

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

В. П. ИВАНОВ, В. А. ФРУЦКИЙ

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений  
по специальности «Оборудование и технология высокоэффективных  
процессов обработки материалов»*

Новополоцк  
ПГУ  
2009

УДК 621.757(075.8)  
ББК 34.5я73  
И20

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

кафедра материаловедения и технологии металлов Белорусского государственного технологического университета (заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор А. К. ВЕРШИНА);

профессор кафедры технологии металлов Белорусского государственного аграрного технического университета, доктор технических наук, профессор Л. М. АКУЛОВИЧ

**Иванов, В. П.**

И20      Технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие /  
В. П. Иванов, В. А. Фруцкий. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 240 с.  
ISBN 978-985-418-973-4.

Приведены производственный процесс и структура промышленного предприятия и влияние на нее типа производства. Показано влияние средств технологического оснащения на производительность труда и качество продукции. Приведены различные виды термической и механической обработки. Даны методика расчета режима резания заготовок и оформления технологической документации.

Представлены процессы изготовления типовых деталей машин: корпусных, валов и осей, гильз и дисков, шатунов, рычагов и коромысел, зубчатых колес. Обоснована необходимость упрочнения деталей при их изготовлении и приведены основные его способы, основанные на использовании концентрированного вложения энергии.

Изложение сборочных процессов сопровождается описанием образования сборочных комплектов деталей, балансировки деталей, сборочных операций и организации сборки.

Для студентов технических вузов, будет полезно специалистам машиностроительных предприятий.

**УДК 621.757(075.8)**  
**ББК 34.5я73**

**ISBN 978-985-418-973-4**

© Иванов В. П., Фруцкий В. А., 2009  
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Технический уровень и качество изделий машиностроения должны непрерывно повышаться с целью завоевания ими позиций на рынке продукции. Технический уровень машин повышают применением новых материалов и технических решений и использованием современных методов расчета и испытаний машин и их частей. Сокращению сроков постановки продукции на производство способствует четкая организация соответствующих работ. Качество продукции определяется, во-первых, полнотой и значениями параметров деталей, сборочных единиц, агрегатов и машин, установленных при проектировании этих изделий, и, во-вторых, обеспечением этих параметров при изготовлении изделий. Необходимые значения параметров обеспечивают при технологической подготовке производства за счет выбора технологического оборудования, приспособлений и инструмента и применения оптимальных режимов обработки.

Эффективность машиностроительного производства определяется его организацией, в том числе мероприятиями, уменьшающими расход производственных ресурсов (материалов, энергии, рабочего времени работников и др.).

Приступая к изучению дисциплины, студент должен обладать следующими сведениями из дисциплин, которые изучались ранее:

- технологическое обеспечение качества изготовления машин (технология машиностроения);
- металлы и сплавы, термическая обработка (материаловедение);
- лезвийная и абразивная обработка заготовок (теория резания);
- устройство и эксплуатационные характеристики металлорежущего, кузнечно-прессового и сборочного оборудования (технологическое оборудование);
- конструкция и технологические возможности режущих и измерительных инструментов (технологическая оснастка);
- экологические последствия машиностроительного производства (основы экологии);
- правила безопасной эксплуатации технологического оборудования (охрана труда).

Цель дисциплины «Технология машиностроения (специальная часть)» состоит в приобретении студентами знаний и умений, достаточных для разработки современных технологических процессов изготовления и упрочнения типовых деталей и сборки агрегатов и машин.

Поставленная цель достигается путем изучения структуры машиностроительного предприятия, его производственного и технологических процессов, возможностей различных видов обработки заготовок, применяемой технологической документации, оптимизации технологических процессов изготовления типовых деталей с их упрочнением, сборки типовых соединений с последующей сборкой агрегатов и машин с применением новых научных знаний и передового производственного опыта.

# 1. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ПРОЦЕССЫ, ДОКУМЕНТАЦИЯ

Машиностроительное *производство* – система научных и управленческих учреждений и промышленных предприятий, которые готовят производство, организуют его и изготавливают для продажи машины, агрегаты и детали.

## 1.1. Машиностроительное предприятие

### 1.1.1. Виды и производственная структура машиностроительных предприятий

*Машиностроительное предприятие* – промышленное предприятие, состоящее из множества взаимодействующих производств, цехов, участков, отделений, отделов и служб, которое изготавливает технику (машины, агрегаты и детали).

Назначение, структура, функции и производственная мощность предприятий определяются видами выпускаемой продукции, содержанием и объемом выполняемых работ, которые в свою очередь зависят от концентрации производства, его предметной и технологической специализации и кооперации с другими предприятиями.

Предприятия в зависимости от их состава и содержания производственного цикла бывают трех видов.

К *первому* виду относят предприятия с полным производственным циклом, включающим все процессы изготовления машин, они имеют все основные цехи.

Ко *второму* виду относят предприятия, выпускающие только заготовки для изготовления деталей, т. е. отливки, поковки, штамповки, которыми они снабжают другие машиностроительные предприятия. Основными цехами этих заводов являются литейные или кузнечные цехи. На этих заводах производят предварительную обработку заготовок (обдирку), предусматривающую снятие поверхностного слоя с целью обнаружения дефектов, а также для исключения перевозки отходов.

К *третьему* виду относят предприятия, выполняющие механическую обработку заготовок, полученных с других предприятий, и сборку агрегатов и машин, а также заводы, производящие только сборку машин из деталей, узлов и агрегатов, полученных с других заводов. В первом случае в составе предприятия имеются обрабатывающие и сборочные цехи, во втором – только сборочные.

Производственная *структура* предприятия – это состав его производств, цехов, участков, отделов и служб с указанием связей между ними. Для выполнения нужных функций любое предприятие имеет в своем составе основное, вспомогательное и обслуживающее производства и заводоуправление.

*Основное* производство занято выпуском продукции для продажи или обмена.

*Вспомогательное* производство служит для обеспечения жизнедеятельности основного производства. Во вспомогательном производстве изготавливают средства технологического оснащения, необходимые в основном производстве, приобретение которых невозможно или нецелесообразно. Это производство содержит в исправном состоянии здания и сооружения, средства технологического оснащения (СТО), энергосистемы и инженерные сети. Оно обеспечивает основное производство некоторыми ресурсами (теплом, холодом, водой, сжатым воздухом, чистым воздухом, газами, электроэнергией и др.). Его службы – инструментальный цех, отделы главного механика и энергетика, ремонтно-строительный цех.

*Обслуживающее производство* обеспечивает материалами, полуфабрикатами и услугами основное и вспомогательное производства. В его составе имеются транспортный цех, службы снабжения и сбыта со складским хозяйством.

*Заводоуправление* состоит из администрации, других должностных лиц, отделов и лабораторий. Состав и функции заводоуправления зависят от мощности и специализации предприятия. Заводские отделы – это отделы маркетинга, главного технолога и главного конструктора, технического контроля, материально-технического снабжения, планово-экономический, финансово-сбытовой, производственно-диспетчерский, труда и заработной платы, кадров. Основные функции заводских лабораторий: химический и металлографический анализ материалов, ремонт и проверка средств измерений, исследования в области совершенствования средств и процессов производства, сбор данных о надежности проданной техники и др.

Кроме указанных подразделений, в составе предприятия имеются проходная и охрана, пожарное депо с помещениями для дежурного персонала, заводские учебные подразделения (курсы повышения квалификации, инженерные семинары, кафедры вузов и др.), медицинский пункт (амбулатория), здания (помещения) общественных организаций, столовая и магазины, подразделения связи.

### ***1.1.2. Структура основного производства предприятия***

Основное производство включает заготовительные, обрабатывающие и сборочные цехи.

*Заготовительные* цехи: чугунолитейный, сталелитейный, литейный цех цветных металлов, кузнечный (кузнечно-прессовый, кузнечно-штамповый) и заготовительный.

*Чугунолитейный* цех имеет участки: землеприготовительный, стержневой, формовочный, сушильный, ваграночный, заливочный, для обрубки и очистки отливок, термический. Здесь получают отливки из серого, ковкого и высокопрочного чугуна. *Сталелитейный* цех, кроме того, имеет электропечи или конвертеры. На небольших предприятиях эти цехи объединяют. Сталелитейный цех создают на предприятии только в том случае, если потребность в стальных отливках оправдывает его целесообразность. В составе цехов имеются склады оснастки, материалов и заготовок.

*Литейный цех цветных металлов* имеет формовочное, стержневое, плавильное, заливочное и обрубное отделения.

*Кузнечный* цех имеет кузницу и прессовое отделение (с молотами, ковочными машинами, прессами, печами и другим оборудованием), где ведут кузнечные работы, а также термические, травильные и заготовительные (для резки металла) отделения, склады металла и поковок. На автомобильных заводах прессовые цехи очень крупные и организуются отдельно от кузнечных.

*Заготовительный* цех служит для изготовления заготовок из сортового (фасонного, круглого и листового) металла. В нем выполняют предварительные операции по разрезке, правке, центrovанию и обдирке сортового материала для всех механических цехов завода. Если механический цех, потребляющий такие заготовки, один, то в составе механического цеха устраивают заготовительное отделение.

*Обрабатывающие цехи:* механический, сварочный, термический, переработки резины и пластмасс, холодной штамповки, металлопокрытий и деревообрабатывающий.

*Механический* цех включает станочное отделение, склад материалов, заготовок и деталей, инструментально-раздаточную кладовую с заточкой инструмента, контрольное отделение, отделения для приготовления СОЖ, ее утилизации, сортировки и переработки стружки.

В *сварочном* цехе изготавливают сварные изделия.

*Термический* цех служит для упрочняющей термической (закалки и отпуска) и химико-термической (цементации, азотирования, цианирования, борирования и др.) обработки.

