адсорбция ПАВ сопровождается образованием адсорбционного и сольватного слоев молекул, покрывающих все поверхности. В зависимости от активности ПАВ адсорбционные процессы сопровождаются различными эффектами – дисперсионными, расклинивающими, капиллярными и их комбинацией. Так, капиллярные давления достигают значений 150...260 МПа, а расклинивающее давление в микротрещинах – 80...100 МПа, что обеспечивает

диспергирование твердой среды. Вещества, которые адсорбируются на поверхности гидрофобных частиц, называются эмульгаторами.

Наибольшее применение в очистных процессах имеют коллоидные (мылоподобные) ПАВ. В водных растворах коллоидных ПАВ имеют высокую поверхностную активность, они способны образовывать коллоидные агрегаты–мицеллы. Причинами мицеллообразования являются наличие в молекулах сильнополярной группы и гидрофобного радикала. Эта способность проявляется при пороговой концентрации ПАВ. Образование мицелл при критической концентрации мицеллообразования (ККМ) приводит к резкому изменению очистных свойств растворов ПАВ, при этом меняется плотность, электрическая проводимость, поверхностное натяжение и моющее действие этих растворов. Величина ККМ зависит от вида ПАВ, наличия в растворе щелочных добавок и температуры раствора. Для различных ПАВ значения ККМ составляют 1...10 г/л.

Щелочные добавки значительно снижают ККМ, что обеспечивает эффективное очистное действие раствора при меньшем расходе ПАВ.

Водные растворы коллоидных ПАВ при концентрации выше ККМ способны поглощать значительное количество нерастворимых в воде веществ с образованием прозрачных не расслаивающихся со временем растворов. Этот процесс называется коллоидным растворением или солюбилизацией. Явление солюбилизации объясняется способностью мицелл ПАВ поглощать гидрофобными углеводородными радикалами молекулы веществ, нерастворимых в воде.

Загрязнения, как правило, состоят из жидкой (масла, смолы) и твердой (пыль, асфальтены, карбены и др.) частей. Такие загрязнения удаляют с поверхности изделия путем эмульгирования жидкой фазы (образования эмульсий) и диспергирования твердой фазы (образования дисперсий). На процессы эмульгирования и диспергирования большое влияние оказывает механическое воздействие раствора способствующее разрушению загрязнений.

Суть стабилизации процесса очистки заключается способности очистного раствора удерживать в своем объеме загрязнения, препятствуя обратному осаждению их на очищенны поверхности детали.

Процесс очистки поверхности металла от загрязнения в жидком растворе ПАВ можно представить множеством воздействий (рис. 2. 8).

Вода, обладающая большим поверхностным натяжением, не смачивает гидрофобные загрязнения, а стягивается в отдельные капли. Растворение в воде очистного средства уменьшает поверхностное натяжение раствора, что приводит к проникновению его в трещины и поры загрязнения. Капиллярное и расклинивающее действие раствора

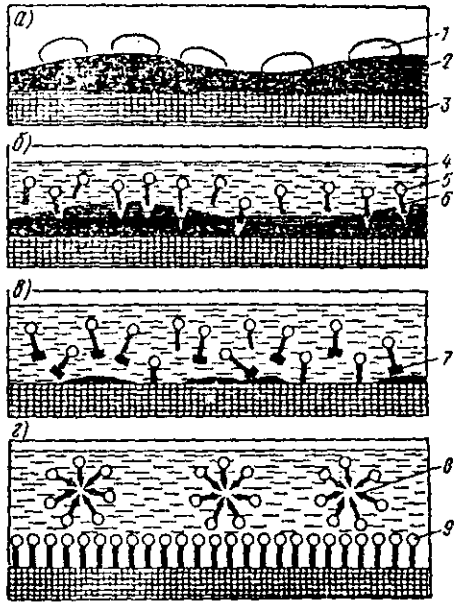


Рис. 2. 8. Схема очистного процесса в жидких технологических средах: а)–г)–этапы процесса; 1–капли воды; 2–загрязнение; 3– очищаемая поверхность; 4–моющий раствор; 5–гидрофильная часть молекулы ПАВ; 6–гидрофобная часть молекулы ПАВ (радикал); 7–перевод частиц загрязнений в раствор; 8–частицы загрязнения, стабилизированные в растворе; 9–адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности.

приводит к разрушению загрязнений. Отколовшиеся грязевые частицы переходят в раствор. Молекулы ПАВ адсорбируются на загрязнениях и очищенной поверхности и препятствуют укрупнению частиц и оседанию их на поверхности. В результате частицы загрязнений во взвешенном состоянии стабилизируются в растворе и удаляются вместе с ним.

## 2.2.3. Очистные технологические среды

Применяют очистку деталей в жидких технологических средах на основе органических растворителей и технических моющих средств. Однако эти средства не могут с необходимой производительностью очистить детали от загрязнений всех видов, поэтому в ремонте используют и другие средства.

### 2.2.3.1. Органические растворители

Органические растворители обладают незначительным поверхностным натяжением и способностью растворять находящиеся на поверхностях загрязнения, образуя однофазные растворы переменного состава. Полученные растворы содержат не менее двух компонентов. К этим веществам предъявляют такие основные требования: высокую растворяющую способность, нетоксичность, пожаробезопасность и нейтральность по отношению к материалу очищаемой поверхности. Кроме того, растворители должны быть стабильными при их регенерации. Важные характеристики растворителей: летучесть, температура кипения и вспышки. Углеводородные растворители принадлежат к неполярным гидрофобным веществам, их применяют для растворения неполярных и слабополярных загрязнений – масел, жиров, простых эфиров и битумов.

Используют алифатические, ароматические, неароматические и хлорированные углеводороды, спирты, кетоны и эфиры. Наиболее применимы две группы органических растворителей (табл. 2. 2).

В первую группу входят 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), эфиры (этилацетат, бутилацетат). Все они токсичны и пожароопасны.

Во вторую группу входят хлорированные углеводороды. Почти все они негорючие, 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, но требуют строгого выполнения правил техники безопасности.

Таблица 2. 2.

Органические растворители и их свойства.

| Растворители | Плотность при 20°С, кг/м$^3$ | Температура кипения, °С | Поверхностное натяжение при 20°С, Н/м |
|---|---|---|---|
| Углеводороды | | | |
| Бензин Б–70 | 680...730 | 40...180 | – |
| Керосин | 790...830 | 200...310 | – |
| Уайт–спирит | 790 | 165...200 | – |
| Бензол | 880 | 80,1 | 28,8 |
| Толуол | 870 | 110,6 | 28,5 |
| Ксилол | 860 | 137...141 | 25...30 |
| Метиловый спирт | 790 | 64,5 | 22,5 |
| Этиловый спирт | 789 | 78,3 | – |
| Изопропиленовый спирт | 785 | 82,4 | – |
| 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 |
| Метилохлороформ | 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 | 24,7 |

Хлорированные углеводороды (например, четыреххлористы углерод) обеспечивают высокое качество очистки при комнатно температуре с небольшой трудоемкостью, но требуют больших затра на обеспечение безопасных условий труда, направленных н исключение контакта растворителя и продуктов его превращений организмом оператора. Замена растворов на слаботоксичные средства типа хлористого метилена приводит к недопустимому снижению качества очистки.

### 2.2.3.2. Растворяюще–эмульгирующие средства

Органические однокомпонентные растворители имеют ограниченную растворяющую способность. При достижении предельной концентрации растворенных загрязнений процесс очистки прекращается. Этот недостаток частично устраняется применением растворяюще–эмульгирующих средств (РЭС).

Таблица 2. 3

Растворяюще – эмульгирующие средства.

| Наименование | Состав, % | Особенности применения |
|---|---|---|
| АМ–15 | Ксилол–72; ализариновое масло – 26; ПАВ ОС – 20 – 2 | Детали выдерживают в 100%–ном препарате, ополаскивают в растворах Лабомид или МС. |
| МС–3 | Уайт–спирит – 51; канифоль сосновая – 34; едкий натр – 6; вода – 12 | Температура применения 50° |
| Термос | Уайт–спирит – 40; ОП–4 – 10; ОП–7 – 1; сульфанол – 0,2, вода – 2; дизельное топливо – остальное | Детали выдерживают в 100%–ном препарате, ополаскивают в водном растворе триполифосфата натрия |
| Лабомид–312 | Трихлорэтилен – 60; трикрезол – 30; синтанол ДС–10 – 5; алкилсульфаты – 5 | Детали выдерживают в препарате, разведенном водой (1:0,25), ополаскивают в щелочном растворе. |

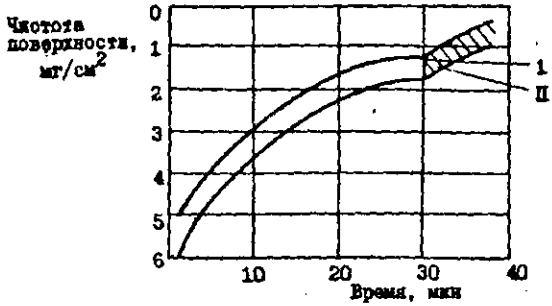


Рис. 2. 9. Интенсивность очистки в растворяюще – эмульгирующем средстве АМ–15 (фаза 1) и ТМС Лабомид–101 (фаза 2).

РЭС состоят из базового растворителя, сорастворителя, ПАВ и небольшой добавки воды (табл. 2. 3). Базовыми растворителями служат ксилол, уайт–спирит и хлорированные углеводороды. Сорастворитель обеспечивает однородность и стабильность раствора с эмульгированным (диспергированным) загрязнением. В качестве сорастворителей применяют ализариновое масло, канифоль и трикрезол. Детали после извлечения из РЭС помещают в воду или раствор ПАВ, где происходит эмульгирование или диспергирование загрязнений (рис. 2.9).

**2.2.3.3. Очистные среды на основе растворов щелочных веществ и ПАВ**

Создание технических моющих средств (ТМС) на основе ПАВ и щелочных электролитов – одно из важнейших достижений в области очистки ремонтируемой техники.

Щелочные электролиты в ТМС повышают активность ПАВ. Щелочную реакцию раствору придают как щелочи, так и щелочные соли. Щелочная реакция раствора щелочей объясняется их диссоциацией, а раствора щелочных солей – их гидролизом. Степень гидролиза возрастает с повышением температуры и с понижением концентрации солей. Из щелочей применяют едкий натр. В качестве щелочных солей наиболее часто применяют кальцинированную соду, силикаты (метасиликат натрия, жидкое стекло), фосфаты (тринатрийфосфат, триполифосфат). Щелочные вещества умягчают воду, нейтрализуют свободные жирные кислоты, омыляют загрязнения и поддерживают определенную концентрацию водородных ионов (показатель pH).

Во избежание коррозии металлов необходимо ограничивать значение водородного показателя pH раствора. При очистке цинка и алюминия pH должен составлять 9...10, олова – не выше 11, латуни – не выше 12,0...12,5, а сталь допускает очистку при pH до 14. Практически, легкие и цветные металлы очищают при больших значениях pH, 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. К первой группе ПАВ относятся: алкилсульфаты первичные и вторичные; алкансульфонаты; сульфонаты карбоновых кислот, их амидов и эфиров; алкиларисульфонаты; алкилфосфаты. К неионогенным ПАВ относятся оксиэтилированные алкилфенолы, оксиэтилированные жирные высшие спирты и алканоламиды. Неионогенные ПАВ сохраняют моющую способность в жесткой воде и в средах в широком диапазоне pH.

Ранее разработанные ТМС состоят из смесей щелочных неорганических веществ – кальцинированной соды, силиката натрия, простых и полимерных солей фосфорной кислоты с небольшими добавками ПАВ. К таким порошкообразным ТМС относятся Лабомид, МС, МЛ, Викол, Темп и другие. ТМС Лабомид, МС, МЛ, Темп практически взаимозаменяемы при очистке ремонтируемых машин и их деталей.

Лабомид 101, 102, 203 и 204 – смесь ПАВ и щелочных неорганических солей. Предназначены для очистки машин и их деталей из черных и некоторых цветных металлов от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений. Состав этих ТМС приведен в табл. 2. 4. Они получили наибольшее распространение в ремонте.

Таблица 2. 4.

Состав ТМС типа Лабомид, (%).

| Составляющие | Лабомид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 101 | 102 | 203 | 204 |
| Синтанол ДТ–7 | 4 | 4 | 6 | 8 |
| Алкилсульфаты натрия первичные | – | – | 2 | 2 |
| Сода кальцинированная | 50 | 56 | 50 | 50 |
| Триполифосфат натрия | 30 | 20 | 30 | 20 |
| Метасиликат натрия | – | 20 | – | 10 |
| Жидкое стекло | 16 | – | 10 | 10 |

МС–6 и МС–8 – смеси неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными добавками. МС–6 предназначено для очистки шасси тракторов, автомобилей, комбайнов, их агрегатов и узлов, в том числе их деталей из черных и цветных металлов. МС–8 – предназначена для очистки двигателей, их узлов и деталей.

МЛ–51 и МЛ–52 – смеси ПАВ со щелочными неорганическими солями. МЛ–51 предназначено для очистки машин и деталей от остатков горюче–смазочных материалов, маслогрязевых отложений и консервационных покрытий. МЛ–52 – для очистки деталей машин и двигателей внутреннего сгорания от остатков горюче–смазочных и асфальтосмолистых отложений. Состав этих ТМС приведен в табл. 2.5.

Таблица 2. 5.

Состав ТМС типа МЛ (%).

| Составляющие | МЛ | |
|---|---|---|
| | 51 | 52 |
| Сода кальцинированная | 44 | 50 |
| Триполифосфат натрия или тринатрийфосфат | 34,5 | 30 |
| Метасиликат натрия или жидкое стекло | 20 | 10 |
| Смачиватель ДБ | 1,5 | 6,2 |
| Сульфанол | – | 1,6 |

МС–15 – смесь неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными веществами. Предназначена 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, а рабочая температура – 80...90° С.

Высокая щелочность и повышенное коррозионное воздействие на поверхность деталей из цветных металлов и сплавов потребовали применения ТМС на основе неионогенных ПАВ в смеси с растворителями и органическими добавками к ним. К ним относятся Вертолин–74, Истра, Импульс, Фокус–74, ТМС–57, Омега и др. Необходимое сочетание потребительских свойств обеспечивается при условии получения ТМС в жидком виде.

Назначение и характеристика других ТМС следующие.

ТМС–31 – водный раствор смеси ПАВ и органических добавок. Предназначен для очистки поверхностей (в том числе полированных) металлов и сплавов от маслообразных загрязнений и остатков полировальных паст.

Средства Анкрас и СЭП–411 применяют для удаления старых лакокрасочных покрытий.

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

Для продления срока службы раствора и экономии ТМС необходима его очистка от частиц загрязнений. Применяют процессы процеживания, отстаивания, коагуляции, флотации и фильтрования.

Процеживание применяют на первой стадии очистки растворов с целью отделения крупных твердых и волокнистых загрязнений. Процеживание ведут через решетки и сетчатые корзины.

Отстаивание применяют как пассивный способ очистки растворов в струйных и погружных машинах. Однако при этом способе затруднено удаление осевших минеральных взвесей и всплывших нефтепродуктов.

Коагуляция сопровождается укрупнением частиц загрязнений и выпадением из коллоидного раствора хлопьевидного осадка. Лучшими материалами для коагуляционной очистки являются железный купорос и гашеная известь.

Флотация основана на прилипании частиц загрязнений к воздушным пузырькам, переводе их в пенный слой и удалении этого слоя. Глубина и время очистки зависят от исходной концентрации нефтепродуктов и взвесей, а также дисперсности пузырьков воздуха. Однако, вместе с загрязнениями удаляются и ПАВ.

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, превышающем осмотическое. Мембрана в таком случае пропускает молекулы растворителя, задерживая растворенное вещество.

**2.2.3.4. Твердые очистные среды, расплавы, кислоты и щелочи**

Прочные неомыляемые загрязнения удаляются 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, чугунной и стальной дробью, кварцевым песком). Среда переноса этих частиц – сжатый воздух, вода, растворы ТМС.

Применяют расплав солей и щелочей, который состоит из едкого натра NaOH, азотнокислого натрия $NaNO_3$ и хлористого натрия NaCl.

Серную и соляную кислоты используют для травления, очистки от продуктов коррозии, накипи, лакокрасочных покрытий и асфальтосмолистых отложений. Применяют также уксусную, щавелевую, олеиновую, лимонную и нафтеновую кислоты. Коррозионная активность кислот уменьшается при введении ингибирующих добавок.

Каустическую соду применяют в вываpочных ваннах при снятии старой краски.

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

## 2.2.4. Процессы и средства очистки

### 2.2.4.1. Схема процесса очистки машин

Хорошо очищенные объекты ремонта легче разбираются и меньше повреждаются.

Допустимая загрязненность поверхностей зависит от класса их шероховатости. Так, например, на поверхностях с шероховатостью 4-го класса допустима остаточная загрязненность 12,5 г/м$^2$ , а на поверхностях с шероховатостью 9-го класса – 2,5 г/м$^2$ .

Качественную очистку машин обеспечивает многостадийный процесс. Он включает наружную очистку с выпариванием внутренних полостей, очистку подразобранных агрегатов, очистку сборочных единиц, общую очистку деталей и очистку деталей от прочных загрязнений.

На первой стадии очистки удаляют до 80% загрязнений, главным образом, маслопочвенных и масляных с продуктами износа и готовят машину для разборки на агрегаты.

Последующие стадии очистки проходят последовательно агрегаты со снятыми головками, люками и крышками и сборочные единицы (узлы) этих агрегатов.

Детали после разборки агрегата проходят общую очистку, а затем детали, имеющие прочные загрязнения, проходят отдельную очистку в специальных технологических машинах.

### 2.2.4.2. Очистное оборудование и его характеристика

Наибольшая доля очистных работ протекает в жидких технологических средах в струйных или погружных машинах конвейерного или тупикового типа.

Основные элементы струйной машины (рис. 2. 10): рабочая камера 7, ванна с раствором 6, фильтры 5 и 9, насосный агрегат 10, система гидрантов 8, транспортирующее устройство. При работе машины насос подает технологическую очистную среду под давлением 0,2...1 МПа в систему гидрантов. Гидранты представляют собой фигурные трубопроводы с множеством сопел. Форма гидрантов, число и направление сопел обеспечивает 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

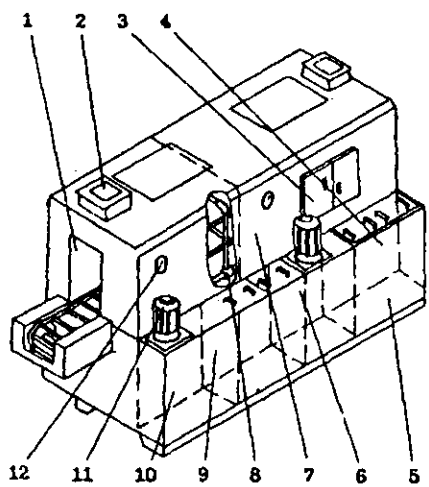


Рис. 2. 10. Машина для струйной очистки деталей:
1–тамбур; 2–вентиляционный отвод; 3–люк; 4–флотационный отсек; 5 и 9–фильтры напорные; 6–ванна с раствором и нагревательными элементами; 7–очистная камера; 8–система гидрантов; 10–приемный фильтр; 11–механизм подачи раствора; 12–приборы.

сканирующим эффектом.

В процессе очистки объекты поступательно перемещаются на транспортере или подвесном конвейере относительно гидрантов.

Погружная машина крестово-роторного типа (рис. 2. 11) включает ванну 4, внутри которой на опорах установлен вал 3 с крестовинами, теплообменник 1, маслосборник 5 и устройство для сбора загрязнений 6. На шипы крестовины подвешиваются контейнеры 2. Вал приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу и редуктор. Дно ванны выполнено с уклоном для облегчения удаления шлама.

Контейнеры с очищаемыми объектами устанавливают на шипы крестовин при открытой крышке ванны. Включают привод вращения вала. Контейнеры с объектами очистки периодически с частотой 3...10 1/мин погружаются в очистной раствор и извлекаются из него. Частота вращения вала выбирается из расчета, чтобы раствор успел заполнять полость агрегата и вытечь из нее во время нахождения очищаемого объекта в растворе и над ним, соответственно. Это обеспечивает непрерывное обновление раствора на очищаемой поверхности детали и высокую скорость диффузионных процессов в граничном слое жидкости.

Эффект погружной очистки многократно увеличивается при

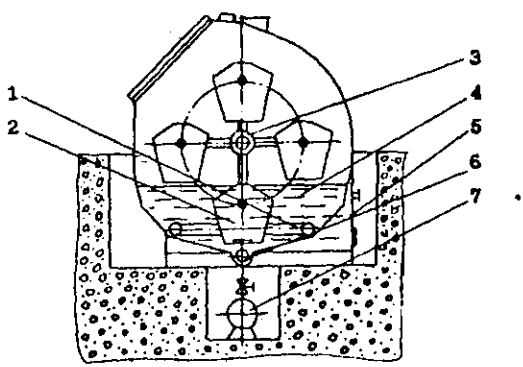


Рис. 2. 11. Машина для погружной очистки роторного типа:
1–теплообменник; 2–контейнер; 3–вал с крестовинами; 4–ванна; 5–маслосборник; 6–устройство сбора загрязнений; 7–грязесборник.

гидродинамической активизации очистного раствора. Применяю следующие способы активации: колебание платформы с очищаемыми деталями в растворе вдоль вертикальной оси; применение лопастных винтов, которые создают осевые турбулентные потоки раствора, заключенные в диффузоры; применение роторов – активаторов, создающих радиальные турбулентные потоки раствора; наложение ультразвука на очищающую среду.

При выборе машин погружного или струйного типа необходимо учитывать следующее.

Струйные машины легко приспосабливаются 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 образующихся капель составляет 10...15 тыс. $м^2$ на каждый литр раствора). У этих машин большой расход тепла, связанный с работой вентиляции, растворы не предназначены для отделения прочных загрязнений. Высокая кратность перекачки очистного раствора (до 20 раз в час) приводит к образованию стабильных эмульсий частиц 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 и другим видам регенерации, а их слив в канализацию наносит большой ущерб природе. Максимальная физико-химическая 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. Качественной очистке подвергаются только поверхности, 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.

Сопоставление между собой затрат на создание и эксплуатацию струйных и погружных машин однозначно показывает целесообразность применения погружного оборудования. Ряд передовых ремонтных заводов ведет очистку ремонтируемой техники только в погружных машинах.

Большое снижение расхода энергии, независимо от выбранного способа очистки, обеспечивает предварительная выдержка деталей 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.

В конце технологического процесса поверхности деталей очищают от прочных загрязнений. Хотя их масса составляет не более 10 % от общей массы загрязнений и они не являются источником загрязнений рабочего места, но для своего отделения требуют большого расхода энергии и применения оборудования, специализированного по видам отделяемых загрязнений и очищаемого материала.

В ремонтном производстве применяют следующие виды процессов и оборудования для очистки деталей от прочных загрязнений.

Асфальтосмолистые отложения и остатки лакокрасочных покрытий снимаются с деталей из черных металлов в роторных погружных машинах, заправленных 1,5...3 %–ным раствором каустической соды. Этот способ очистки деталей требует последующего их ополаскивания в растворе ТМС.

Производительная очистка гильз цилиндров от накипи получается при окунании их в 15 %–ный раствор соляной кислоты, подогретый до температуры 60°С.

Несмотря на кажущуюся простоту процесса очистки деталей от накипи в подогретом растворе соляной кислоты, следует учитывать, что этот процесс требует больших затрат на обеспечение безопасных условий труда. Необходима нейтрализация раствора, как остающегося на поверхностях очищаемых деталей, так и находящегося в виде паров в вентиляционных каналах. Процесс протекает при включенной вентиляции. Для изготовления ванн применяют дорогие кислотостойкие материалы.

Очистка деталей из алюминиевого сплава от углеродистых отложений эффективна в расплаве солей и щелочей в четырехсекционной машине. Непосредственно отделение загрязнений протекает в первой секции с расплавом едкого натра NaOH (65 %), азотнокислого натрия $NaNO_3$ (30 %) и хлористого натрия NaCl (5 %), нагретого до температуры 300°С. В остальных секциях ведут нейтрализацию, осветление и промывку поверхностей деталей. Очистка

деталей из черных металлов допускает повышение температуры расплава до 400...420°С. По этой технологии очищают внутренние полости в шатунных шейках коленчатых валов.

Очистка в расплаве щелочи и солей при температуре 300...420°С требует энергоемкого оборудования (установленная мощность установки 75 кВт) и частой замены очистного материала (заправки агента хватает на очистку 90 т деталей).

Широко применяется очистка деталей из алюминиевого сплава от прочных загрязнений потоком косточковой крошки, зернами полиэтилена или полиамида в струе сжатого воздуха.

Очистка потоком косточковой крошки сопряжена с большими трудозатратами на непрерывное относительное перемещение очищаемого предмета и эжекционного пистолета. Кроме того, для установки оборудования требуется изготовление приямка для заглубления. Большой расход сжатого воздуха для создания эжекционного эффекта накладывает большие эксплуатационные расходы.

В производство внедряется процесс очистки деталей потоком стеклянных шариков 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 механизируется. Материал шариков, по сравнению с другими искусственными абразивами, характеризуется наибольшим значением коэффициента восстановления при ударе (15/16). Стеклосфера при ударе о поверхность детали не оставляет на ней следа.

Установка для очистки от нагара поршней двигателей внутреннего сгорания (рис. 2. 12) включает корпус 1 с приводом, камеры 7 и сборник-фильтр 10.

На корпусе 1 установлены все узлы установки. Электродвигатель 2 посредством клиноременной передачи 3 приводит 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 устанавливают очищаемые детали.

Процесс очистки протекает в двух одинаковых камерах 7, (на рисунке показана одна из них). Каждая из камер оборудована двумя парами эжекционных форсунок 9. Камеры снабжены открывающимися

дверями 8, которые в закрытом положении воздействуют на конечный выключатель (на рис. 2. 12 не показан).

Электрический сигнал выключателя используется для включения двигателя 2 и подачи сжатого воздуха к эжекционным форсункам. К последним также подключены шланги для подачи стеклянных шариков. Дно каждой камеры 7 выполнено наклонным для скатывания шариков в выходной патрубок. Этот патрубок соединен с эжектором 13, а последний – со шлангом для возврата шариков в сборник–фильтр 10.

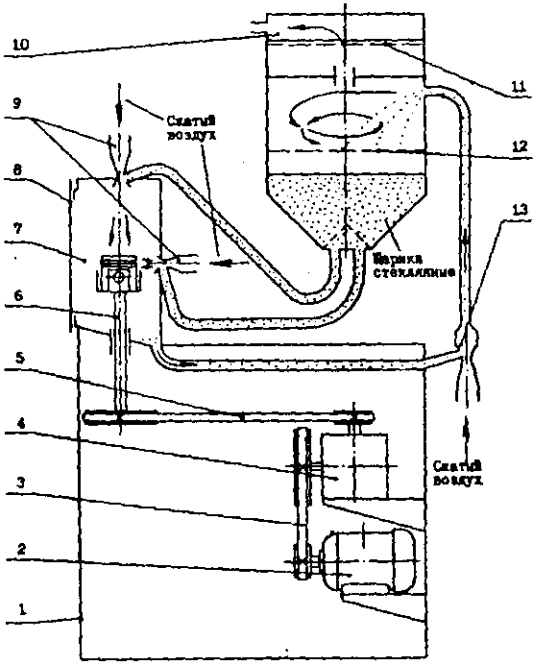


Рис. 2. 12. Машина для очистки деталей стеклосферой:
1–корпус; 2–электродвигатель; 3 и 5–ременные передачи; 4–редуктор; 6–вал; 7–камера; 8–дверь; 9–эжекционные форсунки; 10–сборник–фильтр; 11–матерчатый фильтр; 12–сетка; 13–эжектор.

В сборнике–фильтре 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.

Установка работает следующим образом.

В два стакана на валах 6 устанавливают очищаемые детали и закрывают двери 8 камер 7. Двери в закрытом положении воздействуют на конечный выключатель, который дает сигнал на включение двигателя 2 и подачу сжатого воздуха к эжекционным узлам 9 и 13. Вращение от вала электродвигателя посредством клиноременных передач 3 и 5 и редуктора 4 передается на стаканы с деталями. 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 – 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, на которой задерживаются частицы загрязнения. Отработавший воздух через фильтр 11 выходит в атмосферу в очищенном состоянии.

При открытии дверей 8 камер отключаются напряжение к электродвигателю 2 и подача сжатого воздуха к эжекторам 9 и 13.

В конце смены производят частичную разборку сборника–фильтра 10 для удаления загрязнений с сетки 12 и очистки фильтрующей перегородки 11.

Установка может быть переналажена для очистки других деталей путем применения соответствующих установочных элементов.

Для очистки крепежных деталей эффективны галтовочные барабанные средства, где дробление загрязнений происходит за счет соударения деталей друг с другом при их относительном перекатывании в барабане. Разновидностью таких технологических машин является средство со шнековым барабаном и автоматической выгрузкой метизов. Процесс очистки в нем протекает при непрерывном перемешивании и осевом перемещении деталей в очистном растворе за счет вращения барабана.

На рис. 2. 13 показана установка для очистки метизов. Основные части установки – ванна 1 и перфорированный барабан 7. Барабан, посредством цепной передачи 4 приводится во вращение от электродвигателя 2 с редуктором 3. На внутренней полости барабана под острым углом к его радиусу закреплены изогнутые разгрузочные пластины 11. Лоток 8 служит для загрузки метизов, а лоток 10 – для их выгрузки. Во внутреннюю полость барабана 7 введен гидрант 9 для подачи раствора. В ванне 1 под барабаном установлена подвижная емкость 6 с возможностью ее поворота в вертикальной плоскости с помощью пневмоцилиндра 5, закрепленного на корпусе вне рабочей зоны ванны.

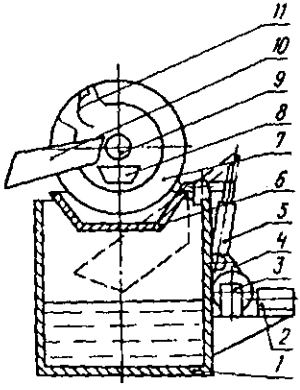


Рис. 2. 13. Установка для очистки метизов:
1–ванна; 2–электродвигатель; 3–редуктор; 4–передача цепная; 5–пневмоцилиндр; 6–ванна подвижная; 7–барабан перфорированный; 8 и 10–лотки; 9–гидрант; 11–пластина разгрузочная.

Установка работает следующим образом. Включают двигатель 2 привода барабана. Очищаемые детали подают по загрузочному лотку 8 в барабан. Подвижную емкость 6 посредством пневмоцилиндра 5 приводят в верхнее положение. Раствор подают в гидрант 9. Излишний раствор стекает из емкости 6 в ванну 1, при этом из емкости 6 вытекает в первую очередь верхний загрязненный слой раствора. Включают

вращение барабана в растворе, находящемся в емкости. Подвижную емкость после очистки деталей опускают вниз, детали ополаскивают из гидранта 9. Включают обратное вращение барабана, при этом детали захватываются изогнутыми пластинами 11, попадают на разгрузочный лоток 10 и скользят в приемную тару.

В зависимости от степени очистки применяют различные способы контроля остаточной загрязненности: весовой, протиранием, люминесцентный способ и смачиванием водой. При использовании весового способа загрязнения снимают путем растворения (с последующей экстракцией) или соскабливания, взвешивают и относят к площади поверхности. Протирание ведут фильтровальной бумагой, бумажной салфеткой или ватным тампоном, а количество загрязнений определяют взвешиванием. Люминесцентный способ основан на свойстве масел светится под влиянием ультрафиолетового света. Способ смачивания водой основан на способности металлической поверхности удерживать непрерывную пленку воды, если эта пленка свободна от гидрофобных загрязнений.

В заводских условиях контролируют температуру очистного раствора и массовую долю ТМС. Последний показатель определяют косвенными методами путем измерения щелочности, pH регламентно разбавленных растворов, их плотности или электропроводности. Наибольший интерес для ремонтного производства представляет последний метод, как наименее трудоемкий, более точный и стабильный независимо от количества загрязнений в растворе.

Процессы очистки машин энергоемкие, они потребляют около двух третей тепловой энергии, затрачиваемой на технологические нужды всего ремонтного завода. Проблема совершенствования этих процессов в деле уменьшения энергоемкости актуальна до настоящего времени.

## 2.3. Техническое состояние исходных заготовок

Исходные заготовки ремонта – это очищенные детали ремонтного фонда, которые сортируются на три группы: годные для дальнейшего применения, подлежащие восстановлению и утильные. Содержание работ по определению технического состояния ремонтных заготовок состоит в измерении значений установленных параметров и отнесению этих заготовок к одной из трех названных групп. На

заготовках второй группы находят сочетания повреждений и устанавливают маршруты восстановления.

### 2.3.1. Классификация повреждений

Литература по ремонту и надежности машин применяет понятие дефекта как состояние машины, при котором она не соответствует хотя бы одному из требований нормативной документации. Дефект рассматривается как возможная причина отказа. Представляется, что дефект является следствием несовершенства конструкции машины или технологических процессов ее изготовления или ремонта, а также халатности исполнителей, но естественное воздействие на машину разрушительных и рабочих процессов при эксплуатации приводит к повреждениям ее деталей.