В цехе *переработки резины и пластмасс* наносят покрытия на стальные изделия, изготавливают уплотняющие и другие детали.

Цех *холодной штамповки* со складами служит для изготовления деталей или заготовок из листового металла.

Цех *гальванических покрытий* необходим для нанесения защитных и износостойких покрытий на поверхности деталей для предохранения их от коррозии, защиты от цементации и повышения долговечности.

*Деревообрабатывающий* цех с отделениями сушильным, станочной и ручной обработки служит для изготовления изделий из дерева, тары и литейной оснастки.

К *сборочным* цехам относятся: комплектовочно-сборочный, окрасочный и обкаточно-испытательный.

В *комплектовочно-сборочном* цехе вначале образуют сборочные комплекты агрегатов из деталей, которые обеспечат нормативные замыкающие размеры в соединениях, а затем путем узловой и общей сборки получают агрегаты и машины. Как правило, общая сборка поточная.

*Окрасочный* цех служит для нанесения на подготовленные поверхности агрегатов и машин лакокрасочных материалов и их сушки для защиты от неблагоприятного воздействия внешней среды и придания им товарного вида. В цехе выполняют противокоррозионную защиту панелей машин, подверженных интенсивному влиянию влаги и солей. В массовом производстве окрасочное оборудование включается в технологический процесс сборочного цеха.

В *обкаточно-испытательном* цехе готовят собранные агрегаты или машины к предстоящей эксплуатации и испытывают их. В свою очередь, обкатка агрегатов состоит в приработке их трущихся соединений. Машины, собранные из обкатанных агрегатов, также обкатывают. Испытания продукции необходимы для подтверждения соответствия изготовленной техники установленным техническим и договорным требованиям. В цехе имеется участок устранения дефектов.

### ***1.1.3. Технологическая схема предприятия***

*Технологическая схема* предприятия – это графическое изображение расположения производственных зон, зданий и сооружений на территории предприятия с указанием перемещения материалов, заготовок и изделий в соответствии с технологическим процессом изготовления продукции.

На схеме отмечают железную или автомобильную дорогу для доставки материалов и полуфабрикатов на предприятие и вывоза товарной продукции, склады, здания и зоны и приводят направления перемещений.

Территорию предприятия по функциональным признакам делят на *зоны*: предзаводскую (за пределами ограды предприятия), складскую, производственную, энергетическую, транспортную, хозяйственную, подсобную и административно-бытовую. Зоны располагают с учетом технологических связей и особенностей производственного процесса, формы территории предприятия, грузооборота и видов транспорта, противопожарных и санитарно-гигиенических требований, особенностей взаимодействия с примыкающими дорогами, коммуникациями, соседними предприятиями и жилыми домами, а также с учетом направления меридиана, температуры воздуха и преобладающего направления ветров.

*Предзаводскую* зону предприятия размещают вне предприятия со стороны основных подъездов и подходов работающих. Проходные предприятия располагают на расстоянии не более 1,5 км друг от друга. Здесь предусматривают открытую площадку для стоянки личного транспорта, расположенную рядом с административно-бытовым корпусом.

Со *складской* зоны начинается производственный процесс и в ней он заканчивается. Ее размещают с учетом расположения на предприятии железной дороги. В зоне располагают склады материально-технического обеспечения и склады сбыта.

*Производственная* зона – это основная часть предприятия. Здесь размещают здания основного и обслуживающего производства.

*Энергетическая* зона включает компрессорную, трансформаторные подстанции, котельную, технологические и противопожарные резервуары и др. Компрессорную и трансформаторные подстанции размещают в центре заводской энергетической нагрузки.

*Транспортная* зона включает подразделения заводского транспорта, обслуживающего внешние и внутренние межцеховые перевозки.

*Хозяйственная* зона включает подразделения, которые обеспечивают в чистоте и порядке территорию и помещения предприятия.

В *подсобной* зоне располагают производство, которое использует вторичные ресурсы предприятия в виде неиспользуемого тепла и отходов столовой для выращивания цветов, овощей и животных. Его размещают на отдаленных и неудобных частях территории предприятия.

*Административно-бытовая* зона включает административную и инженерную части, столовую, медпункт, клуб, библиотеку и др. Вход в административно-бытовой корпус должен быть непосредственно с улицы без захода на территорию предприятия.

Расположение зон предприятия должно обеспечить кратчайшие пути перемещения материальных потоков по территории предприятия без их пересечения. Участки для расширения предприятий намечают за его границами.



Для уменьшения вредного влияния действующего предприятия на живущих и работающих рядом людей предусматривают *санитарно-защитную* зону, примыкающую к границе земельного участка предприятия. Эту зону, в зависимости от видов технологических процессов и вредных выбросов, назначают шириной от 50 до 1000 м.

В зависимости от формы и размеров заводской территории существует несколько технологических схем: прямолинейных, угловых и комбинированных.

*Прямолинейную* схему с линейным расположением зданий в один или несколько рядов параллельно железнодорожным путям (рис. 1.1, *а*) применяют для крупных заводов с большим грузооборотом, когда территория имеет форму длинного вытянутого прямоугольника.

*Угловая* схема расположения зданий и зон (рис. 1.1, *б*) применяется на территории квадратной формы.

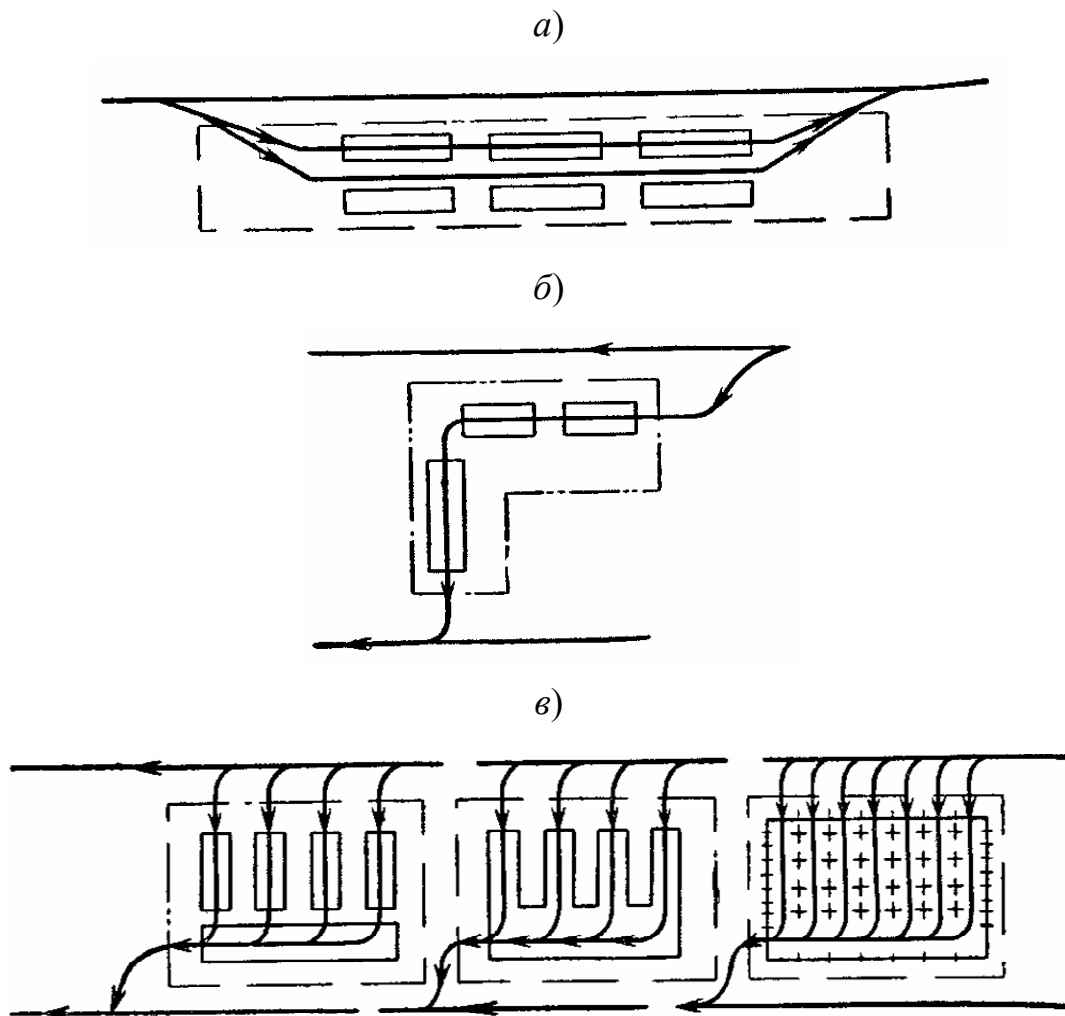


Рис. 1.1. Технологические схемы предприятий: *а* – прямолинейная; *б* – угловая; *в* – комбинированная

*Комбинированная* технологическая схема (рис. 1.1, в) более эффективна. Здесь подводные железнодорожные пути, линия заготовительных цехов и главный сборочный конвейер предприятия расположены параллельно друг другу. Перпендикулярно им располагают обрабатывающие цехи. Здания, в котором расположены обрабатывающие и сборочные цехи, напоминают в плане букву Ш. Форма здания соответствует направлению движения изделий, при этом создаются хорошие условия проветривания и естественного освещения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы функции машиностроительного производства? 2. Приведите структуру предприятия. 3. Приведите назначение и состав цехов основного производства. 4. С какой целью изображают технологическую схему предприятия?

## **1.2. Типы и характеристика производства**

### **1.2.1. Типы производств**

*Тип* производства – это его характеристика, которая зависит от вида и сложности продукции, объемов, регулярности и стабильности ее выпуска, а также технических и экономических условий осуществления производственного процесса (ГОСТ 14.004-83).

Технологические процессы, которые подготовлены к внедрению в производство, должны, безусловно, обеспечить все требования к качеству изделий, предусмотренных чертежом и техническими условиями. Кроме того, они должны обеспечить заданную производительность в конкретных производственных условиях. Наименьшие затраты на выпуск продукции могут быть достигнуты только в том случае, когда технологический процесс построен в полном соответствии с типом производства.

Критерием отнесения производства к одному из типов служит значение коэффициента закрепления операций  $k_{зо}$ .

$$k_{зо} = O/n_{р.м}, \quad (1.1)$$

где  $O$  – количество технологических операций, закрепленных за рабочими местами в течение месяца;  $n_{р.м}$  – количество рабочих мест в производстве.

Различают единичное, серийное и массовое производства. В свою очередь серийное производство разделяют на крупно-, средне- и мелкосерийное производства.

В соответствии с ГОСТ 3.1108-74 значения коэффициента закрепления операций составляют:

- для единичного –  $> 40$ .
- для мелкосерийного –  $20 \dots 40$ ;

- для среднесерийного – 10...20;
- для крупносерийного – 1...10;
- для массового – 1.

Основным типом современного производства является серийное производство. Предприятиями этого типа выпускается свыше 80 % продукции. Однако на одном предприятии существуют различные типы производств. В инструментальных цехах, в которых изготавливают средства технологического оснащения завода, превалирует единичное и мелкосерийное производство. В цехах основного производства серийность существенно выше.

### ***1.2.2. Характеристика типов производства***

*Единичное* производство характеризуется большим количеством видов изготавливаемой продукции, а также малым объемом выпуска изделий.

Объем выпуска продукции – это количество изделий определенных наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых предприятием или его подразделениями в течение года.

На предприятиях единичного производства:

- количество изделий и размеры операционных партий заготовок исчисляются единицами или десятками единиц;
- на рабочих местах выполняют разнообразные технологические операции, повторяющиеся нерегулярно или не повторяющиеся совсем;
- используют универсальное точное оборудование, которое расставляют в цехах по технологическим группам (токарное, фрезерное, сверлильное, зуборезное, шлифовальное и др.). Группы станков формируют в соответствии с последовательностью операций обработки большинства изделий;
- применяют универсальную оснастку (в т.ч. универсально-сборные приспособления). Специальные приспособления применяют в случае крайней необходимости;
- используют простейшие заготовки (отливки в песчано-глинистые формы, горячий прокат, поковки на молотах) с малой точностью и большими припусками;
- требуемая точность размеров достигается способом пробных ходов и промеров с использованием разметки;
- взаимозаменяемость деталей и узлов ограничена;
- широко применяется пригонка детали к детали;
- квалификация рабочих высокая, так как от нее в значительной мере зависит качество продукции;

- технологическая документация – в маршрутном описании;
- технические нормы укрупненные, а нормирование труда – опытно-статистическое.

*Массовое* производство характеризуется узкой номенклатурой и большими объемами выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени.

В массовом производстве широко используют специальное высокопроизводительное оборудование, которое расставляют в технологической последовательности с организацией поточного производства. Применяют, например, высокопроизводительные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, станки с ЧПУ и обрабатывающие центры. Для поточного производства характерен регулярный выпуск продукции через установленный отрезок времени, равный такту производства, с использованием конвейеров для перемещения изделий с позиции на позицию и закреплением за этими позициями рабочих, выполняющих одни и те же работы. Автоматизированные поточные линии управляются ЭВМ.

Имеет место применение специальных приспособлений с механическими приводами и режущего инструмента из алмазов и сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора. Используют фасонный инструмент всех видов.

Широко применяют точные индивидуальные исходные заготовки с минимальными припусками на обработку. Такие заготовки получают литьем под давлением, горячей объемной штамповкой, чеканкой и др. способами.

Требуемая точность размеров достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках при обеспечении полной взаимозаменяемости деталей и узлов. Только в отдельных случаях применяют групповую взаимозаменяемость.

Средняя квалификация рабочих в массовом производстве ниже, чем в единичном. На настроенных станках и автоматах работают рабочие с низкой квалификацией, однако наладчики станков, специалисты по электронике и гидропневмоавтоматике имеют высокую квалификацию. Для выпуска одного и того же количества продукции численность рабочих в массовом производстве ниже, чем в единичном.

Технологическая документация массового производства разрабатывается в операционном описании, технические нормы детальные, а нормирование труда научно-обоснованное в виде аналитически-расчетных или аналитически-исследовательских норм.

*Серийное* производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большими объемами выпуска.

Производственная партия – это группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного отрезка времени.

Объем серии – это общее количество изделий определенных наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых по неизменяемой конструкторской документации.

Признаки серийного производства:

- объем выпуска изделий изменяется от десятков сотен до тысяч регулярно повторяющихся изделий;

- используется универсальное, специализированное и частично специальное оборудование. Широко применяют станки с ЧПУ, обрабатывающие центры и гибкие системы станков с ЧПУ, связанные транспортными устройствами и управляемыми от ЭВМ. Оборудование расставляют технологическими группами с учетом направления основных грузопотоков цеха по предметно-замкнутым участкам. Однако одновременно используют групповые поточные и переменнo-поточные линии;

- применяемые приспособления в основном универсальные, однако в крупносерийном производстве создают специальные приспособления. Широко применяют универсально-сборные переналаживаемые приспособления;

- в качестве исходных заготовок используют горячий и холодный прокат, отливки, полученные литьем в землю и под давлением, точное литье, поковки и точные штамповки, целесообразность применения которых обосновывают технико-экономическим расчетом;

- требуемая точность элементов деталей достигается как методами автоматического получения размеров, так и методами пробных ходов и промеров с частичным применением разметки;

- средняя квалификация рабочих выше, чем в массовом производстве, но ниже, чем в единичном. Наряду с рабочими высокой квалификации, работающих на сложных универсальных станках, и наладчиками используются рабочие-операторы, работающие на настроенных станках.

- в зависимости от объемов выпуска и особенностей изделий обеспечивается полная, неполная и групповая взаимозаменяемость деталей и соединений, однако в ряде случаев применяется обеспечение посадок с пригонкой по месту;

- широко применяется технологическая унификация (типовая, групповая и модульная);
- технологическая документация разрабатывается в маршрутно-операционном изложении с опытно-статистическим и аналитически-исследовательским нормированием труда.

Проектирование оптимального технологического процесса и его рациональное оснащение для конкретных условий производства является сложной задачей, требующей от технолога понимания реальной производственной обстановки, знания ближайших перспектив развития предприятия и умения проводить анализ и технико-экономические расчеты.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите критерии отнесения производства к его типу. 2. Каковы общие и отличительные признаки единичного, серийного и массового производства?

### ***Практическое занятие № 1***

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА**

*Цель занятия* – получить практические навыки по определению типа производства и размера партии.

*Индивидуальное задание.* Получить у преподавателя рабочий чертеж детали и программу выпуска. По рабочему чертежу изготовленной детали и заданному объему выпуска определить тип производства и размер партии деталей.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с назначением и материалом детали, условиями ее работы в узле или механизме.

Для выполнения задания необходимо:

- изучить чертеж узла или механизма, в котором работает деталь;
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства), массе детали;
- составить схему технологического процесса изготовления детали;
- рассчитать коэффициент закрепления операций и определить тип производства;
- оформить отчет.

*Содержание отчета:* название и цель работы; чертеж изготавливаемой детали, черновой технологический процесс, расчет коэффициента закрепления операций, определение типа производства, размера партии.

### **1.3. Производственный процесс и средства технологического оснащения**

#### ***1.3.1. Производственный процесс и его части***

*Производственный* процесс машиностроительного предприятия включает деятельность исполнителей и функции СТО, которые необходимы на данном предприятии для превращения машин из состояния материалов и заготовок в состояние товарной продукции.

Производственный процесс предприятия охватывает доставку, приемку и хранение материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, их складское хранение и распределение, работы по обеспечению теплом, энергией, воздухом, холодом, и другими ресурсами, а также по ремонту и обслуживанию зданий, сооружений и СТО, все технологические воздействия на изготавливаемые изделия, хранение и сбыт товарной продукции.

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

По признакам организации различают единичные, типовые и групповые технологические процессы.

*Единичный технологический процесс* – это технологический процесс изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

*Типовой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Разработка типовых процессов базируется на классификации деталей. Класс представляет множество деталей, связанных общностью технологических задач.

*Групповой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Принципиальное отличие двух последних технологических процессов друг от друга заключается в том, что типовые процессы характеризуются общностью последовательности и содержания операций при изготовлении типовой группы деталей, а групповая обработка – общностью оборудования и оснастки при изготовлении группы разнородных деталей.

### **1.3.2. Технологические операции, их состав и организация**

Технологический процесс состоит из технологических операций.

*Технологическая операция* – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

*Рабочее место* – часть производственной площади цеха, на которой размещены один или несколько исполнителей работы и обслуживаемая ими единица технологического оборудования или часть конвейера, а также оснастка и предметы производства.

Технологическая операция является расчетной единицей технического нормирования труда, проектирования технологических процессов и производственных участков.

Рабочее место – элементарная ячейка производства. Рабочие места учитывают, для них составляют паспорта и планы мероприятий, реализация которых обеспечивает социальные требования и достойные условия производительного труда с высоким качеством работ.

К основным принципам организации технологических операций во времени относят их дифференциацию и концентрацию.

*Дифференциация* операций предполагает образование их из небольшого числа переходов. Чем меньше переходов выполняют на рабочем месте, тем меньшие требования к квалификации рабочих, зато выше производительность их труда, а к организации производства предъявляются более высокие требования. Рабочие места становятся *специализированными*. Эта форма организации применяется на предприятиях средней и большой мощности.