Повреждения деталей машины – это недопустимые, приобретенные при эксплуатации отклонения значений свойств их материала и геометрических параметров от начальных, заложенных при изготовлении или ремонте.

Повреждения, в зависимости от природы возникновения при эксплуатации, бывают износные, усталостные и коррозионные, в виде деформаций и изломов деталей и в результате старения материала.

Повреждения по месту возникновения подразделяются на наружные и внутренние. Наружные повреждения определяют осмотром или измерениями, а внутренние – средствами структуроскопии.

Основные характеристики повреждений: отклонения размеров, формы и взаимного расположения элементов от нормативных значений, размеры трещин, расход среды из-за течей и механические характеристики.

### 2.3.2. Способы и средства определения повреждений

Операции по определению повреждений следующие: наружный осмотр и простукивание; измерения линейных и угловых размеров; измерение параметров расположения; обнаружение приповерхностных трещин; определение течей; измерение специальных характеристик.

Простукивание применяют для определения ослабления посадок штифтов и заклепок и контроля резьбовых сопряжений с натягом. Такие резьбы разбирают только при необходимости. У них дополнительно измеряют момент затяжки.

Обломы и большие наружные трещины определяют осмотром. При осмотре применяют лупы складные ЛП–1, ЛАЗ, ЛПК–471, лупы штативные ЛШ, ЛПШ-25, ЛПШ–462, микроскопы отсчетные МИР–1М и МИР–2 и микроскопы бинокулярные типа БМИ.

При контроле линейных размеров элементов деталей широко применяют непроходные неполные предельные калибры, рабочие размеры которых определены ГОСТ 2015–84. Наряду со специальными средствами применяют универсальный инструмент: штангенциркули (ГОСТ 166–89), штангензубомеры, штангенглубиномеры (ГОСТ 162–90), гладкие микрометры (ГОСТ 6507–90), индикаторные нутромеры (ГОСТ 868-82, ГОСТ 9244–75). Допустимая погрешность измерений определена ГОСТ 8.051–81.

Контроль внутренних и наружных цилиндрических поверхностей производят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях или в плоскости наибольшего износа.

Резьбы проверяются осмотром, а наиболее ответственные из них – резьбовыми калибрами.

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

Отклонение от круглости измеряют кругломерами, от плоскостности – с помощью щупов или оптико-механическими приборами.

Отклонения от взаимного расположения поверхностей измеряют, главным образом, с помощью специальных средств, оснащенных индикаторами часового типа (ГОСТ 577–68). Например, в блоке цилиндров в сборе с картером сцепления двигателя внутреннего сгорания необходимо измерить соосность коренных опор между собой и с отверстием под коробку передач в картере сцепления, биение торца картера сцепления относительно оси коренных опор, параллельность торцев 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.

Для обнаружения приповерхностных усталостных трещин в деталях ремонтного фонда, неразличимых визуально, применяют

магнитные, люминесцентные и звуковые способы контроля. Перспективно применение рентгено– и гамма–дефектоскопии.

Магнитные способы применяют для контроля деталей из ферромагнитных материалов, способных под влиянием магнитного поля изменять свои магнитные характеристики. По способу получения первичной информации различают следующие виды контроля: магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и др. Наибольшее распространение в ремонте из магнитных способов получил первый вид контроля.

Для визуального определения магнитных полей рассеяния над трещинами в магнитопорошковой дефектоскопии применяют магнитные порошки. Железные порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа $Fe(CO)_5$ или диспергированием железа электрической дугой в керосине, а порошок ферромагнитного оксида железа получают окислением магнетика. Наибольшее распространение получили черный магнитный порошок, представляющий собой измельченный оксид–закись железа $Fe_3O_4$, и буровато–красный порошок – оксид железа $Fe_2O_3$. Для контроля деталей с темной поверхностью используют светлые порошки (с добавлением алюминиевой пудры) или люминесцентные порошки, содержащие люминофор–люмоген светло–желтого цвета. Размер частицы порошка – 0,1...60 мкм. Магнитные пасты, предназначенные для разведения в жидкости, содержат различные смачивающие, антикоррозийные и другие добавки.

Магнитопорошковый контроль включает следующие операции: подготовку детали к контролю, ее намагничивание, нанесение на проверяемую поверхность магнитного порошка или суспензии, обнаружение повреждения и размагничивание детали.

Повреждения обнаруживаются, когда направление магнитного поля перпендикулярно трещине. Поэтому простые детали намагничивают в одном направлении, а детали сложной формы – в нескольких направлениях. Для создания наилучших условий контроля применяют три способа намагничивания: циркуляционное, полюсное и комбинированное.

Циркуляционное (поперечное) намагничивание производят пропусканием тока под напряжением 12 В через контролируемую деталь (рис. 2. 14 а) или через проводник, помещенный в отверстие детали. В этом случае хорошо обнаруживаются продольные трещины.

Полюсное (продольное) намагничивание до напряженности 480 А/см осуществляется с помощью электромагнитов или соленоидов (рис. 2. 14 б), при этом деталь намагничивается вдоль своего наибольшего размера и на ней обнаруживаются поперечные трещины.

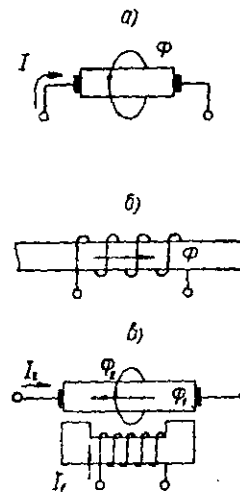


Рис. 2. 14. Схемы намагничивания деталей:
а) – циркуляционного; б) – полюсного; в) – комбинированного.

Комбинированное намагничивание (рис. 2. 14 в) осуществляется при одновременном намагничивании детали двумя или несколькими изменяющимися магнитными полями для обнаружения трещин любого направления.

Характеристики магнитопорошковых дефектоскопов приведены в таблице 2. 6.

Размагничивание детали происходит в переменном магнитном поле с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторого максимального значения до нуля. Чем больше магнитная проницаемость материала и толщина (стенки) детали, тем меньше должна быть частота размагничивающего переменного магнитного

*поля*. Для контроля размагниченности применяют феррозондовый полюсоискатель ФП–1 или прибор контроля размагниченности ПКР–1.

Таблица 2. 6.

Технические характеристики магнитопорошковых дефектоскопов

| Тип | Род тока | Максимальная сила тока, А | Напряженность поля при полюсном намагничивании, А/см. | Максимальная длина детали, мм. |
|---|---|---|---|---|
| УМДЭ –10000 | Переменный, однополу-периодный | 12000 | 240 | 1600 |
| | Выпрямленный | 15000 | 240 | 1600 |
| УМДЭ –15000 | Переменный | 5000 | 200 | 900 |
| МД-10П | Переменный, импульсный | 20000 | 400 | 2000 |
| У-604–68 | Переменный | 10000 | 480 | 1725 |
| МДС-1,5 | Переменный | 2500 | 80 | 200 |
| МДС-5 | Переменный | 7500 | 80 | 900 |

Люминесцентный (капиллярный) способ является основным при контроле деталей из цветных материалов, а также дополнительным при магнитопорошковом контроле. Очищенные детали погружают в ванну с флуоресцирующей жидкостью на 10...15 мин. В качестве такой жидкости применяют состав (% массы): трансформаторное масло – 20, керосин – 40, бензин – 20, краситель–дефектоль – 20. Раствор проникает в обнаруживаемые трещины и там задерживается. Затем деталь очищают раствором технического моющего средства и просушивают подогретым сжатым воздухом, что способствует выходу флуоресцирующего раствора на поверхность и растеканию его по краям трещины. При освещении ультрафиолетовыми лучами раствор дает яркое свечение желто–зеленого цвета. Трещины можно выявить и мелким высушенным порошком силикагеля.

Освещенность места контроля лампами накаливания должна быть не менее 500 лк, а при ультрафиолетовом излучением длиной

волны 315...400 нм – не менее 50 лк. Источником ультрафиолетового света служат ртутно-кварцевые лампы.

Приповерхностные трещины на деталях несложной формы определяют с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Акустические способы делят на две большие группы: использующие излучение и прием акустических волн (активные способы) и основанные только на приеме волн (пассивные способы). Для определения повреждений деталей ремонтируемых машин наиболее применимы способы первой группы (рис. 2. 15).

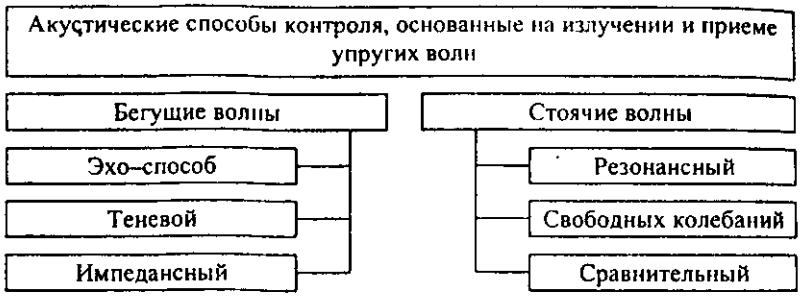


Рис. 2. 15. Классификация акустических способов контроля.

Активные акустические способы, в которых применяют бегущие волны, делятся, в свою очередь, на две группы: использующие прохождение и отражение волн.

К способам прохождения волн относятся следующие. Теневой способ основан на уменьшении амплитуды прошедшей волны под влиянием повреждения (рис. 2. 16 а). Временной теневой способ основан на запаздывании импульса, вызванном огибанием повреждения. Зеркально–теневой способ основан на ослаблении сигнала, отраженного от противоположной поверхности изделия. Эхо–способ (рис. 2. 16 б) регистрирует эхо–сигналы от повреждений. Последний способ применяется в том случае, когда доступ к поверхности детали возможен с одной стороны.

Сравнительный ультразвуковой способ основан на сопоставлении реальной ультразвуковой характеристики изделия с

эталонной. В детали ударным преобразователем возбуждаются вибрации в ультразвуковом диапазоне. Полученные приемным преобразователем вибрационные сигналы поступают в прибор, и после усиления и фильтрации анализируются в блоке 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 делается вывод о годности детали к восстановлению. Эталонные значения вибрационных сигналов получают с заведомо годной для восстановления детали.

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

Неразрушающий контроль внутренней структуры

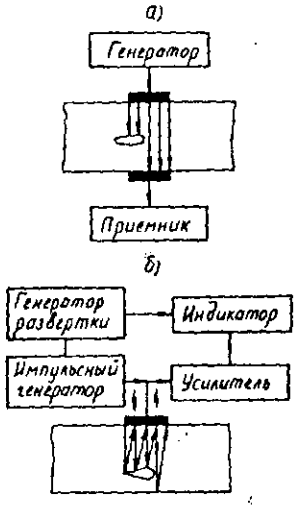


Рис. 2. 16. Схемы акустических способов определения повреждений:
а) – теневого; б) – эхо–способ.

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.

Наличие повреждений или изменение свойств материала при резонансном способе контроля определяют по изменениям резонансных частот. Согласно способу свободных колебаний в части изделия ударом возбуждают механические колебания и анализируют спектр возбуждаемых частот. В поврежденных изделиях спектр, как правило, смещается в высокочастотную сторону.

Внутренние полости некоторых деталей или сопряжений пар деталей проверяют по критерию герметичности. Герметичность – свойство конструкции или материала препятствовать проникновению жидкости или газа (ГОСТ 24054–80). В качестве пробного вещества применяют воду, керосин или воздух. Количественная характеристика герметичности выражается расходом газа или жидкости, протекающими через течь, или падением давления в полости за единицу времени. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили газовые манометрические способы. Таким образом, контролируют блоки, головки и гильзы цилиндров, впускные трубы и газопроводы, корпусы воздухоочистителей и другие изделия.

Герметичность стенок водяной рубашки головки цилиндров проверяют посредством стенда (рис. 2. 17). Пробным веществом является сжатый воздух. Предмет ремонта при испытании помещают в воду. Течи определяют по выходу пузырьков воздуха.

Стенд состоит из ванны 1,заполняемой водой, с кронштейном, на оси которого установлен рычаг 6, плиты 2 для установки головки цилиндров, зубчатого сектора 3, соединенного с рейкой 4, и пневмоцилиндров 5 и 7. Рычаг 6 перемещается от пневмоцилиндра 7. Вращение плиты 2 происходит в результате взаимодействия сектора 3 и рейки 4, которая приводится от пневмоцилиндра 5. Угол поворота сектора 3 около 180°.

Стенд работает следующим образом. Сжатый воздух подают в пневмоцилиндр 7, шток пневмоцилиндра втягивается и поворачивает рычаг 6 по часовой стрелке, плита 2 перемещается в верхнее положение. Проверяемую головку цилиндров устанавливают и закрепляют на плите, при этом между ними устанавливают резиновую прокладку. В полость водяной рубашки подают сжатый воздух. С помощью

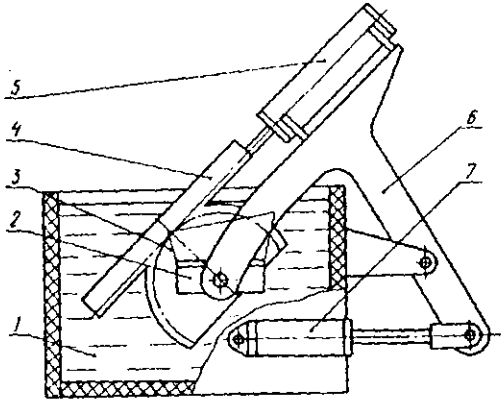


Рис. 2. 17. Стенд для контроля герметичности головки цилиндров: 1–ванна; 2–плита; 3–сектор зубчатый; 4–рейка; 5 и 7–пневмоцилиндры; 6–рычаг.

пневмоцилиндра 7 рычаг 6 поворачивается против часовой стрелки, отчего головка цилиндров оказывается в воде. Посредством пневмоцилиндра 5 и зубчатой пары «рейка – сектор» головка цилиндров проворачивается в поле зрения оператора для обнаружения места течи.

Производительную и объективную сортировку по жесткости пружин клапанов и сцеплений обеспечивает стенд (рис. 2. 18).

Корпус 1 стенда с направляющими элементами и кронштейнами крепят опорной поверхностью на верстаке. Скалки 2 и 5 установлены со скольжением в соосных втулках, причем шток пневмокамеры 7 ввернут в верхнюю скалку 5, ход которой ограничен гайками 6. Пневмокамера установлена и закреплена на кронштейне корпуса. В нижней скалке 2 имеется паз, в который входит одним

концом рычаг 3 (соотношение плеч 1:2), напрессованный на ось 4. Рычаг вращается относительно корпуса 1 в игольчатых подшипниках. На другом конце рычага установлена призма 12 с грузом 14. 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.

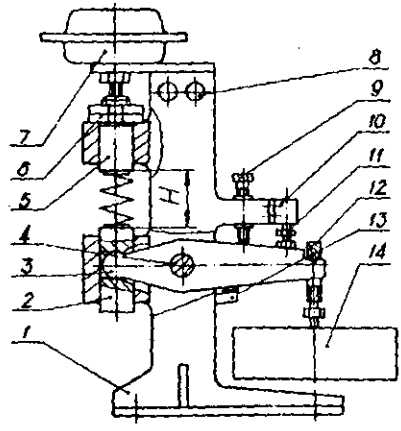


Рис. 2. 18. Стенд для контроля жесткости пружин:
1–корпус; 2 и 5–скалки; 3–рычаг; 4–ось; 6–гайки регулировочные; 7–пневмокамера; 8–световой индикатор; 9 и 11–болты регулировочные; 10–конечный выключатель; 12–призма; 13–упор; 14–груз.

При изготовлении стенда добиваются, чтобы массы контролируемой пружины, скалки 2 и левого конца рычага 3, с одной стороны, и правого конца рычага с болтом 11 и призмой 12, с другой стороны, были уравновешены относительно оси вращения рычага.

При наладке стенда, вращая болт 9, устанавливают зазор 0,4 ...0,5 мм между рычагом 3 и упором 13. При вращении болта 11 и касании рычагом болта 9 контакты конечного выключателя 10 замыкаются (горит зеленая лампочка индикатора 8), а при касании

рычагом упора 13 контакты размыкаются (горит красная лампочка). Болты 9 и 11 фиксируются контргайками. Затем при касании рычагом болта 9 и включенной пневмокамере 7 вращают гайки 6 и устанавливают расстояние Н между опорными поверхностями скалок, равное высоте пружины под нагрузкой. Расстояние Н выбирают с учетом характеристики пружины. И, наконец, к призме 12 привинчивают груз 14, вес которого равен половине необходимого усилия сжатия контролируемой пружины.

Проверяемую пружину устанавливают на опорную поверхность скалки 2 при выключенной пневмокамере 7 и поднятой скалке 5. Включают пневмокамеру. При этом годная пружина передает усилие на рычаг, 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 работ

При сортировке деталей по годности назначают сплошной контроль, потому что детали могут иметь критические повреждения. При ремонте, как правило, принят качественный способ определения повреждений, т.е. устанавливают факт их наличия без определения количественных характеристик. Исключение составляет описание повреждений, способ устранения которых назначается в зависимости от величины повреждений (значений износов, длин трещин, площади пробоин и др.). Повреждение на детали помечают, а в соответствующем поле ведомости ставится знак «+». Отсутствие пометки означает годность элемента детали. В первую очередь находят повреждения, при наличии которых деталь выбраковывают. При технологической подготовке производства определяют организацию учета деталей и способ пометки поврежденных элементов. Возможны такие решения: – поврежденные места помечают краской. Краску наносят непосредственно на место повреждения. Содержание повреждения шифруют цветом краски и характером линий. Типовая технология ГОСНИТИ рекомендует сортировать детали на группы и помечать цветом: зеленым – годные детали, желтым – детали годные только для сопряжения с новыми или восстановленными до номинальных размеров деталями, белым – детали, подлежащие восстановлению на данном предприятии, синим – детали, подлежащие восстановлению на

специализированных предприятиях, красным – утильные детали; повреждения записывают на бланке установленной формы и приклеивают его к детали. Деталь поступает на рабочие места восстановления, где рабочие вычитывают повреждения и по разработанной технологии устраняют их. Контролер на своем посту в конце линии восстановления определяет полноту и качество работ; на детали выбивают порядковый номер. Повреждения данной детали шифруют и сведения о них в виде таблицы 2. 7 вносят в память малой ЭВМ. На каждом рабочем месте имеется монитор. По данным запроса о состоянии детали устраняют повреждения на этом рабочем месте. Контролер также вычитывает доремонтное состояние детали и определяет полноту и качество восстановления. Такая организация перспективна при необезличенном методе ремонта.

Последние два метода нанесения пометок относятся к указанию повреждений на крупных деталях.

Опыт показывает, что оснащение постов сортировки необходимыми средствами и организация дополнительных слесарных работ по устранению несложных повреждений (забоин, погнутости и др.) приводит к значительному уменьшению затрат на ремонт. Из деталей ремонтного фонда 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.

Таблица 2. 7.

Ведомость повреждений.

| (наименование, каталожный номер детали) | |
|---|---|
| № детали | Повреждение: номер, наименование, наличие (+) |
| | 1, 2, 3, ... n |
| 1<br>2<br>3<br>.<br>.<br>.<br>m | |

Сортировщик (Фамилия, и. о.) " " 20 г.

(подпись)

## 2.3.4. Понятие о маршрутной технологии восстановления деталей

Возможны две организационные формы ремонта: подефектная и маршрутная. Подефектную технологию разрабатывают для устранения отдельных повреждений, маршрутную технологию – для устранения реально существующих сочетаний повреждений по установленным маршрутам.

Подефектная технология для ремонтных предприятий с большими объемами выпуска экономически не оправдана. При этом 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 деталей распадается при восстановлении, а учет деталей, трудовых и материальных затрат затрудняется. При этих условиях невозможен запуск в производство больших партий деталей и нецелесообразно применение специализированного оборудования и оснастки.

Проф. К. Т. Кошкин впервые предложил и на 5–ом АРЗ г. Москвы внедрил маршрутную технологию восстановления деталей. Основой для этого послужил опыт капитального ремонта машин промышленными методами.

Детали, требующие восстановления, имеют, как правило, множество приобретенных повреждений, повторяющихся в определенных сочетаниях в зависимости от условий эксплуатации. Состав технологических операций определяется естественным сочетанием повреждений, выявленных в результате исследования ремонтного фонда машин, а также технологической необходимостью восстановления комплекса поверхностей. Такое восстановление обеспечивает необходимое качество и экономическую эффективность.

При разработке маршрутов восстановления деталей необходимо учитывать следующие основные принципы.

1–й принцип. Сочетание повреждений в каждом маршруте должно быть действительным; сочетания устанавливают исследованиями закономерностей появления повреждений на деталях. Исследованию подвергается большое количество деталей.

2–й принцип. Количество маршрутов восстановления деталей должно быть минимальным. Большое количество маршрутов затрудняет

организацию, требует большой площади складов. Количество маршрутов может быть уменьшено путем объединения вариантов сочетаний повреждений, отличающихся наличием незначительных по трудоемкости повреждений, а также исключением маршрутов с редко встречающимися сочетаниями повреждений. Сокращать количество маршрутов можно включением операций по устранению взаимосвязанных повреждений (восстановление соосных отверстий, ориентированных плоскостей и т.д.)

3–й принцип. Способ восстановления детали предопределяет содержание маршрута. Так, если изношено отверстие под гильзу в блоке цилиндров и принят способ восстановления установкой и закреплением дополнительной ремонтной детали, при котором устраняют два повреждения – износы отверстия и стыка, то в комплекс повреждений, подлежащих восстановлению, включают оба повреждения независимо от того, имеются одно из них или оба одновременно.

4–й принцип. Восстановление детали по данному маршруту должно быть экономически целесообразным. Критерием эффективности выступают затраты на восстановление, а сравнительной базой – цена новой детали. Затраты на восстановление детали включают затраты прошлого (овеществленного) и живого труда.

# Раздел 3. ОСНОВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Восстановление деталей – это множество технологических операций по устранению повреждений и возобновлению геометрических параметров поверхностей и физико–механических свойств материала деталей.

Необходимое подмножество таких операций на пути превращения исходной заготовки в деталь называется способом восстановления детали.

Восстановление изношенных деталей позволяет использовать их остаточный ресурс, при этом сокращается потребление запасных частей, живого труда, энергии и материалов, сохраняется окружающая среда.

Наибольшее применение в ремонтном производстве нашли следующие способы создания ремонтных заготовок: электродуговая наплавка, газотермическое напыление, нанесение гальванических покрытий, электроконтактная приварка металлического слоя, пластическое деформирование, нанесение полимерных покрытий, закрепление дополнительных ремонтных деталей.

## *3.1. Способы ремонтных размеров и дополнительных ремонтных деталей*

### 3.1.1. Восстановление сопряжения способом ремонтных размеров

Восстановление кинематических пар способом ремонтных размеров (РР) заключается в том, что восстанавливаемый элемент более дорогой и трудоемкой детали сопряжения обрабатывают под ремонтный, заранее установленный размер, а другую сопрягаемую деталь изготавливают, восстанавливают или приобретают.

Способ обеспечивает взаимозаменяемость сопрягаемых деталей в пределах ремонтного размера. Наличие установленных ремонтных размеров позволяет организовать серийный или массовый выпуск заменяемых деталей на специализированных заводах. Это значительно упрощает технологию восстановления другой более сложной детали,

снижает стоимость и уменьшает время восстановления. Материал поверхности элемента детали совпадает с материалом основы.

Машиностроение освоило выпуск поршней, поршневых колец, вкладышей подшипников коленчатого вала и других деталей ремонтных размеров.

Способ получения сопряжения деталей с РР бывает основным при освоении ремонта изделий, когда нет мощностей по нанесению восстановительных покрытий.

Способ обеспечивает наименьшую трудоемкость ремонта, правильную геометрическую форму восстанавливаемых элементов и возвращает сопряжению деталей первоначальный зазор.

Однако, реализация способа сопряжена с большими затратами на приобретение заменяемой детали, а в эксплуатации возможен повышенный износ подвижного сопряжения из-за снятия наружного более износостойкого слоя материала при обработке детали, наблюдается снижение усталостной прочности валов и увеличение удельного давления в сопряжениях. Износ коренных шеек коленчатых валов, например, увеличивается на 15...20 %, начиная с третьего ремонтного размера, а усталостная прочность снижается на 25 % при достижении последнего ремонтного размера.

Для полного использования ресурса восстанавливаемой детали необходимо использовать все ремонтные размеры путем точной механической обработки и обеспечением производства сопрягаемыми деталями соответствующих размеров.

Значение РР устанавливают в зависимости от величины и характера износа поверхности, а также от припуска на механическую обработку. Припуск в целях экономии расхода материала и остаточной долговечности детали устанавливают минимальным.

Значение первого ремонтного размера будет отличаться от номинального размера (рис. 3. 1) на величину удвоенного максимального износа и припуска на механическую обработку на сторону. Предполагается, что ось восстановленного элемента совпадет с первоначальной осью этого элемента. Первый ремонтный размер $d_{p1}$, $D_{p2}$ определяют по формулам:

для вала $d_{p1} = d_н - 2(z'' + t)$, мм;

для отверстия $D = D_н + 2(z'' + t)$, мм,

где $d_н$ и $D_н$ – номинальный размер, соответственно, вала и отверстия, мм; z" – значение максимального износа на сторону, мм; t – припуск на механическую обработку на сторону, мм.

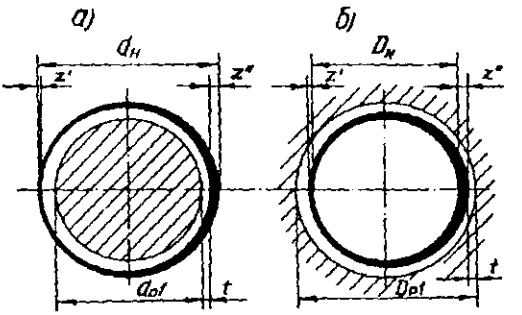


Рис. 3. 1. Схема определения ремонтных размеров: а) – для вала; б) – для отверстия.

Введем величину – коэффициент неравномерности износа r, который определим как отношение максимального износа детали на сторону к величине общего износа на диаметр. Если минимальный износ детали обозначить через z',то общий износ z будет равен сумме z = z' + z", а коэффициент неравномерности износа равен

$$r = z"/z \quad и \quad z" = rz.$$

Подставив значение z», можно представить зависимости в виде:

$$d_{p1} = d_н - 2(rz + t), \text{ мм};$$

$$D_{p1} = D_н + 2(rz + t), \text{ мм}.$$

При равномерном износе детали, т.е. когда z' = z" коэффициент неравномерности износа равен r = 0,5, а при одностороннем износе, когда z' = 0, r = 1. Таким образом, значение коэффициента r находится в пределах 0,5...1. Значения износов и коэффициента их неравномерности определяют опытным путем.

Для чистового точения и растачивания припуск на обработку составляет 0,05...0,10 мм, а для шлифования – 0,03...0,05 мм на сторону.

Если выражение 2(rz + t), которое принято называть ремонтным интервалом, обозначить i, то расчетные формулы для определения первых и последующих ремонтных размеров будут следующие:

для валов $d_{p1} = d_н - i$, $d_{p2} = d_н - 2i$, ... , $d_{pn} = d_н - ni$;

для отверстий $D_{p1} = D_н + i$, $D_{p2} = D_н + 2i$, ... , $D_{pn} = D_н + ni$.

Зная предельно допустимые размеры валов $d_{min}$ и отверстий $D_{max}$, можно определить число возможных ремонтных размеров детали:

$$n = (d_н - d_{min}): i; \quad n = (D_{max} - D_н): i.$$

Ремонтные размеры могут быть категорийными (установленными ремонтными документами для определенной категории ремонта) и пригоночными. В последнем случае исключена взаимозаменяемость восстановленных деталей.

Цилиндры двигателя имеют до 3 нормативных ремонтных размеров с ремонтным интервалом 0,5 мм, шейки коленчатых и распределительных валов имеют до 6 таких размеров с ремонтным интервалом 0,25 мм.

Предельно допустимые размеры валов и отверстий определяют из условий обеспечения жесткости и механической прочности детали, удельного давления в сопряжении и поверхностной твердости материала.

Кроме цилиндрических поверхностей, способом РР можно восстанавливать резьбовые поверхности путем рассверливания или растачивания изношенной и нарезания ремонтной резьбы. Резьбы нарезают только после полного удаления изношенного элемента. Шаг резьбы сохраняется, а диаметр выбирают из ряда стандартных.

### 3.1.2. Восстановление деталей способом установки и закрепления дополнительных ремонтных деталей

Дополнительные ремонтные детали (ДРД) применяют для компенсации износа поверхностей деталей или замены их поврежденных частей.

В первом случае ДРД устанавливают и закрепляют непосредственно на изношенной поверхности. Таким образом, восстанавливают шейки валов, отверстия под подшипники качения в картерах, отверстия с изношенной резьбой и другие элементы. В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД имеют вид гильзы, кольца, резьбовой втулки, спирали и др. Во втором случае

может быть заменена сложная часть детали с несколькими поврежденными элементами.

ДРД обычно изготавливают из того материала, из которого изготовлена сама деталь. ДРД, выполняющие функции трущихся элементов, могут быть перед установкой термообработаны.

В настоящее время все больше применяют ДРД для целей восстановления под номинальные размеры деталей с большими износами. Способ позволяет устранять повреждения, трудноустранимые другими способами.

Процессы создания припусков с применением ДРД подразделяют в зависимости от способа их закрепления. ДРД крепят на восстанавливаемых поверхностях за счет натяга, приваркой, приклеиванием, пайкой, силами упругости и упорами (на шейках валов), винтами, штифтами и навинчиванием по резьбе, выполненной на теле детали. Изучение патентного фонда на тему восстановления изношенных деталей (кл. МКИ В23Р6/06) показало, что наибольшее число изобретений за последние годы относится к применению ДРД.

Широко распространено закрепление цилиндрических ДРД на шейках валов или в отверстиях корпусов за счет натяга. Шероховатость сопрягаемых поверхностей при этом должна быть не более Ra 1,25...0,32 мкм.

Условие прочности закрепленной на валу ДРД путем ее напрессовывания при нагружении статической осевой силой S:

$$S < fp\Pi dl, \text{ Н},$$

где f – коэффициент трения; p – давление на поверхности контакта, Па; d и l – диаметр и длина сопряжения, соответственно, м.

Давление на поверхности контакта связано с натягом b зависимостью:

$$p = \frac{b}{d\left(C_1/E_1 + C_2/E_2\right)}, \text{ Па}$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2;$$

где $C_1$ и $C_2$ – коэффициенты; $E_1$ и $E_2$ , $\mu_1$ и $\mu_2$ – модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки, $d_1$ и $d_2$ – диаметр отверстия в вале и наружный диаметр во втулке, м.

Необходимую прочность сопряжения получают выбором длины и натяга посадки. Для надежного соединения ДРД с основной деталью их просверливают, отверстие разворачивают или в нем нарезают резьбу. В отверстие устанавливают штифт или резьбовой стопор.

Наибольшее распространение получил способ закрепления ДРД приваркой. Таким образом, восстанавливают шейки коленчатых валов, канавки поршней, венцы шестерен, стыковые приливы картеров и др.

При восстановлении коленчатых валов, исчерпавших все ремонтные размеры, шейки предварительно обрабатывают под установленный размер. Отдельно изготавливают ДРД в виде полуколец из конструкционной стали. Операцию гибки выполняют после высокочастотного нагрева в формовочном штампе. Матрица штампа выполнена со множеством отверстий для подачи охлаждающей воды в конце операции с целью закалки ДРД. После растачивания и подрезки ДРД их устанавливают парами на шейки, прижимают струбцинами и приваривают по окружности и образующим. Затем шейки шлифуют и полируют под номинальный размер.

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 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. 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 следует принимать не менее 4 мм.

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 наносят клеевую композицию. После этого устанавливают накладку из стали 20 и ее приваривают контактным точечным способом, формируя соединение.

Интерес представляет способ закрепления ДРД на поверхности шеек силами упругости и упорами. ДРД вырубают из шлифованной и полированной полосы из инструментальной или пружинной стали толщиной 0,7 мм. Длина детали соответствует длине окружности

восстанавливаемого элемента. В детали пробивают фигурные отверстия с лепестками. Затем деталь скручивают в кольцо и отгибают усики. На восстанавливаемой шейке фрезеруют углубления. ДРД в виде браслета надевается на шейку вала таким образом, чтобы усики ДРД вошли во фрезерованные углубления. Силы упругости заставляют ДРД копировать форму шейки, а усики, взаимодействующие с торцем углубления, фиксируют ДРД от проворота.

Ремонт резьб производят с помощью винтовых вставок из ромбической проволоки. Материал проволоки – аустенитная хромоникелевая сталь. ДРД представляет собой пружинящую спираль с концентричными друг относительно друга внутренней и наружной резьбами высокой точности. Спираль имеет на одном конце поводковый усик, который обламывают после установки ДРД.

Перед установкой ДРД рассверливают отверстие с восстанавливаемой резьбой спиральным сверлом. Таким образом, удаляется разрушенная или поврежденная резьба. Отверстие не цекуют во избежание трудностей при ввинчивании ДРД. В полученном отверстии нарезают резьбу большего размера.