*Концентрация* операций – принцип, обратный их дифференциации. Технологические операции, построенные по этому принципу, становятся многопереходными и многоинструментальными и реализуются, например, на оборудовании с ЧПУ. Квалификация рабочих при этом высокая, зато организация работ простая. Рабочие места становятся *универсальными*. Эта форма организации применяется на предприятиях различных типов.

Технологические операции характеризуются циклом, тактом и ритмом выпуска и технологическими режимами.

*Цикл технологической операции* – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

*Такт выпуска* – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок.

*Ритм выпуска* – количество изделий или заготовок, выпускаемых в единицу времени.



Такт и ритм выпуска продукции связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью.

Технологическая операция в свою очередь также делится на части (установы, позиции и переходы).

*Установ* – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемого изделия. Установы необходимы, например, для обработки различных поверхностей детали.

*Позиция* – это фиксированное положение изделия относительно инструмента при выполнении части операции. Позиции образуются при обработке изделия на автоматической линии (агрегатном станке) или сборке на конвейере.

*Технологический переход* – это законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установе.

Переход характеризуется постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых при обработке или соединяемых при сборке. Он является расчетной единицей технологического проектирования и состоит из одного или нескольких рабочих и вспомогательных ходов.

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. К вспомогательным переходам относятся, например, базирование, закрепление заготовки, смена инструмента или снятие детали.

Технологический переход включает ходы и приемы.

*Рабочий ход* – это законченная часть технологического перехода, составляющая однократное перемещение инструмента относительно обрабатываемой детали, сопровождаемое изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств материала.

*Вспомогательный ход* – законченная часть технологического перехода, составляющая однократное перемещение инструмента относительно обрабатываемого изделия, которое не сопровождается изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств материала, но необходимо для выполнения рабочего хода.

*Прием* – это законченная совокупность действий человека, применяемых для выполнения перехода или его части и объединенных общим целевым назначением.

### ***1.3.3. Средства технологического оснащения и их структура***

*Средства технологического оснащения* (ГОСТ 3.1109-82) – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

СТО подразделяют на технологическое оборудование и оснастку. Оснастка, в свою очередь, состоит из приспособлений и инструмента.

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

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

Технологическое оборудование в зависимости от разнообразия выполняемых им функций и обрабатываемых изделий подразделяют на универсальное, специализированное и специальное, а по приспособленности к воздействиям на изменяющиеся изготавливаемые изделия в различных производственных условиях – на перестраиваемое, перенастраиваемое и гибкое.

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

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

*Специальное* оборудование выполняет узкую технологическую функцию над изготавливаемым изделием определенной модели, обладает наибольшей производительностью и обеспечивает наивысшую точность. Это, например, шлифовальные станки для обработки коренных или шатунных шеек коленчатых валов, расточные станки для одновременной обработки коренных опор, втулок распределительного вала и отверстия под стартер в блоке цилиндров, контрольные стенды и др. Металлорежущее специальное оборудование изготавливают на станкостроительных заводах по заказу.

Специальные металлорежущие станки – это модификации универсальных станков. Они оснащены наладками (или подготовлены под установку наладок) и устройствами для обработки заготовок одного наимено-

вания. Остальное специальное оборудование изготавливают, как правило, в инструментальном цехе (участке) завода.

*Перестраиваемое* оборудование может быть перестроено на обработку другой детали или группы деталей при затратах средств и труда, соизмеримых с его стоимостью.

*Переналаживаемое* оборудование при переходе на обработку другой детали или группы деталей не требует дополнительных вложений и остановки производства, хотя этот переход связан с изменением текущих расходов.

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

Количественная оценка гибкости оборудования оценивается показателем гибкости  $G$ , который равен произведению степени гибкости  $g_1$  на степень переналаживаемости  $g_2$ :

$$G = g_1 g_2, \quad (1.2)$$
$$g_1 = (1 - 1/n),$$
$$g_2 = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^f \sum_{i=1}^s t_{ij}}{T_{nl}}\right),$$

где  $n$  – число функций оборудования;  $t_{ij}$  – время перехода оборудования из одного функционального состояния  $i$  во второе  $j$ ;  $i = (1 \dots f)$ ;  $j = (1 \dots s)$ ;  $T_{nl}$  – отрезок времени, принятый в качестве базы для сравнения.

При выборе оборудования учитывают его возможность выполнять заданные операции над изготавливаемыми изделиями с установленной производительностью и нормативным качеством.

*Технологическая оснастка* представляет собой устройства, которые расширяют технологические возможности оборудования и применяются только вместе с ним.

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

*Приспособления* – это технологическая оснастка, предназначенная для установки изделия или ориентирования инструмента при выполнении технологической операции.

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

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие документы регламентируют термины и определения, относящиеся к технологическому процессу и его частям? 2. С какой целью унифицируют технологические процессы? 3. Приведите общие и отличительные признаки типовых и групповых процессов. 4. Приведите структуру СТО.

### *Практическое занятие № 2*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

*Цель* занятия – получить практические навыки по разработке технологического процесса изготовления детали на предприятии.

*Индивидуальное задание.* Получить у преподавателя рабочий чертеж детали. По рабочему чертежу детали составить схему ее технологического процесса изготовления на предприятии.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с назначением, устройством и материалом детали, условиями ее работы в узле или механизме.

Для выполнения задания необходимо:

- изучить чертеж узла или механизма, в котором работает деталь;
- описать служебное назначение самой детали (какую функцию она выполняет в узле или механизме);
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства);
- составить схему технологического процесса изготовления детали;
- оформить отчет.

*Содержание отчета:* название и цель работы; эскизы узла, в который входит деталь; чертеж изготавливаемой детали; анализ условий работы детали; схема технологического процесса.

## **1.4. Базирование и базы при обработке заготовок и сборке изделий**

### *1.4.1. Определение и классификация баз*

При обработке заготовок добиваются нормативных значений размеров, формы, расположения и шероховатости поверхностей. Погрешности размеров и формы элементов обрабатываемых заготовок определяются отклонениями положений режущих кромок инструментов от траектории заданного формообразующего движения. Погрешности параметров расположения определяются ориентированием заготовок относительно траектории движения подачи обрабатывающих инструментов. Обеспечение необходимой шероховатости поверхности рассмотрено ранее в общем курсе технологии машиностроения.

*Базирование* (ГОСТ 21495-76) – это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

*База* – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей или точек, принадлежащих заготовке или изделию и используемых для базирования.

Базы располагаются на предмете труда (заготовке, сборочной единице, изделии), они взаимодействуют с *опорами*, которые находятся на оборудовании, приспособлении или средстве измерений.

Базы обеспечивают требуемое положение заготовки относительно выбранной системы координат. Это достигается наложением геометрических или кинематических двухсторонних связей 1 – 6 (рис. 1.2). При наложении таких связей тело лишается шести степеней свободы и таким образом становится неподвижным в системе OXYZ. Связи 1, 2, 3 лишают перемещения вдоль оси OZ и вращения вокруг осей OX и OY. Связи 4, 5 лишают перемещения вдоль оси OY и вращения вокруг оси OZ. Связь 6 лишает перемещения вдоль оси OX.

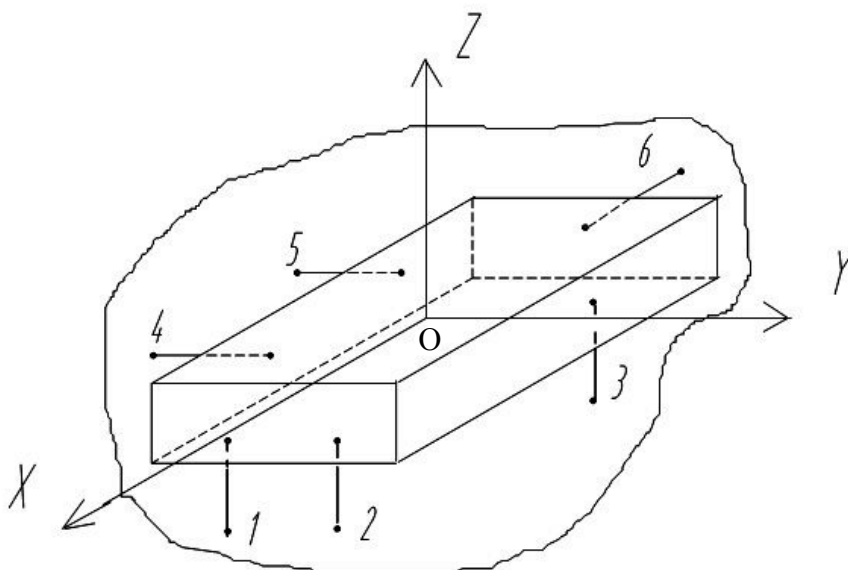


Рис. 1.2. Теоретическая схема базирования: XYZ – система координат, 1 – 6 – двухсторонние связи

Базирование необходимо для всех стадий создания изделия: конструирования, изготовления, измерения, а также для рассмотрения изделия в сборе. Поэтому базы подразделяют по назначению на три вида: конструкторские, технологические и измерительные.

*Комплект баз* – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия.

*Конструкторская база* – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Конструкторские базы подразделяют на основные и вспомогательные.

*Основная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. Пример основной базы приведен на рис. 1.3.

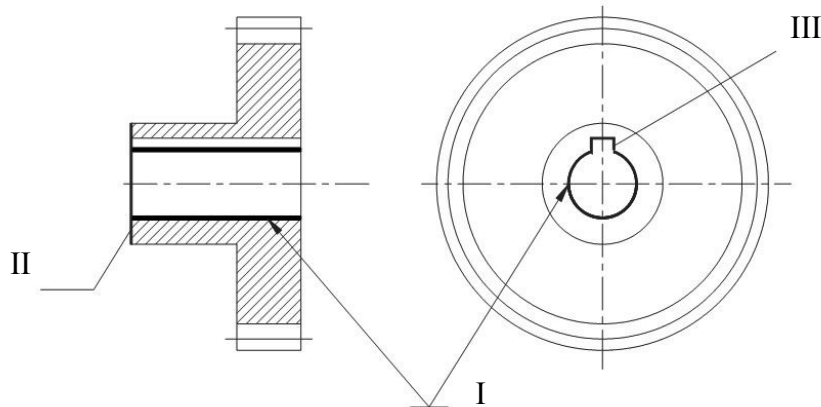


Рис. 1.3. Основная база: I – поверхность отверстия; II – торец; III – боковая поверхность шпоночного паза

*Вспомогательная база* (рис. 1.4) – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ней изделия.

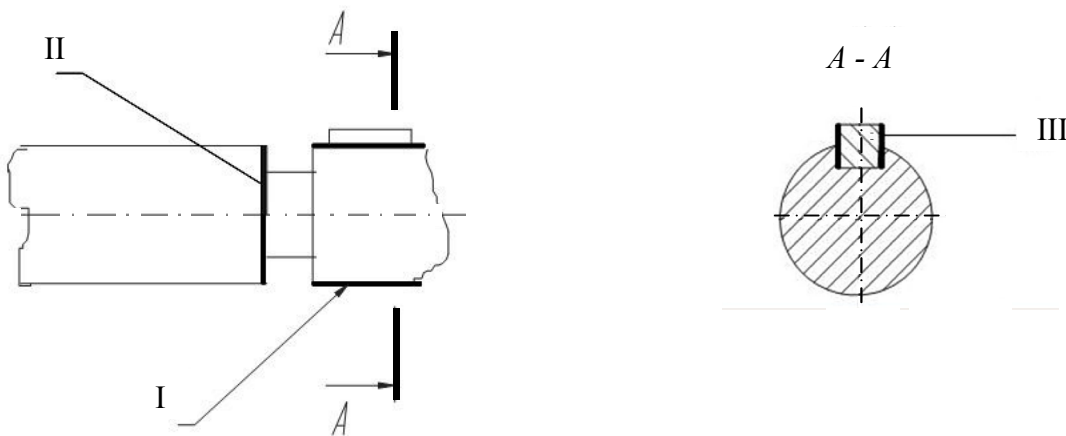


Рис. 1.4. Вспомогательная база: I, II и III – разные виды вспомогательных баз вала со шпонкой.

*Технологическая база* – это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

От обоснованного выбора технологических баз зависят правильность расположения контура детали в заготовке, точность взаимного расположения поверхностей в обработанной детали, сложность приспособлений и производительность обработки (рис. 1.5). В данном случае вал опирается

наружной поверхностью на призму и для предотвращения смещения на него действует сила прижима  $Q$ , направленная к оси заготовки.

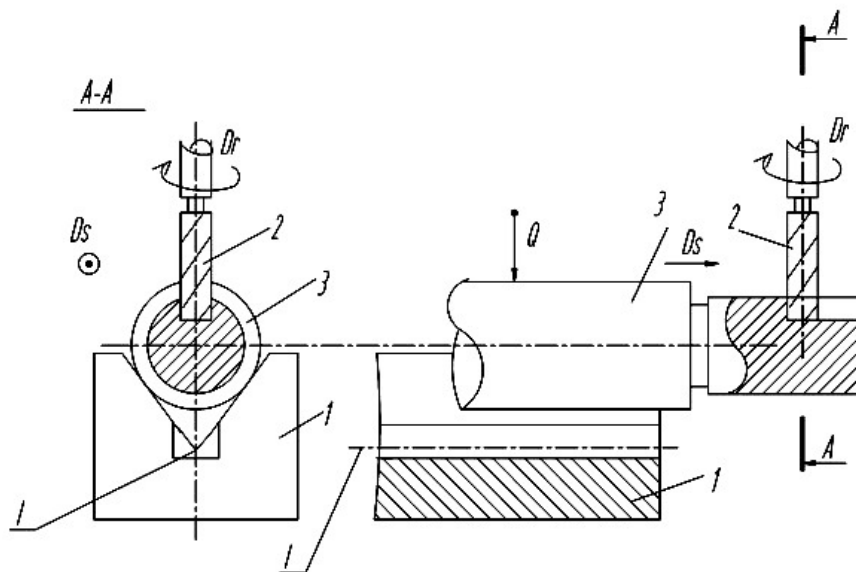


Рис. 1.5. Схема фрезерования шпоночного паза: 1 – технологическая база вала; 1 – призма (элемент приспособления к фрезерному станку); 2 – шпоночная фреза; 3 – заготовка вала со шпоночным пазом;  $D_r$  – главное движение резания;  $D_s$  – движение подачи

*Измерительная база* – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения. От измерительных баз производят отсчет размеров при обработке или измерении, а также при проверке параметров расположения. Пример измерения параллельности поверхностей приведен на рис. 1.6.

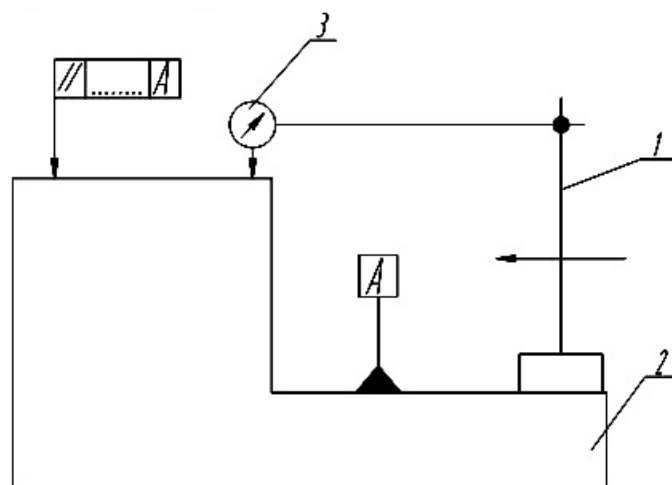


Рис. 1.6. Схема измерения параллельности поверхностей: А – измерительная база детали; 1 – индикаторная стойка, 2 – изделие, 3 – индикатор (средство измерения)

В зависимости от количества и видов лишаемых степеней свободы базы делятся на установочные, направляющие и опорные (рис. 1.7), двойные направляющие и двойные опорные.

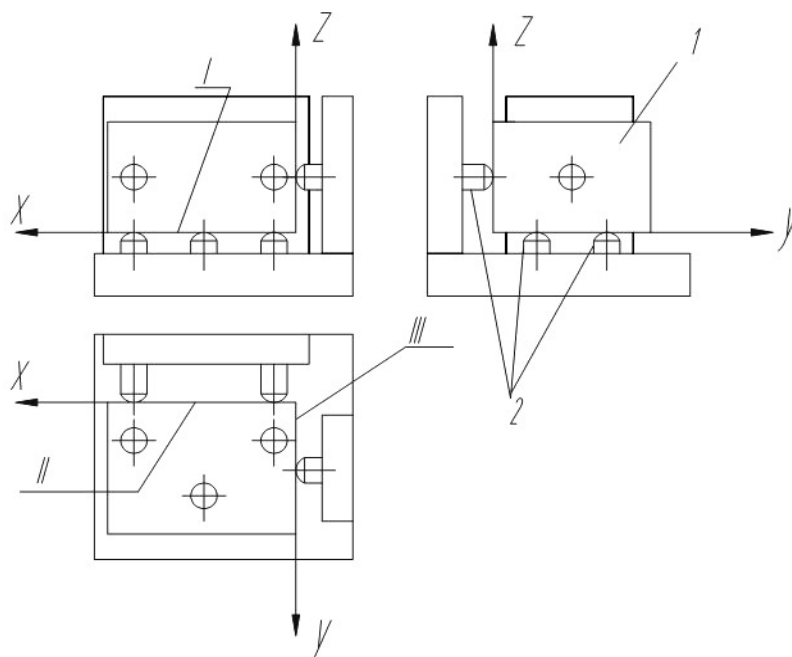


Рис. 1.7. Технологические базы: I – установочная база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси  $OZ$  и поворотов вокруг осей  $OX$  и  $OY$ ; II – направляющая база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси  $OY$  и поворота вокруг оси  $OZ$ ; III – опорная база заготовки, лишаящая ее перемещения вдоль оси  $OX$ ; 1 – заготовка, 2 – опоры

*Установочная* база лишает заготовку трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

*Направляющая* база лишает заготовку двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

*Опорная* база лишает заготовку перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

*Двойная направляющая* база лишает заготовку четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис. 1.8).

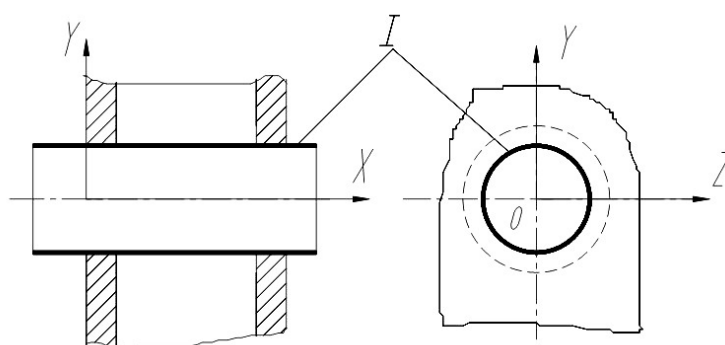


Рис. 1.8. Двойная направляющая база I, лишаящая перемещений заготовки вдоль осей  $OY$  и  $OZ$  и поворотов вокруг осей  $OY$  и  $OZ$



Двойная опорная база лишает заготовку двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей (рис. 1.9).