Внешний диаметр ДРД в свободном состоянии перед установкой больше, чем соответствующий диаметр резьбы в отверстии, что обеспечивает натяг в сопряжении.

ДРД ввинчивают в резьбовое отверстие с помощью специального инструмента за поводковый усик. Выступание вставки из детали не допускается.

Способ обеспечивает повышение предельной нагрузки на резьбу, износостойкость резьбы, устойчивость против коррозии и термопрочность.

Производитель ДРД (товарное название "HELI-COIL") – фирма BOLLHOFF (Германия).

Восстановление деталей способом 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.

## 3.2. *ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА*

Способ применяют для деталей, изготовленных из пластичных материалов (сталь, ковкий чугун, бронза и др.) Он может быть

использован и для хрупких материалов, которые превращаются в пластичные путем нагрева или создания благоприятных условий нагружения. Способ основан на изменении размеров и формы детали за счет перераспределения материала самой детали.

### 3.2.1. Область применения пластического деформирования и характеристика способа

Восстановление деталей машин пластическим деформированием основано на использовании пластичности их материала. Пластичность – это свойство твердых тел под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточную деформацию после снятия этих сил.

Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям скольжения вследствие действия внешних сил. Чем больше плоскостей сдвига в объеме материала, тем более он пластичен, тем при меньших напряжениях происходит деформация сдвига.

Область применения пластического деформирования распространяется на восстановление размеров, жесткости, усталостной прочности, износостойкости и формы изношенных деталей, а также для упрочнения поверхностей. Способ экономичен и обеспечивает высокое качество восстановления.

Степень и усилие деформации зависят от пластичности материала, температура нагрева, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Пластичность зависит от химического состава, структуры и температуры материала и условий деформирования. Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов чаще всего уменьшает его способность к пластическому деформированию. Неоднородность структуры и неравномерность распределения примесей также приводят к уменьшению пластичности.

Пластичность увеличивается при 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.

Величина зерна влияет на пластичность при холодном деформировании. Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. При горячем деформировании размер зерна не сказывается на пластичности. Нагрев до температуры ковки уменьшает в 10...15 раз сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев деталей из углеродистых сталей до 350°С не увеличивает, а снижает пластичность, а нагрев свыше 700°С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких сталей целесообразен в интервале температур от 350 до 700°С.

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 величину деформаций допускает материал без разрушения. Максимальная величина деформации может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

Расчет значений технологических режимов при пластическом деформировании деталей, деформирующих усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на учете следующих положений: пластическая деформация наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале детали превышают предел его упругости. Используя это положение, можно определить усилие деформации; пластическая деформация детали сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры детали в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки. Это положение необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали; объем детали до пластической деформации равен объему ее после снятия нагрузки. Закон постоянства объема позволяет рассчитать величину деформации в нужном направлении; если возможно перемещение какой-либо точки деформируемого материала в разных направлениях, то эта точка будет перемещаться в направлении наименьшего сопротивления. Это положение позволяет сделать вывод о том, что если ограничить деформацию детали в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, где нет внешних препятствий.

### 3.2.2. Восстановление размеров деталей

Восстановление размеров элементов деталей пластическим деформированием за счет перераспределения материала из неизнашиваемого объема в зону износа включает подготовку детали, нагрев (при необходимости), приложение деформирующего усилия и последующую обработку. Подготовка детали к деформированию представляет собой отжиг или высокий отпуск. В ряде случаев заготовку непосредственно перед деформированием нагревают до температуры ковки. Последнюю операцию не проводят для стальных заготовок с твердостью менее HRC 25...30, а также для заготовок из цветных металлов. Деформирующее усилие создают молотами или прессами в приспособлениях. После снятия деформирующего усилия бывает необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров.

Процессы перераспределения материала классифицируют в зависимости от соотношения направления действия внешних сил и направления деформации, вида и источника применяемой энергии. В зависимости от соотношения направлений внешних сил и деформации различают следующие способы восстановления размеров деталей: осадка, раздача, обжатие, вытяжка, вдавливание (рис. 3. 2).

Осадку применяют для увеличения наружного размера сплошных деталей. При осадке действие силы P перпендикулярно

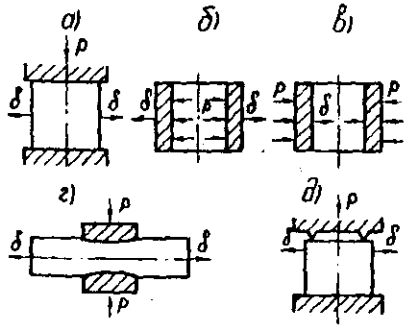


**Рис. 3. 2.** Схемы видов пластического деформирования: а – осадка; б – раздача; в – обжатие г – вытяжка; д – вдавливание

направлению деформации. В результате осадки площадь поперечного сечения детали увеличивается вследствие уменьшения ее высоты. Осадку применяют для восстановления пальцев, коротких осей и др. деталей. Для осадки применяют гидравлические прессы. Величина удельного давления p при осадке определяется по формуле:

$$p = \sigma_т(1 + d/6h), \text{ МН},$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала, МПа; d и h – диаметр и длина детали, м.

Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 8 %, а для остальных деталей – до 15 %.

Вытяжку применяют для увеличения длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения. По сравнению с осадкой деформации и действующие силы поменялись местами и направлениями. Вытяжкой восстанавливают размеры толкателей при износе торцевых поверхностей.

Направления действующих сил и деформаций при раздаче совпадают и направлены изнутри детали. Раздачу применяют для восстановления по наружному диаметру поршневых пальцев, чашек дифференциала, втулок и других деталей. Механическую раздачу выполняют сферическими или цилиндрическими прошивками (дорнами). Величина удельного давления при раздаче определяется по формуле:

$$p = 1{,}15\ \sigma_т \ln(R/r), \text{ МН},$$

где R и r – наружный и внутренний радиусы детали, м.

При обжатии направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь детали. Обжатие применяют для восстановления гильз и втулок по внутреннему диаметру, например, путем проталкивания деталей сквозь втулку-инструмент. Диаметр калибрующего пояска инструмента принимают из расчета уменьшения внутреннего диаметра на величину износа и припуска на механическую обработку.

Вдавливание объединяет в себе признаки осадки и раздачи. В большинстве случаев действующая сила направлена под углом к направлению требуемой деформации. Одновременное протекание осадки и раздачи сохраняет длину детали, что является преимуществом способа.

Вдавливание применяют при восстановлении зубьев шестерен, шлицев, шаровых пальцев и др. деталей. Восстановление ведут при высокой температуре нагрева (сталь – 680...920°С) в штампах.

Частным случаем вдавливания является накатка (рис 3. 3). Ее применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего размеров деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Накатку применяют для восстановления размеров шеек и отверстий под подшипники, а также для восстановления 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.

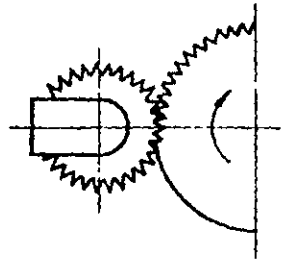

Рис. 3. 3. Накатка поверхностей.

Рекомендуется применять накатку для деталей, которые воспринимают контактную нагрузку не более 7 МПа. Детали, имеющие твердость HRC<32, можно накатывать в холодном состоянии при обильной подаче индустриального масла.

Подъем гребешков металла после накатки около половины высоты зуба накатника и зависит от шага накатки (1.2...3 мм). Скорость накатки среднеуглеродистых сталей 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.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают воздействия механическое, термопластическое и электрогидравлическое.

Термопластическое деформирование применяют для восстановления гильз цилиндров, поршней и поршневых пальцев. Сущность раздачи заключается в том, что деталь нагревают снаружи до определенной температуры 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 диаметром в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую «оправку», которая препятствует уменьшению диаметров наружных слоев.

Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев основана на эффекте Л. А. Юткина (а. с. СССР № 105011). Сущность эффекта заключается в инициировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость детали, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала детали и обеспечивает

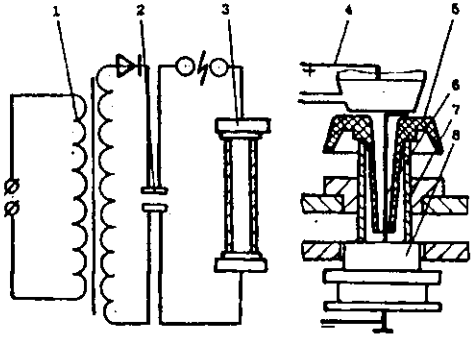


Рис. 3.4. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев:

1– источник энергии; 2 – накопитель энергии; 3 – технологический узел; 4 – положительный электрод; 5–пластмассовый патрон; 6 – проводник; 7 – деталь; 8 – отрицательный электрод

припуск на абразивную обработку.

Устройство для электрогидравлической раздачи (рис. 3, 4) включает следующие основные части: источник энергии 1, накопитель энергии 2 и технологический узел 3 с положительным 4 и отрицательным 8 электродами, между которыми установлена деталь 7 с проводником 6 и пластмассовым патроном 5.

Технологическая жидкость, заполняющая внутреннюю полость детали – вода. Напряжение разряда контура – 37 кВ, емкость батареи конденсаторов – 6 мкФ. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ–500, а инициирующий проводник – из алюминиевой проволоки диаметром 0,7 мм. При указанных режимах раздачи наблюдается пластическое увеличение диаметра поршневых пальцев, выполненных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

### 3.2.3. Правка деталей

Правку применяют для устранения остаточных деформаций изгиба, коробления или скручивания. Направление действующей силы при этом совпадает с направлением действующей деформации и в большинстве случаев перпендикулярно оси детали.

Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, рамы, кронштейны и другие детали. Правку, как и другие виды пластического деформирования, ведут без нагрева и с нагревом.

Для холодной правки характерны неоднородность степени деформации по сечению, а, следовательно, несимметричная эпюра остаточных напряжений. В связи с этим при холодной правке необходимо стремиться к распределению деформаций по всему объему металла. Остаточные напряжения способствуют возврату деформации. Для повышения стабильности результата применяют двойную правку с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500°С и выдержкой в течение 1 часа. Такой нагрев восстанавливает несущую способность правленных деталей до 90 % по отношению к неправленным.

Усилие холодной правки P определяют по формуле:

$$P = 6{,}8\sigma_т d^3 / 10^3 l,$$ где $l$ – длина детали.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют горячую правку. Нагревают всю деталь или ее часть. Оптимальная температура

горячей правки 600...800°С. Такая правка завершается термической обработкой.

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 нагрузки.

Высокое качество обеспечивает правка наклепом. Точность правки при этом достигает 0,02 мм, наблюдается стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком и нанесением ударов по неработающим поверхностям детали (например, по щекам).

### 3.2.4. Механическое упрочнение поверхностей и восстановление свойств деталей

Пластическая деформация металлов в холодном состоянии происходит за счет сдвига по плоскостям скольжения отдельных частиц кристаллов друг относительно друга или за счет поворота одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части. 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 зерен. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение называется наклепом. Результат упрочнения выражается в том, что предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Многие детали машин при эксплуатации и восстановлении различными способами утрачивают усталостную прочность, жесткость и износостойкость. Восстановить эти свойства можно наклепом, который создает в приповерхностном слое металла сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных наплавкой, гальваническими покрытиями и напылением.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), дробеструйная обработка, центробежная обработка.

Наибольшее применение получило обкатывание 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) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи.

Внутренние поверхности (гильз цилиндров, отверстий в головках шатунов) упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 3. 5). Эта обработка обеспечивает требуемую точность размеров деталей и необходимую шероховатость. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5 ...20 МПа, число ходов – 2...4.

Галтели на коленчатых валах упрочняют обкаткой профильными подпружиненными роликами, изготовленными из твердого сплава Т15К6 и касающимися при работе галтельных

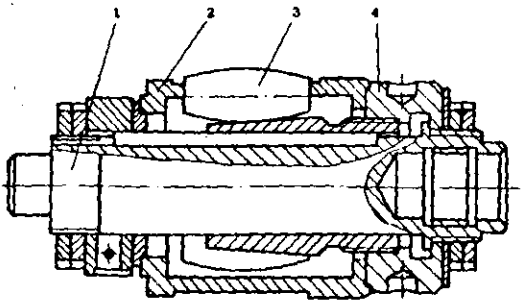


Рис. 3. 5. Роликовый раскатник для упрочнения зеркала цилиндра:
1–корпус; 2–сепаратор; 3–ролик; 4–регулировочная гайка.

переходов детали под действием приложенной силы. Более эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их чеканка. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при применении чеканки увеличивается в несколько раз по сравнению с обкаткой.

Усталостная прочность зависит от величины и знака внутренних напряжений в поверхностном слое детали в результате действия внешних сил. Усталостная прочность повышается за счет образования сжимающих остаточных напряжений.

Дробеструйная обработка применяется как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности (шатунов, деталей сварных соединений). 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 стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина не превышает 1 мм. Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировку скорости полета дроби. Основной недостаток обработки дробью заключается в опасности перенаклепа. Явление заключается в разрыхлении поверхностного слоя, его шелушении, появлении трещин и отслаивания при превышении установленного времени дробеструения.

Наклеп ротационным упрочнителем выполняется с помощью приспособления (рис. 3. 6), установленного на суппорте токарного станка. Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые вмонтированы шарики с возможностью перемещения вдоль оси 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 применяется, 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.

Усталостная прочность в результате наклепа повышается на 30...60 %. К ее повышению приводят увеличение нормального давления (силы удара) и продолжительности упрочнения, однако до определенного предела.

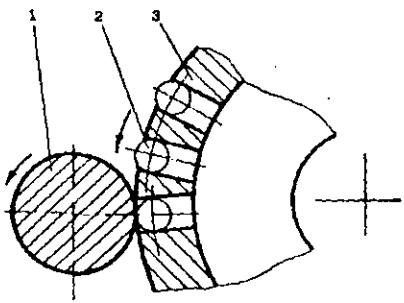


Рис. 3 6. Центробежная обработка шариками: 1–обрабатываемая деталь; 2–шарик; 3–сепаратор.

Способы механического упрочнения по–разному влияют на шероховатость обработанной поверхности. Обкатка (раскатка) и дорнирование во всех случаях улучшают шероховатость поверхности на 1...2 класса. Дробеструйная обработка ухудшает микрогеометрию поверхности, при этом увеличение частоты вращения ротора, диаметра дроби и продолжительности обработки ухудшают шероховатость поверхности на 1...2 класса. Упрочнение пневматическим молотком еще больше ухудшает шероховатость обрабатываемой детали. В этом случае на поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка. Поэтому, для получения необходимой шероховатости детали шлифуют.

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 на всего на 5...10 %.

Пластическое деформирование применяется и как отделочно–чистовая обработка в виде калибрования отверстий и алмазного выглаживания.

Отверстия калибруют перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ. Инструмент имеет вид шарика. При первоначальной шероховатости Ra = 6,3...1,6 мкм получают шероховатость Ra = 0,8...0,1 мкм для стали и 1,6...0,4 мкм – для чугуна. Если необходимо получить большую деформацию и высокое качество поверхности, то операцию делят на два перехода. На первом переходе деформируют 75...80 % припуска, на втором – остальную часть. Скорость обработки – 2...25 м/ мин.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям высокие износостойкость и усталостную прочность. Инструмент для выглаживания содержит наконечник с алмазом в виде закругленной иглы. Приспособление устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка. Алмазным выглаживанием обрабатывают только сплошные поверхности.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. 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. Качество выглаживания определяется формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает Ra = 0,1...0,05 мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя достигает 400 мкм, на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в два раза.

## *3.3. Сварка, наплавка и приварка металлического слоя*

### 3.3.1. Область применения сварки и наплавки деталей и характеристика источников тепла

Сварка – один из способов получения неразъемного соединения путем образования сварочного шва. Соединяемые поверхности, при этом, подвергаются местному нагреву до расплавления или пластического состояния. Сваркой устраняют механические

повреждения (трещины, пробоины) и закрепляют дополнительные ремонтные детали.

Наплавка применяется для нанесения восстановительно-упрочняющего покрытия путем расплавления теплом пламени или дуги присадочного металла, переноса его на оплавленную восстанавливаемую поверхность и кристаллизации слоя. Наплавочные покрытия служат для компенсации износа и создания припуска для механической обработки при восстановлении деталей. Наплавка по сравнению с другими способами нанесения покрытий, дает возможность получать слои с высокой производительностью, любых толщин, различного химического состава и с высокими физико-механическими свойствами. Наплавочные покрытия наносят на стержни диаметром более 12 мм.

Сварка и наплавка наиболее распространены среди способов создания ремонтных заготовок при восстановления деталей.

В зависимости от вида источника тепла различают сварку или наплавку: электротермическую (свободной дугой), плазменную (сжатой дугой) газотермическую (теплом газового пламени), электрошлаковую (за счет прохождения электрического тока через расплавленный шлак), электроннолучевую (энергией ускоренных электронов), лазерную (излучением лазера) и др.