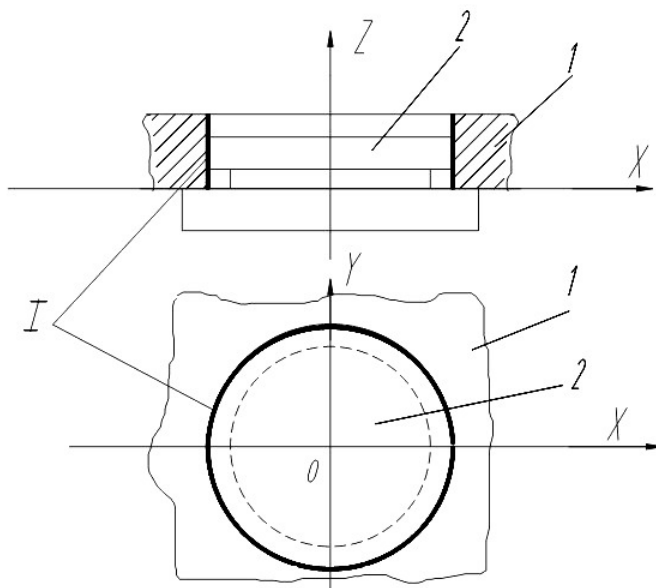


Рис. 1.9. Двойная опорная база I, лишаящая перемещений заготовки вдоль осей  $OX$  и  $OY$ : 1 – заготовка; 2 – элемент приспособления

Установочные базы должны иметь наибольшую площадь, направляющие – наибольшую протяженность, а опорные – небольшие размеры. Установочные базы делятся по характеру проявления на явные и скрытые.

Явной базой называется реальная поверхность, разметочная риска или точка пересечения рисок (рис. 1.10). Скрытой базой называется ось, воображаемая поверхность или точка.

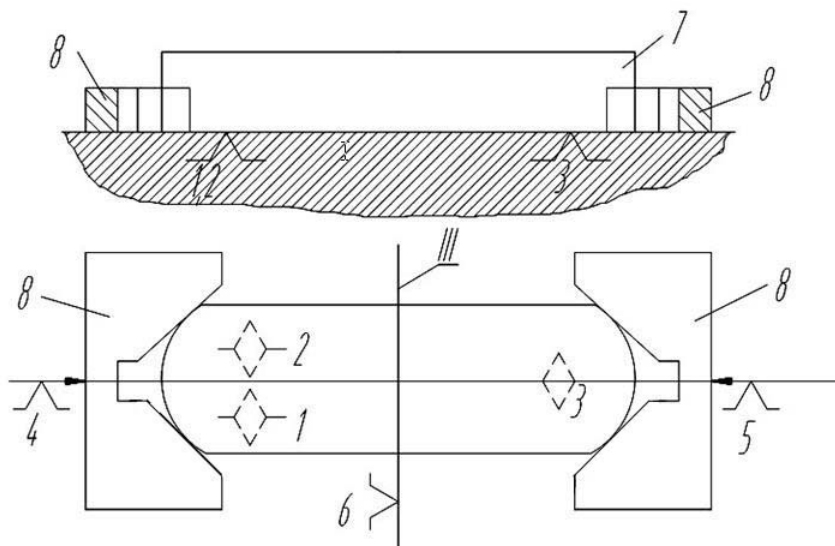


Рис. 1.10. Технологические базы: I – установочная явная база заготовки; II – направляющая скрытая база заготовки; 1...6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – губки самоцентрирующих тисков

*Смена баз* – преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам.

#### **1.4.2. Выбор технологических баз**

*Выбор баз для черновой обработки.* Технологическая база для первого установа заготовки называется *черновой*, она обеспечивает «выкраивание» из нее будущей детали. При выборе этой базы решается задача распределения припусков между последующими операциями обработки.

Черновую базу используют один раз и в качестве нее выбирают поверхности, остающиеся при изготовлении детали необработанными, относительно которых ориентируются основные поверхности.

Если с одной из обрабатываемых поверхностей необходимо снять минимальный припуск, то эту поверхность используют в качестве первой базы. Если технологической базой является сама обрабатываемая поверхность, то снимают наименьший припуск.

При выборе баз для дальнейшей обработки учитывают принципы их совмещения и постоянства. Принцип *совмещения* баз заключается в том, что при назначении технологических баз выбирают поверхности, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами заготовки, а также используются в качестве баз детали при сборке изделий. Принцип *постоянства* баз заключается в том, что при обработке заготовки используют одни и те же технологические базы. Однако обработать заготовку от одних баз или невозможно, или нецелесообразно. Во время этой обработки производят смену баз, т. е. обработку заготовки ведут в несколько установов.

При решении задачи обеспечения точности взаимного расположения поверхностей сначала обеспечивают точность относительных поворотов, а затем – относительных расстояний. Вначале обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а затем – форму ее геометрических элементов. Параметры расположения поверхностей детали обеспечивают ее ориентированием относительно движения подачи. Форму геометрических элементов обеспечивают ориентированием заготовки относительно направления главного движения, прямолинейностью направляющих станка и его жесткостью.

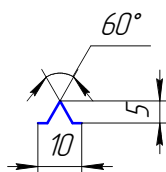
Сущность *адаптивного базирования* заключается в поиске необходимого положения обрабатываемой детали относительно траекторий режущих инструментов, обеспечивающего минимальный суммарный припуск на обработку, и закреплении детали в таком положении. При обработ-

ке, например, шатунных шеек коленчатого вала производят фиксированный поворот детали относительно оси коренных шеек до получения равных по величине, но противоположных по знаку максимальных отклонений от номинального углового расположения, по крайней мере, двух шатунных шеек. Реализация способа обеспечивает минимальный суммарный припуск при обработке всех взаимосвязанных элементов заготовки детали.

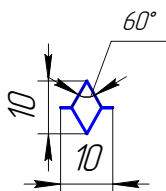
### 1.4.3. Схемы базирования

*Схема базирования* – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

Обозначение при виде спереди и сбоку опорной точки по ГОСТ 21495



а при виде в плане



Теоретическая схема базирования включает схему расположения на базах заготовки опорных точек, позиционные связи заготовки с принятой системой координат (опорные поверхности приспособлений, координатные плоскости станка и др.) и саму заготовку.

Для приведенного выше примера теоретическая схема базирования выглядит следующим образом (рис. 1.11).

Выделяют следующие основные виды базирования заготовок в приспособлении (табл. 1.1):

- с использованием комплекта плоских поверхностей;
- двумя плоскостями и наружной цилиндрической поверхностью;
- двумя плоскостями и внутренней цилиндрической поверхностью;
- плоскостью и двумя цилиндрическими поверхностями;
- коническими поверхностями.