Электрическая дуга как источник тепла представляет собой электрический разряд в газообразной среде между двумя электродами, к которым приложено напряжение. Ток обусловлен движением электронов и ионов, которое возникает за счет эмиссии электронов и ионизации газов в дуговом промежутке дуги.

На катоде (рис. 3. 7) образуется наиболее активный и нагретый участок, который называется катодным пятном. На аноде имеется анодное пятно. Средняя часть газового разряда называется столбом дуги, который практически равен ее длине. Температура столба дуги достигает 6000°С.

Сила тока, состав и давление газа, материал и размеры электродов определяют форму и размеры столба дуги. Градиент падения напряжения в столбе постоянен. Условлено, что при прямой полярности плюс подключен к детали. При подключении плюса к электроду (обратная полярность) дуга горит устойчиво при равномерной подаче электродной проволоки. Поэтому в практике наплавки предпочтение отдают обратной полярности. Сила сварочного

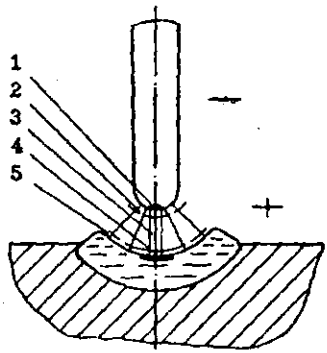


Рис. 3. 7. Зоны дугового разряда: 1–катодное пятно; 2–катодная зона; 3–столб дуги; 4–анодное пятно; 5–анодная зона.

тока оказывает наибольшее влияние на глубину проплавления, размеры валика наплавленного металла и производительность процесса.

В сварочно-наплавочных процессах широкое применение нашло газокислородное пламя. Температура горения ацетиленокислородного пламени – 3150°С, пропан-бутана в кислороде – 2043°С и природного газа в кислороде – 1850...2000°С.

Высокое качество покрытий обеспечивает плазменный нагрев наносимых материалов. Газ, в котором значительная часть атомов или молекул ионизирована, а концентрация электронов и отрицательных ионов равна концентрации положительных ионов, называется плазмой. Плазма обладает высокой электропроводностью. При диссоциации молекул плазмообразующего газа (распаде их на атомы) и ионизации атомов (потере электронов) происходит поглощение энергии. При охлаждении такого газа наблюдается обратный процесс рекомбинации молекул с выделением энергии, равной энергии их диссоциации и ионизации атомов. Сочетание этих процессов принципиально отличает плазменный нагрев от других видов нагрева, например газопламенного. Высокая ионизация плазмы обусловливает высокую температуру струи. Плазменная струя имеет высокую скорость течения, в определенных условиях превышающую скорость звука.

В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот, аммиак, водород и гелий. Двухатомарные газы (например, азот) обладают большей энтальпией, чем одноатомарные газы (например, аргон) при одинаковой температуре.

Схема плазменного генератора, применяемого для напыления материалов, приведена на рис. 3. 8. Между вольфрамовым катодом и медным водоохлаждаемым анодом возникает дуга, через которую продувают плазмообразующий газ (азот или аргон). Дуга сжимается стенками сопла анода и струями движущегося газа, что приводит к его

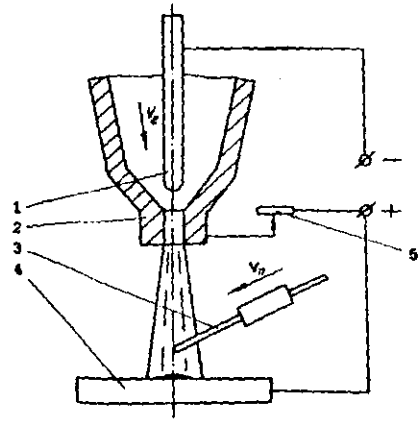


Рис. 3. 8. Схема плазменного генератора:
1–электрод–катод; 2–сопло; 3–наплавочная проволока; 4–восстанавливаемая деталь; $V_г$–скорость подачи плазмообразующего газа; $V_п$–скорость подачи проволоки.

плазмообразованию. Тепло плазменной струи частично затрачивается на нагрев напыляемого материала.

В общем, объеме сварочно–наплавочных работ электротермическая технология составляет около 80 %, а газопламенная – около 20 %.

### 3.3.2. Ручная и полуавтоматическая сварка

Ручная сварка применяется в ремонтном производстве при восстановлении сплошности материала (нанесении швов на трещины и места изломов) и для закрепления листовых ДРД. Поврежденные места деталей зачищают, края свариваемых деталей разделывают и после этого наносят сварочный шов. Сварку ведут переменным или постоянным током с применением сварочных трансформаторов ТС–300, ТС–500, ТД–300, а также сварочных преобразователей ПСО–500, САМ–300–2 и др. Для ручной сварки применяют электроды с покрытиями, которые подразделяются по типу стержня, назначению электрода, виду покрытия, его толщине и другим признакам. Обозначение типа электрода состоит из индекса Э и следующих за ним цифр и букв. Две или три цифры указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Затем следует обозначение химических элементов. Каждому типу электрода может соответствовать несколько марок его покрытия. Покрытия электродов по составу подразделяются на рудно-кислые – Р, рутиловые – Т, фтористо–кальциевые – Ф и органические – О.

Устранение трещин, разрывов и приварку ДРД при ремонте листовых конструкций из стали выполняют сваркой электродуговой в среде углекислого газа, газовой (ацетиленокислородной или пропан–бутан–кислородной) или контактной.

Тонколистовые панели сваривают в среде углекислого газа током обратной полярности проволокой Св–08ГСА или Св–08Г2С. Режим сварки назначают в зависимости от вида и толщины свариваемого металла. При сварке листов из углеродистой стали толщиной 1 мм применяют ток силой до 100 А и напряжением 20 В, наилучшее расстояние от сопла сварочной горелки до детали составляет 8...10 мм, а наклон электрода от вертикали не превышает 20°. Чтобы обеспечить спокойное горение дуги и минимальное разбрызгивание жидкого металла, сварку ведут дугой длиной 1,5...2,0 мм при быстром перемещении горелки. Применяют полуавтоматы А–537, А–547Р, ПДПГ–500 и другие. В качестве источников постоянного тока используют сварочные выпрямители.

При ацетиленокислородной сварке применяют эжекционные горелки с наконечниками.

Детали соединяют внахлест точечной сваркой. При этом применяют универсальные стационарные аппараты с пневматическим

механизмом сжатия. Переносным устройством являются сварочные клещи пневматического действия типа МТПГ–75 и однополюсные пистолеты для соединения тех деталей, которые невозможно сварить двусторонним подводом тока.

Трудность сварки алюминия обусловлена тем, что его поверхность покрыта плотной, химически стойкой и тугоплавкой пленкой. Температура плавления оксида 2160°С, а алюминия – 659°С. Наибольшее распространение при восстановлении деталей из алюминиевого сплава получила аргонодуговая сварка. В этом процессе кромки детали и присадочный материал расплавляются теплом электрической дуги, образующейся между вольфрамовым электродом и деталью. При этом из сопла наконечника непрерывно подается аргон, который окружает дугу, создает сосредоточенный нагрев и предохраняет расплавленный металл шва от вредного влияния кислорода и азота воздуха. Качество шва получается высоким, а коробление детали почти отсутствует.

Аргонодуговая сварка обеспечивает повышение производительности процесса в 3...4 раза по сравнению с ацетиленокислородной сваркой. При этом не применяются электродные покрытия и флюсы, возможна сварка тонких стенок, а интенсивность излучения дуги снижена в 4...8 раз.

Для аргонодуговой сварки применяют водоохлаждаемые горелки ГРАД–200 и –400, которые подключены к установкам УДГ–301 или УДГ–501.

### 3.3.3. Нанесение восстановительно – упрочняющих покрытий

Способы наплавки делят на группы в зависимости от видов применяемых источников тепла, наносимых материалов, характера легирования и способа защиты формируемого покрытия от влияния кислорода воздуха.

Наибольшее распространение в ремонте при нанесении покрытий получили способы наплавки: электротермическая под флюсом, в среде защитных газов, вибродуговая, плазменная и газопорошковая.

Эффективно применение электрошлаковой, электромагнитной, индукционной и лазерной наплавок и процесса намораживания металла.

Сварочная дуга при дуговой наплавке под флюсом (рис. 3. 9) горит между голым электродом и деталью. Сварочная проволока, основной металл и флюс плавятся одновременно. Часть легирующих элементов при плавлении выгорает. Жидкий металл в сварочной ванне постоянно движется и перемешивается. Металл сварочного шва, полученного под флюсом, состоит из расплавленного присадочного металла (1/3) и переплавленного основного металла (2/3). Массы расплавленных флюса и присадочного металла примерно одинаковы. Использование флюса уменьшает разбрызгивание и угар металла, позволяет применять токи большей плотности, чем при ручной наплавке покрытыми электродами, замедляет процесс затвердевания

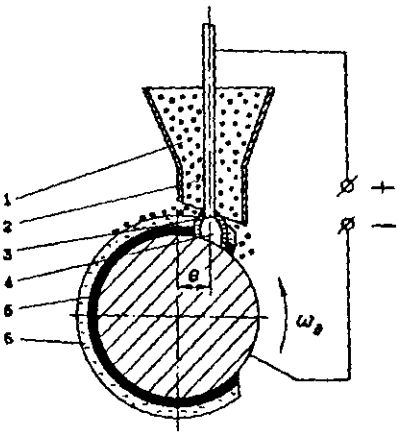


Рис. 3. 9. Схема наплавки под слоем флюса:
1–устройство для подачи флюса; 2–электродная проволока; 3–оболочка из жидкого флюса; 4–газовый пузырь; 5–наплавленный слой; 6–шлаковая корка; e–смещение электрода с зенита; $\omega_0$–угловая частота вращения детали

металла, создает благоприятные условия для выхода газов из шва уменьшает потери тепла сварочной дуги на излучение и на нагре потоков окружающего воздуха.

Наплавку под флюсом преимущественно применяют для восстановления деталей из углеродистых и низколегированных сталей.

Флюсы применяют в процессе наплавки в виде зерен или пасты. Расплавленные флюсы взаимодействуют с оксидными пленками, обволакивают зону наплавки и изолируют ее от кислорода и азота воздуха.

Флюсы действуют как химические реагенты и физические растворители. В первом случае они образуют с оксидами легкие химические соединения с низкой температурой плавления, которые всплывают на поверхность сварочной ванны. Во втором случае флюсы растворяют оксиды металлов и образуют шлаки, также всплывающие на поверхность расплавленного металла.

В качестве шлакообразующих добавок применяют мрамор, плавиковый шпат, известняк, двуокись титана и др.

Флюс должен быть жидкотекучим. Разность температур плавления присадочного материала и флюса должна быть не менее 100°С. Однако при рабочей температуре наплавки флюс не должен кипеть.

Применяют флюсы плавленые, керамические и их смеси.

Плавленые флюсы получают сплавлением исходных материалов (марганцевой руды, кварцевого песка, плавикового шпата, магнезита и др.) в электрических печах. Расплавленную массу выливают в воду и таким образом получают стекловидный или пемзовидный гранулированный флюс с размером частиц 3...3,5 мм.

Плавленые флюсы подразделяются на виды в зависимости от массовой доли марганца и кремния. Высококремнистые марганцовистые флюсы марок АН-348А, ОСЦ-45 и АН-60, обеспечивают устойчивое горение дуги, хорошее формирование сварочных валиков и небольшое количество пор в наплавленном металле. Низкокремнистые безмарганцовистые флюсы марок АН-20 и АН-30, уменьшают возможность появления горячих трещин и пор в наплавленном слое. Плавленые флюсы обладают хорошими защитными свойствами, но не содержат легирующих веществ.

Керамические флюсы, кроме шлакообразующих веществ, входящих в плавленые флюсы, содержат ферросплавы (феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан) и поэтому обладают еще и легирующими свойствами. Флюсы получают смешиванием порошков исходных материалов с добавкой жидкого стекла. Массу после дробят

на гранулы размером 2...3 мм и сушат. Наиболее распространены для наплавки деталей керамические флюсы АНК–18, АНК–19 и ЖСН. Они позволяют легировать металл необходимыми элементами. Однако легирующие элементы распределены в объеме материала флюса неравномерно, что объясняет их химическую неоднородность.

Для получения наплавленного металла требуемого химического состава и свойств применяют легирование через электродную проволоку и (или) флюс.

При легировании через проволоку наплавку ведут высокоуглеродистой или легированной проволокой под плавленым флюсом. При этом обеспечивается высокая точность легирования, стабильность химического состава наплавленного металла по глубине покрытия.

Легирование наплавленного металла через флюс ведут наплавкой малоуглеродистой проволокой под слоем легированного керамического флюса. Этот способ легирования не получил широкого применения из–за большой неравномерности наплавленного металла по химическому составу и необходимости строго выдерживать режим наплавки.

Комбинированный способ легирования одновременно через проволоку и флюс получил наибольшее применение. Защиту формируемого покрытия от вредного влияния кислорода и азота воздуха выполняют газовая среда или расплавленная ванна флюса.

Процесс сварки и наплавки в среде защитных газов отличается тем, что в зону горения электрической дуги подают под давлением газ, который защищает столб дуги и расплавленную сварочную ванну от кислорода и азота воздуха. Для создания защитной атмосферы используют аргон, гелий, углекислый газ и их смеси.

Наиболее распространена наплавка в среде углекислого газа плавящимся электродом. Она в 1,2...1,5 раза экономичнее наплавки под слоем флюса. Наплавка в $CO_2$ обеспечивает хорошее формирование шва, наплавленный металл, при этом, получается плотным, а зона термического влияния невелика.

Вибродуговая наплавка (рис. 3. 10) отличается тем, что электродная проволока совершает колебания относительно детали с частотой 50...100 1/с и амплитудой 1...3 мм с периодическим касанием наплавляемой поверхности. В зону наплавки подают охлаждающую жидкость (5 %–ный раствор кальцинированной соды в воде).

Вибрация электродной проволоки обеспечивает чередование короткого замыкания, горения дуги и холостого хода. Электрод и деталь оплавляются за счет дугового разряда. Перенос металла, образующегося в виде капли на конце электрода в период горения дуги, происходит преимущественно во время короткого замыкания. Возникновению дугового разряда при разрыве сварочной цепи способствует использование энергии электродвижущей силы самоиндукции, которая совпадает по направлению с напряжением источника тока.

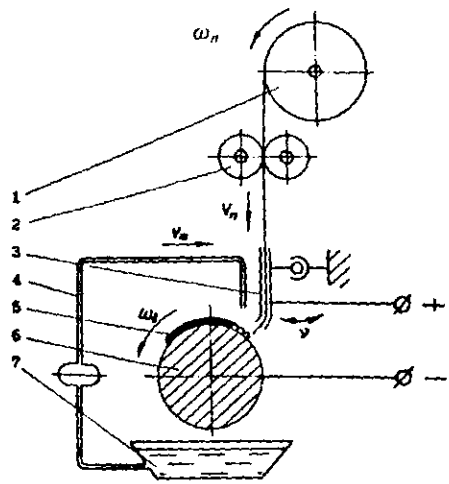


Рис. 3. 10. Схема вибродуговой наплавки:
1–кассета для проволоки; 2–подающие ролики; 3–мундштук качающийся; 4–система подачи раствора; 5–наплавленный слой; 6–восстанавливаемая деталь; $\omega_п$ –угловая частота вращения кассеты; $V_п$ –скорость подачи проволоки; $V_ж$ –скорость подачи раствора; $\omega_л$ – угловая частота вращения детали; υ–частота качания мундштука.

Марку электродной проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств наплавленного металла. При наплавке стальных и чугунных деталей для получения слоя твердости 51...56 HRC применяют проволоку Нп–65, Нп–80. Для получения

твердости 37...41 HRC наплавку ведут проволокой Нп–30ХГСА, а твердости 180...240 НВ – проволокой Св–08.

Вибродуговая наплавка позволяет получать покрытия высокой твердости и износостойкости без последующей термообработки путем подбора электродной проволоки нужного состава. Деталь нагревается до температуры не выше 100°С и не деформируется. Наплавленный металл имеет равномерную толщину. Низкое напряжение процесса уменьшает опасность работ. Однако процесс снижает усталостную прочность деталей, испытывающих знакопеременную нагрузку, не обеспечивает одинаковую твердость на различных участках покрытия.

Электрошлаковая наплавка характерна тем, что ток проходит от электрода к детали через жидкий шлак с выделением тепла, достаточного для плавления шлака и электродного металла. Температура шлаковой ванны выше, чем температура плавления присадочного материала электрода. Присадочный материал оседает на дно ванны и превращается в покрытие с помощью охлаждающего кристаллизатора, который придает наносимому слою необходимую форму.

Процесс наиболее применим к восстановлению опорных катков, звеньев гусениц и других деталей, работающих в абразивной среде, а также шестерен коробок передач. Способ отличается высокой производительностью. Количество электродного металла, расплавленного одним и тем же количеством энергии в 2...3 раза больше, чем при ручной сварке, и в 1,5 раза выше, чем при наплавке под флюсом. Кроме того, при электрошлаковой наплавке отсутствует дуговой разряд, разбрызгивание шлака и присадочного материала практически исключено. Наблюдается небольшой расход флюса. Расход электроэнергии ниже. Лучше удаляются вредные вещества, выше стойкость к образованию трещин.

Сущность процесса намораживания покрытия из расплава заключается в том, что наплавленный металл затвердевает на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, которая погружается в расплав этого металла. Из–за различия температур расплава Т1 и заготовки Т2 (Т1 >> Т2) локальный объем расплава, контактирующий с поверхностью заготовки, охлаждается до затвердевания. Заготовку после кратковременной выдержки в расплаве извлекают и на ее поверхности получают слой наплавленного металла.

Основные операции намораживания: подготовка присадочного материала и наплавляемой поверхности, погружение заготовки в расплав металла, ее выдержка и извлечение, охлаждение изделия.

Высокотемпературная плазменная струя при плазменной наплавке образуется за счет продувания рабочего газа сквозь сопло-катод и электрическую дугу. Анодом служит заготовка. Наплавляемый материал подают в плазменную струю.

Подаваемый проволочный материал может подогреваться предварительно. Для этого в зону наплавки вводят две проволоки, которые последовательно подключены к источнику питания переменного тока. Проволоки нагреваются за счет омического действия тока, а затем быстро расплавляются в сварочной ванне.

Столбчатая плазменная дуга становится вращающейся, если электрод плазменной горелки и присадочный электрод имеют противоположную полярность, а ток достигает значения более 300 А. Это обеспечивает наплавку валика шириной 40 мм при глубине проплавления основного металла менее 1 мм.

Наплавочный материал может подаваться в плазменную струю и в порошкообразном состоянии.

В качестве плазмообразующего газа применяют смесь гелия (75 %) и аргона (25 %), а в качестве защитного газа применяют аргон, который защищает сварочную ванну и кристаллизующийся металл от действия окружающего воздуха позади плазменной горелки.

Преимущества плазменной наплавки – высокая производительность, малая зона термического влияния и незначительная деформация заготовки. Процесс применяют для восстановления и упрочнения деталей нежесткой конструкции и нанесения покрытий из тугоплавких материалов. Наплавляют коррозионно-стойкую сталь, никель и его сплавы, сплавы меди и др.

При электромагнитной наплавке в зазоре между заготовкой и полюсным наконечником создают магнитное поле, а к заготовке и полюсному наконечнику подают напряжение. Восстановительное покрытие создается за счет введения ферромагнитного порошка в это пространство с электромагнитным полем. Частицы порошка нагреваются в зазоре, оплавляются и закрепляются на восстанавливаемой поверхности. Хорошую обрабатываемость и износостойкость имеют покрытия из высокохромистого чугуна С-300 эвтектического состава и из быстрорежущих сталей Р6М5К5 и Р6М5Ф3.

Способ позволяет совмещать во времени процессы нанесения покрытия и пластического поверхностного деформирования.

### 3.3.4. Электроконтактная приварка металлического слоя

Коллектив под руководством проф. Поляченко А.В.(ВНИИТУВИД, Москва) выполнил большой объем исследований в области электроконтактной приварки металлического слоя при восстановлении изношенных деталей, а также разработал необходимое оборудование.

Сущность способа электроконтактной приварки металлического слоя (рис. 3. 11) состоит в закреплении материала на изношенной поверхности мощными импульсами тока. Металлический слой создают из проволоки, порошков, ленты и их сочетаний. В точках контакта металла детали и покрытия происходит его расплавление в результате омического действия тока. Металл слоя расплавляется лишь в тонком поверхностном слое контакта детали и частиц покрытия.

Слой приваривают ко всей поверхности детали перекрывающимися точками за счет регулирования силы и частоты

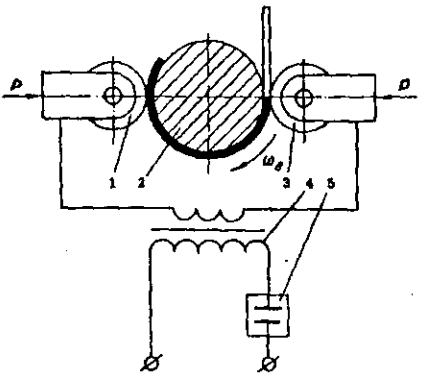


Рис. 3. 11. Схема электроконтактной приварки металлического слоя: 1–ролик контактный; 2–восстанавливаемая деталь; 3–ролик приварочный; 4–трансформатор; 5–прерыватель тока; P –сила прижатия слоя; $\omega_д$–угловая частота вращения детали.

тока. Точки располагаются по винтовой линии. Перекрытие точек достигают вращением детали с частотой, пропорциональной частоте импульсов и скорости продольного перемещения сварочной головки. Для уменьшения нагрева детали и улучшения условий закалки приваренного слоя в зону сварки подают охлаждающую жидкость. Импульсы сварочного тока получают с помощью прерывателей, используемых в контактных сварочных машинах.

Преимущество приварки металлического слоя с охлаждением рабочей зоны заключается в отсутствии нагрева и деформации детали, нанесении на стальную или чугунную поверхность регулируемого по толщине слоя, создании необходимого припуска на обработку, обеспечении закалки слоя непосредственно в процессе приварки, исключении выгорания легирующих элементов, применении различных сочетаний присадочных материалов.

Способ применяют для восстановления шеек и резьбовых участков валов, наружных цилиндрических поверхностей других деталей, а также отверстий в чугунных и стальных деталях. Материал оказывает наибольшее влияние на твердость и прочность покрытия.

Шейки валов, подверженные абразивному изнашиванию, упрочняют путем создания на трущихся поверхностях опорных контактных площадок из особо твердых материалов, закрепленных в более мягкой связующей матрице в виде композиционного покрытия. В качестве связующей матрицы применяют сталь 50, в которую внедряют стандартные твердосплавные порошки ВК8 или гранулированные твердые сплавы ТТЖ23Н6М по ТУ 14-127-131-80 зернистостью 300...500 мкм. Покрытие наносят с помощью конденсаторных шовных машин для контактной сварки, например МШК-2002 (К-421М) или с помощью специальных установок, созданных ВНПО «Ремдеталь» и работающих на переменном токе. Восстановленные шейки валов шлифуют алмазным кругом АПП 300х27х127х5 АСВ 100/ 80 МВ1 на металлической связке.

На образцах с композитным покрытием в поверхностном слое создаются, преимущественно, сжимающие остаточные напряжения. Предел усталостной прочности образцов только на 8 % ниже, чем у эталонных образцов из стали 45 с поверхностной закалкой до HRC 52.

Электроконтактная приварка является природоохранным, ресурсо- и энергосберегающим технологическим процессом. При нанесении покрытий толщиной до 1 мм расход присадочных

материалов и электроэнергии сокращается в 2...4 раза по сравнению с электродуговой наплавкой.

## *3.4. Напыление материалов*

### 3.4.1. Область применения и классификация способов напыления

При разработке технологических процессов и проектировании оборудования для восстановления деталей учитывают основные условия формирования качественных покрытий: термические воздействия на деталь не должны приводить к фазовым или структурным превращениям в основном металле; доля участия основного металла в покрытии должна быть минимальной; не должно быть реакций, способных изменить химический и фазовый состав покрытия по сравнению с исходным материалом; в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, способные изменить ее структуру и фазовый состав. С учетом этих ограничений перспективно использование способов нанесения покрытий в твердой фазе, к которым относятся различные виды напыления. Напыление материала включает его нагрев, диспергирование дробление), перенос, удар о восстанавливаемую поверхность или покрытие, деформирование и закрепление. При напылении частицы материала нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной средой, разгоняются струей движущегося газа, достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большой запас кинетической и тепловой энергии, ударяются о поверхность, деформируются и закрепляются на ней, расходуя накопленную энергию. Соединение металлических частиц с поверхностью детали и между собой носит в основном механический характер за поры и специально подготовленный профиль в виде «рваной» резьбы. Имеются силы физического взаимодействия (например, силы Ван–дер–Ваальса), силы металлической связи за счет коллективизации валентных электронов и связи ковалентного типа.

Достоинство процесса: высокая производительность, небольшой нагрев детали (150...200°С), высокая износостойкость покрытий, возможность регулирования в широких пределах химического и фазового состава покрытия, возможность нанесения покрытий толщиной до 10 мм и на различные материалы (в том числе

на неметаллы) из металлов, сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и пластмасс. Процесс напыления применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей. К недостаткам процесса относится невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного металла.

Процессы напыления делят на группы в зависимости от видов источника тепла и среды, разгоняющей частицы. В зависимости от вида преобразователя энергии, расходуемой на нагрев и перемещение частиц материала, различают напыление: электродуговое, индукционное, газопламенное, плазменное, детонационное и другие.

Характеристика распространенных видов напыления приведена в табл. 3.1.

Таблица 3. 1.

Основные параметры способов напыления.

| Параметры | Виды напыления | | | |
|---|---|---|---|---|
| | электро-дуговое | газо-пламенное | плазменное | детонационное |
| Производительность процесса, кг/час | 3–36 | 1–10 | 3–12 | 0.1–6.0 |
| Коэффициент использования напыляемого материала | 0,80–0,95 | 0,80–0,95 | 0,70–0,90 | 0,30–0,60 |
| Прочность соединения, МПа | до 40 | до 50 | до 60 | до 200 |
| Температура частиц, °С | до 1800 | до 3000 | до 4000 | до 3000 |
| Скорость частиц материала, м/с | 50–80 | 20–120 | 50–400 | 600–800 |

## 3.4.2. Процессы напыления и оборудование

Электродуговое напыление основано на расплавлении двух проволок, между которыми возбуждается электрическая дуга, ускорении и распылении капель расплавленного металла струей сжатого воздуха, подающегося в пространство электрической дуги.

Покрытие наносят ручными аппаратами ЭМ–3, ЭМ–9 и ЭМ–14 и станочными – ЭМ-6, МЭС–1 и ЭМ–12. Проволока подается в зону

горения воздушной турбинкой в ручных аппаратах и электродвигателем – в станочных.

Электродуговое напыление по сравнению с другими видами напыления обладает наибольшей производительности. Температура электрической дуги достаточна для расплавления тугоплавких металлов. Если применять в качестве электродов проволоки из двух различных металлов, то можно получить покрытие из их сплава. Оборудование для электродугового напыления простое, а эксплуатационные затраты небольшие. Однако наблюдаются значительное выгорание легирующих элементов и пониженная плотность покрытия.

Индукционное напыление разработано и впервые применено в СССР. Напыляемая проволока, подается в индуктор, нагревается и расплавляется вихревыми токами, возникающими за счет переменного магнитного поля. Расплавленный металл распыляется сжатым воздухом. Головка индукционного аппарата (рис. 3. 12) имеет высокочастотный индуктор и концентратор тока, который обеспечивает нагрев проволоки на небольшом участке. Частота тока f, необходимого для расплавления проволоки определяется по формуле:

$$f = k / d^2,$$

где k – коэффициент, зависящий от материала проволоки и температуры ее плавления; d – диаметр проволоки, см.

Ток высокой частоты вырабатывают ламповые (ЛГПЗ–30, ГЗ–46, ЛПЗ–60 и др.), машинные или тиристорные генераторы.

Индукционное напыление обеспечивает небольшое окисление металла и высокую прочность покрытий, но имеет невысокую производительность процесса, а применяемое оборудование сложное и дорогое.

Газопламенное напыление производится при помощи аппаратов, в которых плавление наносимого материала производится газокислородным пламенем, а его распыление – струей сжатого воздуха. Напыляемый материал в виде проволоки или порошка подают в зону пламени с наибольшей температурой. Распространены аппараты для газопламенного напыления МГИ–1–57, ГИМ–1 и др. Этот вид напыления обеспечивает небольшое окисление металла, его мелкий распыл и высокую прочность покрытия.

Плазменное напыление основано на использовании энергии плазменной струи для нагрева и переноса частиц металла. Напыляемый материал вводят в сопло плазменной горелки (рис. 3. 13). Порошкообразный материал подают из питателя с помощью транспортирующего газа.

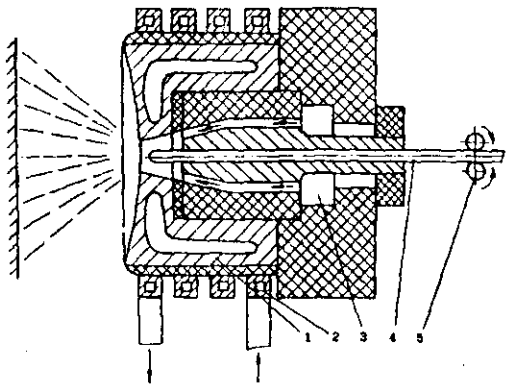


Рис. 3. 12. Схема устройства для индукционного напыления: 1–концентратор тока; 2–индуктор; 3–воздушный канал; 4–проволока; 5–подающие ролики

Процесс обеспечивает высокую производительность. Высокие физико-механические свойства покрытий объясняются высокой температурой плазмы и скоростью ее истечения, применением инертных плазмообразующих газов, возможностью регулирования аэродинамических условий формирования металло-плазменной струи. Нагрев заготовки от технологического соприкосновения ее с плазменной струей незначителен, в материале детали не происходят структурные преобразования, возможно нанесение тугоплавких материалов и многослойных покрытий из различных материалов с сочетанием плотных и твердых нижних слоев с пористыми и мягкими верхними (для улучшения прирабатываемости), износостойкость покрытий высокая, достижима полная автоматизация процесса.

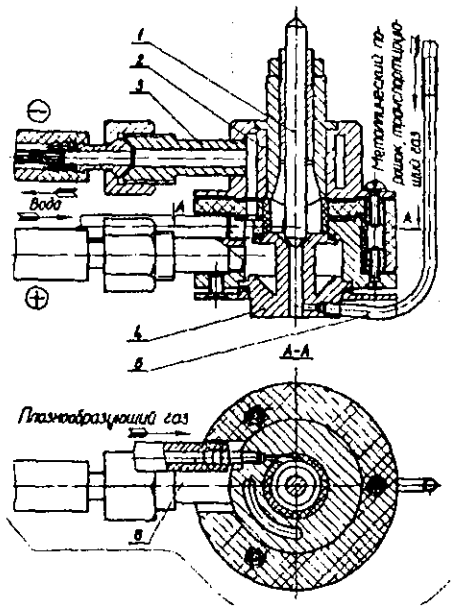


Рис. 3. 13. Плазменная горелка ГН–5М:
1–электрод–анод; 2–корпус; 3–подвод воды; 4–сопло–анод; 5–подвод порошка; 6–подвод газа.

Прочность соединения покрытия с основой выше прочности, достигаемой предыдущими способами напыления.

Свойства плазменных покрытий существенно улучшаются за счет их оплавления. При этом плавится наиболее легкоплавкая часть материала. Жидкое состояние части покрытия способствует интенсивному протеканию диффузионных процессов. Металл заготовки остается в твердом состоянии. В результате оплавления значительно повышается прочность соединения покрытия с основой, увеличивается когезионная прочность, исчезает пористость и повышается износостойкость.

Покрытия оплавляют ацетилено–кислородным пламенем, плазменной струей и токами высокой частоты. Наилучшие результаты дает последний способ, который обеспечивает большую производительность без нарушения термообработки всей заготовки. Оплавляемые материалы должны удовлетворять таким требованиям: температура плавления легкоплавкой составляющей сплава не должна превышать 1000...1100°С, сплав в разогретом состоянии должен хорошо смачивать поверхность заготовки и обладать свойством самофлюсования. Такими свойствами обладают порошковые материалы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980...1050°С и содержащие флюсующие элементы бор и кремний.

Оплавленные покрытия из сплавов на основе никеля ПГ–СР2, ПГ–СР3 и ПГ–СР4 имеют такие свойства: твердость покрытий HRC 35...60 в зависимости от содержания в них бора; повышенную в 2...3 раза износостойкость, по сравнению с закаленной сталью 45, что объясняется присутствием в структуре покрытия твердых кристаллов (боридов и карбидов); повышенную в 8...10 раз прочность соединения покрытия с основой, по сравнению с прочностью соединения неоплавленных покрытий; повышенной на 20... 25 % усталостной прочностью.

Плазменное напыление с последующим оплавлением целесообразно применять для восстановления поверхностей деталей, работающих в условиях знакопеременных и контактных нагрузок.