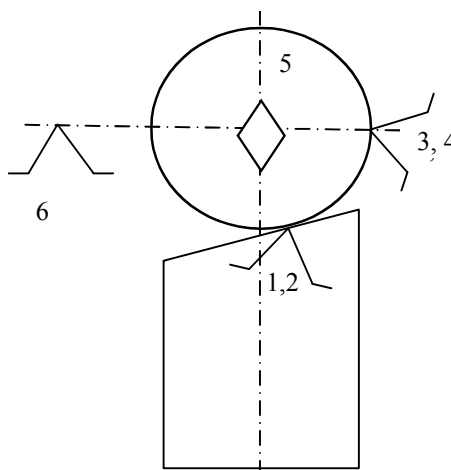
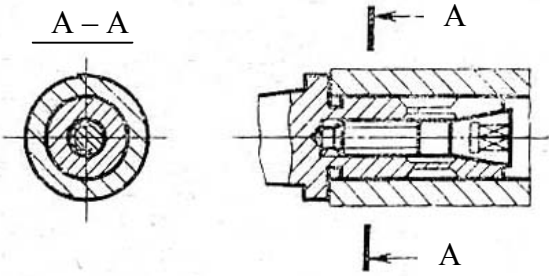
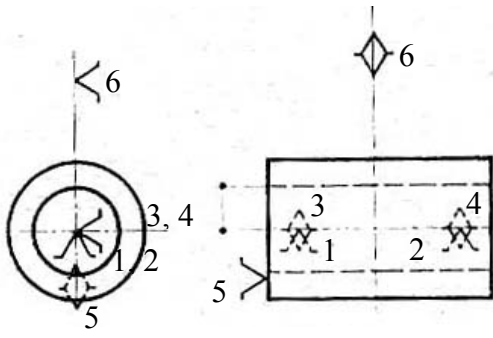
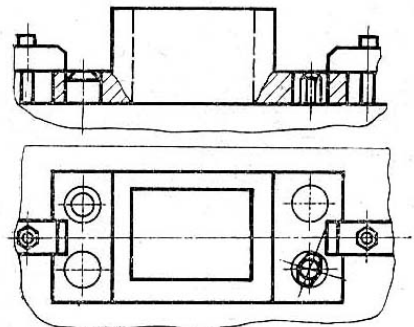
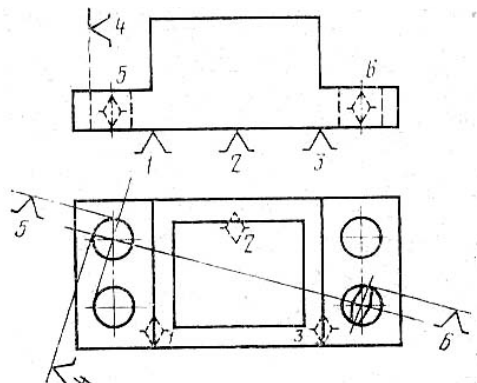
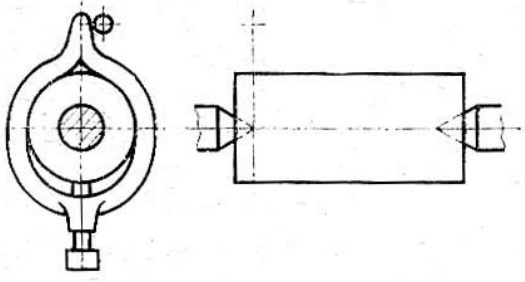
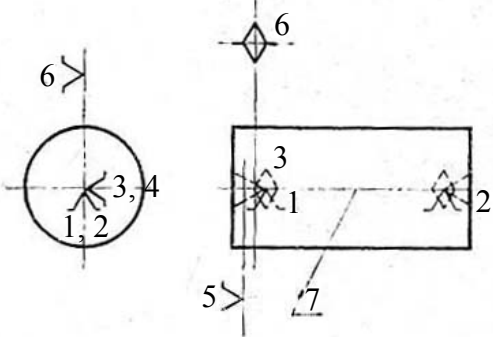
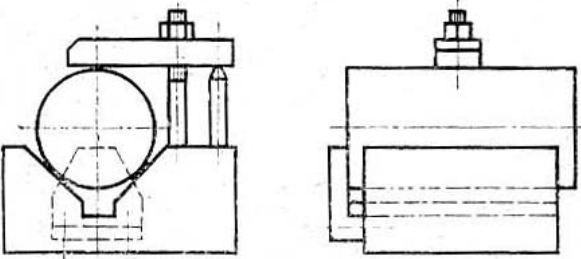
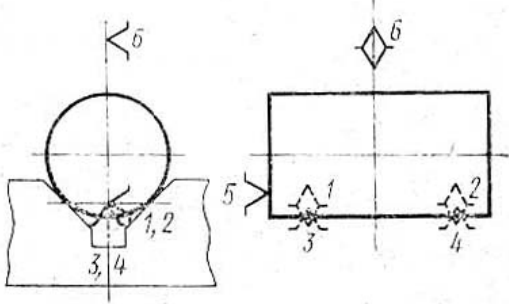
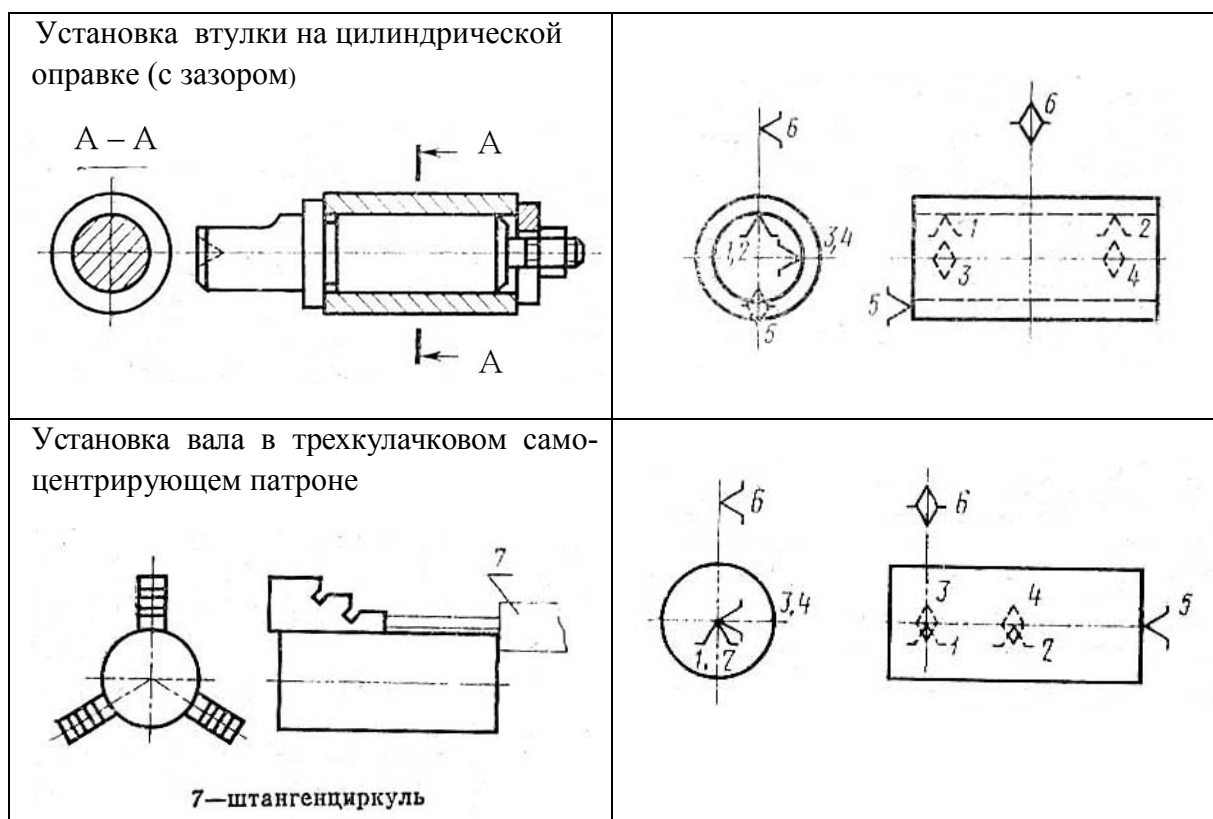


Рис. 1.11. Теоретическая схема базирования при бесцентровом шлифовании: 1...6 – базисуемые точки

Таблица 1.1

Схемы установки заготовок и их теоретические схемы базирования

Схема установки	Теоретическая схема базирования
<p>Установка втулки на разжимной оправке</p> 	
<p>Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям</p> 	
<p>Установка вала в центрах</p> 	 <p>7 – общая ось центровых отверстий</p>
<p>Установка вала на призме</p> 	



### Вопросы для самоконтроля

1. Какие Вы знаете виды баз, применяемые при проектировании, изготовлении и измерении изделий? 2. Какой признак положен в основу классификации технологических баз? 3. Как выбирают первую базу при изготовлении детали? 4. Обязательно ли лишать заготовку шести степеней свободы при базировании?

### Практическое занятие № 3

#### ВЫБОР БАЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

*Цель* занятия – получить практические навыки по разработке маршрута обработки деталей и выбору технологических баз на различных операциях механической обработки.

*Индивидуальное задание.* По рабочему чертежу изготовленной детали выбрать маршрут механической обработки. На каждой операции выбрать технологические базы для обработки детали.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с наличием и возможностями технологического оборудования на предприятии, оснащением станков приспособлениями для закрепления и обработки деталей.

Для выполнения задания необходимо:

– изучить чертеж детали;

– описать порядок механической обработки различных поверхностей детали, присвоить каждой поверхности детали условное обозначение, описать назначение основных поверхностей детали, выявить влияние точности взаимного расположения и формы, размеров, шероховатости поверхностей детали;

– назначить технологическое оборудование и оснастку для обработки основных поверхностей;

– определить технологические базы для обработки основных поверхностей на выбранном оборудовании;

– привести свои соображения относительно выбора баз для обработки поверхностей детали;

– разработать технологический маршрут обработки детали;

– разработать чертежи детали с нанесением технологических баз на каждой операции;

– оформить отчет.

На чертеже необходимо привести: изображение детали, обрабатываемые поверхности, технологические инструменты, описать технологические переходы, нанести теоретическую схему базирования на деталь.

*Содержание отчета:* название и цель работы; маршрут технологической обработки; чертеж детали с нанесенными базами на каждой операции.

## **1.5. Механическая обработка заготовок**

### ***1.5.1. Определение механической обработки и ее виды***

*Обработка* (ГОСТ 3.1109-82) – это действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса.

В зависимости от содержания процесса и вида энергии, затрачиваемой на изменение свойств предмета труда, различают обработку механическую, термическую, электрофизическую, электрохимическую и нанесение покрытий. Наибольшее применение нашла обработка первых двух видов.

*Механическая обработка* – это обработка давлением или резанием.

*Обработка давлением* – обработка, заключающаяся в пластическом деформировании или разделении материала заготовки (без образования стружки).

*Обработка резанием* – обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки.

*Стружка* (ГОСТ 25762-83) – деформированный и отделенный в результате обработки резанием поверхностный слой материала заготовки.

*Лезвийная обработка* – обработка резанием, осуществляемая лезвийным инструментом.

*Абразивная обработка* – обработка резанием, осуществляемая абразивным инструментом.

### **1.5.2. Обработка давлением**

Обработка заготовок давлением основана на использовании пластических свойств их материала – способности под действием внешних сил пластически деформироваться с изменением формы.

При обработке давлением используют свойство *пластичности* – способность твердых тел изменять свою форму и размеры под действием внешних сил и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия нагрузки. Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям сдвига под действием внешних сил. Чем более пластичен материал, тем больше плоскостей сдвига образуется в его объеме при нагрузке, тем при меньших напряжениях происходит деформирование заготовки.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и температуры нагрева, структуры, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов уменьшает его способность к пластическому деформированию. Неоднородность структуры и неравномерность распределения примесей также приводят к уменьшению пластичности.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве. Различают холодное и горячее деформирование в зависимости от соотношения температур процесса и рекристаллизации. При холодном деформировании температура обработки меньше температуры рекристаллизации, а при горячем деформировании – наоборот.

Нагрев до температурыковки уменьшает в 10...15 раз сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев заготовок из углеродистых сталей до 350 °С снижает пластичность, а нагрев свыше 700 °С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких заготовок целесообразен в указанном отрезке температур.

Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. При этом размер зерна существенно влияет на пластичность при холодном деформировании и незначительно – при горячем.

Увеличение скорости деформирования приводит к снижению пластичности и увеличению сопротивления деформированию. Влияние фактора велико в условиях горячего деформирования.