Покрытия с малой пористостью (до 1 %) и высокой прочностью соединения с подложкой (до 200 МПа) получают с помощью детонационного напыления на установках «Днепр–3» (разработчик – Институт порошковой металлургии АН Украины) и «Катунь» (разработчик – НПО «Анитип», г. Барнаул).

Наносимые частицы при детонационном напылении приобретают энергию во время горения ацетилено–кислородной смеси в стволе пушки длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Скорость распространения детонационной волны 2000...4000 м/с, а температура сгорания смеси 2200...3100°С.

В качестве исходных материалов покрытий применяют различные металлические порошки, не реагирующие с продуктами сгорания. Средний размер частиц 10...50 мкм. Применяют также порошки оксида алюминия и карбидо–кобальтовых сплавов. 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 до 1 мм. Производительность процесса невысокая.

Следует отметить, что процесс характеризуется высоким уровнем шума – 125...140 дБ и содержанием в отработавших газах оксидов углерода, азота и других элементов.

### 3.4.3. Материалы для напыления поверхностей

В качестве напыляемых материалов применяют проволоку или порошковые сплавы. При газопламенном и электродуговом напылении обычно применяют углеродистую или пружинную проволоку. Для деталей, работающих в условиях трения, рекомендуется стальная проволока с повышенным содержанием углерода. При газопламенном и детонационном напылении применяют металлические, оксидокерамические, композитные и другие порошки.

Номенклатура выпускаемых порошков широкая. Выпускают порошки, к которым относятся металлы Fe, Mo, Al, Ni, Cu; сплавы NiCrBSi, NiCr, CrHiMo, CoNiCrW, CuNi, CuAl, CuNiIn; оксиды $Al_2O_3$, $CrO_3$, $Al_2O_3$–$TiO_2$, $ZrO_2$–MgO, $ZrO_2$–CaO; тугоплавкие соединения WC–Co, $Cr_3C_2$; композиционные порошки WC–Co–Ni, Ni–5Al, NiCr–Al, Ni–графит; механические смеси NiCrBSi + WC (или WC–Co), $Cr_3C_2$ + NiCr, NiCrBSi + Mo. Для плазменного напыления применяют порошки со средним размером частиц 10...200 мкм.

Основным условием получения покрытий с высокими эксплуатационными свойствами является согласование физико-химических свойств материала с мощностью распылителя, составом и свойствами применяемых газов и технологическими режимами процесса. Многие металлы при напылении поглощают много кислорода, тогда как оксиды теряют его, нитриды теряют азот, а карбиды – углерод. Тонкие порошки с развитой поверхностью малотекучи, а при нагреве сильно плавятся и окисляются. Гладкие сферические порошки имеют хорошую текучесть, но худший теплообмен со струей горячего газа.

Широко применяют износостойкие покрытия из порошковых сплавов на основе никеля или более дешевые сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода.

Сплавы на основе никеля (табл. 3. 2) содержат в сравнительно мягкой основе твердые составляющие карбидов и боридов в виде

твердого раствора. Эти сплавы имеют температуру плавления 950...1050°С, высокую твердость (зависящую от содержания бора), жидкотекучесть и износостойкость, обладают свойством самофлюсования, благодаря наличию бора и кремния, которые активно отнимают кислород от оксидов.

Сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода типа ПГ–У30Х28Н4С4 Сормайт–1) имеют твердость HRC 56...63, высокую износостокость, но тугоплавки и не обладают свойством самофлюсования.

Таблица 3. 2.

Порошковые сплавы для напыления на основе никеля.

| Марка порошка | Химический состав, % по массы | | | | | Твердость, HRC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Cr | Si | C | B | |
| ПГ–СР2 | <5,0 | 12...15 | 2,0...3,0 | 0,2...0,5 | 1,5...2,1 | >35 |
| ПГ–СР3 | <5,0 | 13...16 | 2,5...3,5 | 0,4...0,7 | 2,0...2,8 | >45 |
| ПГ–СР4 | <5,0 | 15...18 | 3,0...4,5 | 0,6...1,0 | 2,8...3,8 | >55 |

Повышение прочности соединения покрытий с основой достигается предварительным нанесением термореагирующего подслоя из алюминида никеля. Составляющие покрытия при нагреве и осаждении взаимодействуют между собой с протеканием экзотермической реакции (с выделением тепла), обеспечивающей металлургическую связь напыляемого материала с подложкой. Прочность соединения при этом достигает 50 МПа.

По лицензии швейцарской фирмы «Кастолин» выпускают порошки для газотермического напыления. Марки порошков обозначают по буквенно–цифровой системе. Обозначение каждой марки состоит из трех частей. Например, марка ПГ–12Н–01 определяется таким образом: ПГ – порошок гранулированный; 12Н – порошок–аналог из серии порошков 12000 по швейцарской классификации; 01– порядковый номер порошка этой серии. Порошки для газотермического напыления с последующим оплавлением выпускают четырех марок: ПГ–12Н–01, ПГ–12Н–02, ПГ–12Н–03, ПГ–12НВК–01, а без оплавления пяти марок: ПГ–19М–01, ПГ–19Н–0, ПТ–НА–01, ПТ–19Н, ПТ–19НВК–01.

Фирма «Метко» (США) является ведущей в течение ряда лет в области газотермического нанесения покрытий. Она производит более 150 порошков и композиций для различного применения – от восстановления изношенных деталей до нанесения защитных покрытий на лопатки реактивных двигателей и сопла ракет. Например, самофлюсующиеся порошки твердых сплавов для целей восстановления деталей выпускаются трех видов: сплавы на основе никеля (12С, 12Е, 15Е, 15Г, 16С, 19Е), сплавы на основе кобальта (18С, 35С, 36С); композитные механические смеси с карбидом вольфрама (31С, 32С, 34Г, 34ГР, 35С, 36С).

Из порошков готовят механические смеси с теплопроводными добавками (меди, алюминия) для повышения теплопроводности покрытий.

Цинковые покрытия служат для защиты черных металлов от коррозии. Баббитовые покрытия, состоящие из олова и свинца, применяют при восстановлении вкладышей подшипников. Фирма «Метко» (США) выпускает проволоку из специального баббита на основе олова без свинца (спрабаббит А), которая рекомендуется для восстановления высокооборотных подшипников.

Особую группу материалов для напыления покрытий представляют гибкие шнуры «Сфекорд».

Совместное российско–французское предприятие «Технокорд» (Russia – French Joint Enterprice) разработало и поставляет шнуровые материалы с порошковым наполнением для газотермического напыления и наплавки. Шнуровые материалы представляют собой композиционный материал проволочного вида, полученный экструзией и состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью сублимирующейся при нагреве свыше 400°С. Выпускают четыре типа шнуровых материалов, три из которых применяют для восстановления деталей.

Шнуровые материалы типа «Сфекорд–Керамика» на основе оксидов алюминия, титана, хрома, циркония и др. позволяют получать различные керамические покрытия.

Шнуровые материалы «Рок–Дор» на основе самофлюсующихся сплавов системы Ni(Co)–Cr–B–Si и их смесей с карбидом вольфрама применяют при нанесении защитных покрытий устойчивых против коррозии и повышенной температуры (до 800°С), стойких к абразивному изнашиванию. Покрытия после нанесения оплавляют при

температуре 980...1200°С, что обеспечивает металлургическое взаимодействие покрытия с основой по типу пайки твердым припоем.

Шнуровые материалы типа «Сфекорд–Экзо», содержащие добавки для экзотермического эффекта, наносят без оплавления. Материал «Ниалид–Экзобонд», содержащий 95 % Ni и 5 % Al, применяют в качестве подслоя. Материалы «Сфекорд–Экзо» № 15, 20 и 30 содержат Ni, Cr, B, Si, Al, материал «Сфекорд–Экзо» № 35 – дополнительно – Fe, а матерал «Сфекорд–Экзо» № 40 – Mo. Последние два материала наносят на поверхности шеек и кулачков коленчатых и распределительных валов.

Шнуровые матералы «Сфекорд–HR» изготовлены на основе зерен размером 0,1...3 мм из литого карбида вольфрама (одного из самых твердых неприродных минералов) в матрице из специальных самофлюсующихся сплавов системы Ni–Cr–B–Si. Материалы применяют для износостойкой наплавки.

Готовые шнуровые материалы для напыления имеют вид проволоки диаметром 3.00, 3,17, 4,00 и 4,75 мм, а для наплавки – диаметром 2,5...6,5 мм. Длина шнура в зависимости от его диаметра изменяется от 40 до 300 м. Материалы распыляют пистолетом ТОП–ЖЕТ/2, который обеспечивает пять скоростей подачи шнура.

Покрытия, полученные газопламенным напылением шнуровых материалов, представляют альтернативу плазменным покрытиям.

### 3.4.4. Применение процессов напыления в ремонтном производстве

Освоен процесс восстановления коренных опор блоков цилиндров плазменным напылением. Первые исследователи способа рекомендовали в качестве наносимого материала малоуглеродистую стальную проволоку Св–08.Для обеспечения однородной мелкодисперсионной структуры покрытия и повышения прочности соединения его с основой позднее были рекомендованы порошкообразные материалы. Распространение получили композиционные порошки и порошки из бронзы. Порошки из бронзы наносят на поверхности как чугунных деталей, так и деталей из алюминиевого сплава. Предварительно должен быть нанесен термореагирующий подслой Al–Ni. При восстановлении коренных опор

в чугунных блоках цилиндров применяют более дешевый порошок грануляцией 160... 200 мкм состава: Fe (основа), Cu – 5 % и Al – 1 %.

Режим нанесения покрытия: ток плазменной дуги – 330 А, напряжение – 70 В, расход плазмообразующего газа (азота) – 25 л/мин; диаметр сопла плазмотрона – 5,5 мм; частота качаний плазмотрона – 83 1/мин; подача детали 320 мм/мин, расход порошка 7 кг/час.

Процесс плазменного напыления коренных опор выполняют на стенде (рис 3. 14). Стенд состоит из следующих основных частей: корпуса, механизмов подачи детали и качания плазменной горелки, подвижной тележки.

В торцовых стенках корпуса имеются два открывающихся люка 4 для установки и снятия детали. Блок цилиндров устанавливают на тележку 5, которая перемещается с рабочей скоростью (при нанесении покрытия) и с транспортной скоростью (при перемещении между позициями напыления) с помощью механизма подачи 3. Механизм качания плазмотрона 7 обеспечивает перемещение последнего относительно оси коренных опор в пределах угла 90°.

Процесс нанесения плазменного покрытия на поверхности отверстий в деталях из алюминиевого сплава включает: сушку порошков при температуре 150...200°С в течение 3 час, предварительное растачивание отверстий до размера, превышающего на 1 мм номинальный размер, установку защитных экранов, обезжиривание напыляемых поверхностей ацетоном, нанесение покрытия в две операции, снятие защитных экранов, предварительное и окончательное растачивание и удаление облоя. В первой операции наносят подслой ПН85Ю15, во второй – основной слой из медного порошка ПМС-Н. Режимы нанесения покрытий: сила тока 220...280 А, расход азота 20...25 л/мин при давлении 0,35 МПа, расстояние от сопла до детали 100...120 мм, время нанесения покрытия 15 мин. Покрытие наносят на стенде. Плазмообразующее оборудование состоит из источника тока ИПН 160/600 и установки УПУ-3Д или УПУ-8.

Применяют плазменное напыление при нанесении покрытий на плоскости силуминовых головок цилиндров. Технология включает предварительное фрезерование изношенной поверхности, нанесение покрытия и последующую обработку. В качестве материала покрытия применяют порошок из алюминия и железа, в котором железа 40...48%. Режим нанесения покрытия: сила тока – 280 А, расстояние от сопла до

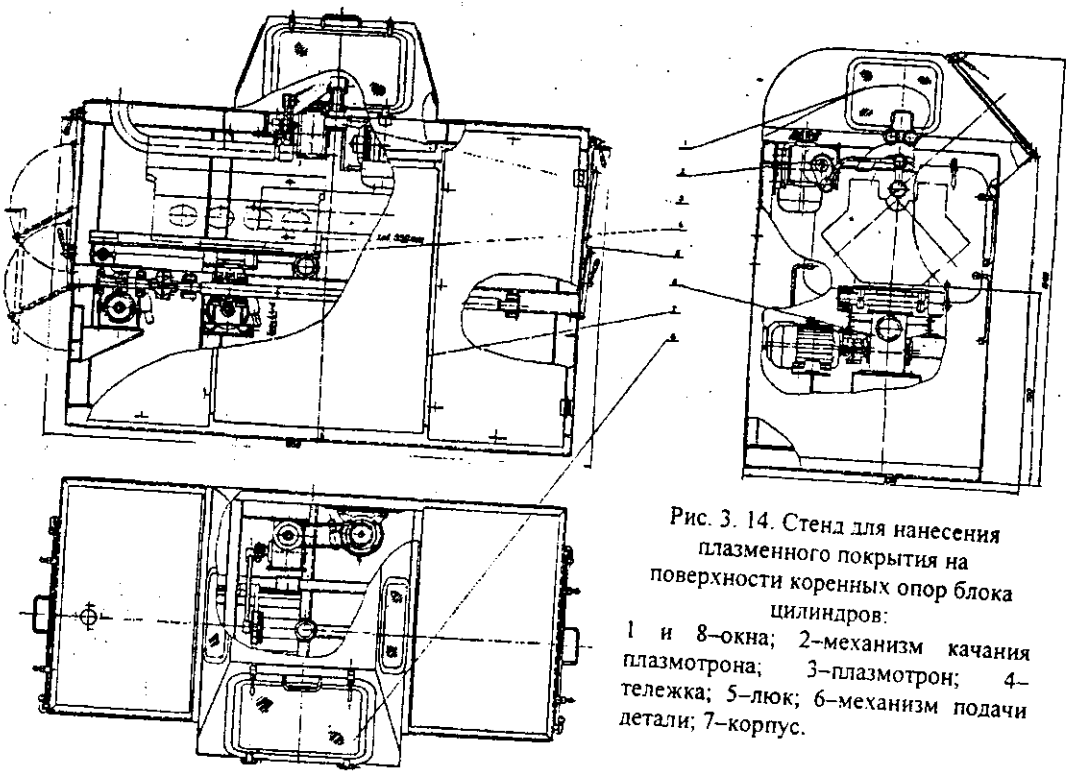

Рис. 3. 14. Стенд для нанесения плазменного покрытия на поверхности коренных опор блока цилиндров:

1 и 8–окна; 2–механизм качания плазмотрона; 3–плазмотрон; 4–тележка; 5–люк; 6–механизм подачи детали; 7–корпус.

детали – 90 мм, расход плазмообразующего газа (азота) – 72 л/мин. Потребность в удешевлении процесса и повышении его производительности внедрен процесс электродугового напыления плоскостей из проволоки Св–АК5 диаметром 2 мм. Применяют источник тока ВГД–301 и металлизатор ЭМ–12. Режимы напыления: сила тока – 300 А, напряжение – 28...32 В, давление распыливающего воздуха – 0,4...0,6 МПа, расстояние от сопла до детали – 80...100 мм. Покрытие толщиной 5 мм наносят за 8...10 мин.

Обработку покрытия ведут на фрезерном станке 6М12 в приспособлении при частоте вращения шпинделя 1600 об/мин.

Поршни из алюминиевого сплава восстанавливают путем нанесения плазменного покрытия из порошка бронзы ПР–Бр. АЖНМц 8,5–4–1,5 (Al – 8,5 %, Fe – 4 %, Ni – 4,8 %, Mn – 1,4 %, Cu – остальное). Используют установку УПУ–8. Режим нанесения: ток I = 380 В, расстояние от сопла до детали L = 120 мм, плазмообразующий газ – смесь аргона с азотом.

При восстановлении коленчатых валов из высокопрочного чугуна наносят плазменное покрытие из композиции порошков на термореагирующий подслой из материала ПН85Ю15. Состав композиции: ПГСР – 50 %, ПЖ4 – 30 % и ПН85Ю15 – 20 %. Режимы процесса: I = 400 А, расстояние от сопла до детали – 150 мм, расход азота 25 л/мин. Согласно изобретению СССР N 1737017, цель которого – повышение адгезионной и когезионной прочности покрытий, наносимый материал содержит (%): самофлюсующийся сплав системы Ni–Cr–B–Si – 25...50, порошок железа –30...50 и порошок никель–алюминий 20...25.

Коленчатые валы восстанавливают и электродуговым напылением.

Широкое внедрение напыления в ремонтном производстве сдерживается из–за высокой стоимости наносимых материалов и грубому искажению рекомендуемой технологии с субъективным подходом к оценке способа. Многолетний опыт применения напыления на передовых заводах стран СНГ и особенно на предприятиях Австрии, Германии, Англии и Чехии показывает, что при учете специфических особенностей покрытий и соблюдении научных рекомендаций напыление становится рациональным способом создания ремонтных заготовок.