Поле главных напряжений оказывает большое влияние на параметры деформирования. Чем больший объем заготовки нагружен сжимающими напряжениями, тем большую деформацию допускает материал без разрушения. Максимальная деформация может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

Расчет значений *технологических режимов* при пластическом деформировании заготовок, усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на следующих положениях:

- пластическая деформирование наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале заготовки превышают предел его текучести. Используя это положение, можно определить усилие деформирования;

- пластическая деформация заготовки сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры заготовки в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки. Это положение необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали;

- объем заготовки до пластического деформирования равен объему ее после снятия нагрузки. Закон постоянства объема позволяет рассчитать деформацию в нужном направлении;

- если возможно перемещение какой-либо точки деформируемого материала в разных направлениях, то эта точка будет перемещаться в направлении наименьшего сопротивления. Если ограничить деформации заготовки в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, в каком нет внешних препятствий.

Материал заготовки деформируют посредством удара или статического давления с усилием, при котором возникают напряжения, превышающие предел текучести. Исходные заготовки для обработки давлением – это слитки и прокат.

Обработка давлением обеспечивает высокую производительность, улучшенные свойства металла, получение в ряде случаев деталей без дальнейшей обработки и малую массу отходов. Эта обработка изменяет как форму заготовок, так и структуру металла, а, следовательно, повышает его физико-механические свойства. Упрочнение металла при обработке давлением позволяет уменьшить размеры поперечных сечений деталей и массу машин.

Основные виды обработки металла давлением: прокатка, волочение, прессование, свободная ковка, штамповка объемная и листовая.

*Прокатка* заключается в пропускании металла в зазор (который меньше толщины заготовки) между вращающимися валками. Масса слит-



ков достигает 25 т. Стальной прокат делят на группы: сортовой, листовой, трубный, специальный и периодический.

Для прокатки применяют прокатные станы разных видов и мощности, инструментом в них служат прокатные валки.

*Волочение* – процесс протягивания обрабатываемой заготовки через отверстие, размеры которого меньше размеров сечения заготовки. При волочении площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, приобретая постоянное сечение по всей длине, а длина увеличивается.

В качестве оборудования применяют волочильные станы с фильерами.

*Прессование* заключается в выдавливании металла, заключенного в замкнутую полость, через отверстие меньшего сечения, чем площадь сечения исходного материала. Прессованием получают прутки, трубы и изделия сложной формы.

*Свободная ковка* – способ обработки давлением, при котором инструмент оказывает многократное прерывистое давление на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, приобретает заданную форму и размеры. Основные операцииковки: осадка (высадка), вытяжка, прошивка, гибка, закручивание, рубка и кузнечная сварка.

*Штамповка* – процесс обработки металлов давлением в штампах.

Штамповка бывает открытая (с заусенцем) и закрытая (без заусенца), объемная и листовая. Штамповка листовая делится на разделительную и формоизменяющую.

### **1.5.3. Обработка резанием**

Обработка резанием заготовок – основное средство достижения нормативной точности геометрических параметров изготавливаемых деталей. Ее также применяют для подготовки поверхностей под нанесение покрытий. На этот вид обработки приходится 25...28 % общей трудоемкости изготовления деталей.

Обработка резанием заготовок включает блоки таких операций: черновых, чистовых и отделочных. В начале обработки обеспечивают необходимое расположение поверхностей и форму элементов детали. Затем обрабатываемым элементам придают необходимую точность размеров. На последней операции создают нормативную шероховатость поверхности без ухудшения достигнутых ранее значений параметров расположения и формы элементов и их размеров. Однако финишные методы обработки (тонкое шлифование, хонингование, электроимпульсное полирование) в ряде случаев обеспечивают не только заданную шероховатость поверхностей, но и нормативную точность размеров.

Обработка заготовок резанием в зависимости от вида применяемого инструмента бывает лезвийной или абразивной.

*Лезвийной* обработке подлежат заготовки из относительно пластичных материалов – малоуглеродистых сталей, алюминиевых и медных сплавов, а также заготовки с покрытиями из самофлюсующихся сплавов твердостью до 45 HRC. Заготовки точат (в том числе ротационным инструментом), фрезеруют, строгают и сверлят. Лезвийная обработка покрытий из высоколегированных и коррозионно-стойких сталей выполняется в том случае, когда припуск на обработку превышает 0,25 мм на сторону, а твердость материала не превышает 3000 МПа (35...45 HRC). По мере развития инструментальных материалов область лезвийной обработки расширяется.

Если твердость заготовки не позволяет применить лезвийную обработку или когда необходимо получить высокую точность детали с малой шероховатостью поверхностей, то применяют *абразивную* обработку. Она обеспечивает высокое качество поверхностного слоя и является основной при обработке износостойких твердых покрытий. Например, покрытия на основе керамики или карбида вольфрама могут быть обработаны только шлифованием.

#### ***1.5.4. Инструментальные материалы и смазывающе-охлаждающие жидкости***

Основу инструментальных материалов для лезвийной обработки составляют быстрорежущие стали (65...75 % объемов) и твердые сплавы (16...18 %). Около 7 % их объемов приходится на керамические и сверхтвердые материалы. Совершенствование инструментальных материалов направлено на обеспечение сочетания максимальной износостойкости и термической стойкости с обеспечением высокой вязкости и прочности при изгибе (рис. 1.12).

*Быстрорежущие* материалы представлены, например, сталью Р6М5 и сталями с повышенным содержанием кобальта (до 5...8 %).

*Твердые сплавы*, полученные методом порошковой металлургии, бывают однокарбидными типа ВК, двухкарбидными – ТК и трехкарбидными – ТТК. Твердосплавные материалы выпускают в виде перетачиваемых пластинок, закрепляемых пайкой, и неперетачиваемых пластинок с механическим креплением. Применяют треугольные, ромбические и квадратные пластинки с лункой вместо отверстия для сохранения прочности изделия. Созданы сменные пластины с диаметром вписанной окружности 5,6 мм.

Все ведущие инструментальные фирмы Германии, Японии и США выпускают инструменты из *режущей керамики*. Развивается оксидная

(~ 60 % объемов), оксидно-карбидная (25...30 %) и нитридная (10...15 %), армированная нитевидными монокристаллами, керамика.

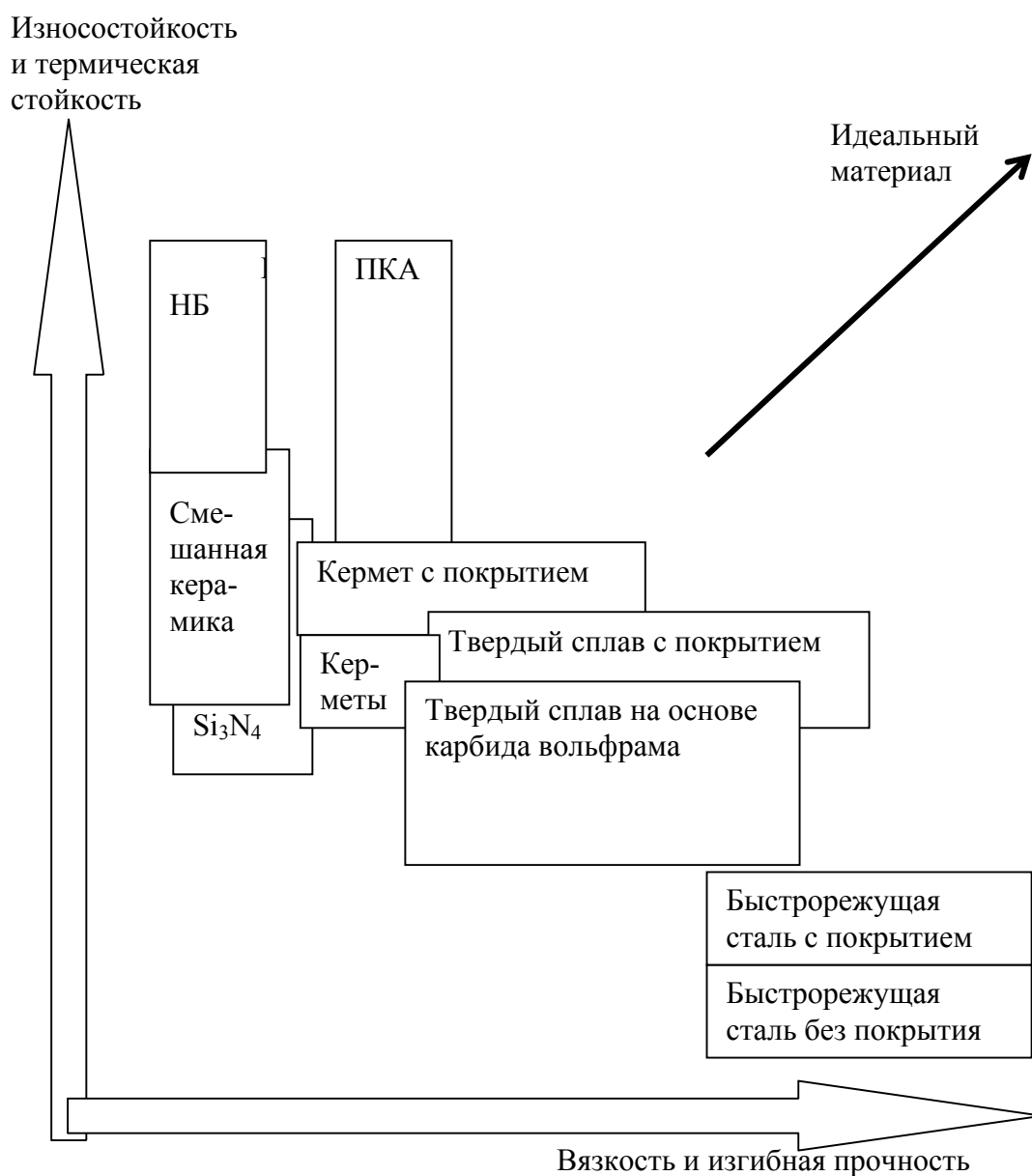


Рис. 1.12. Качественные характеристики различных видов материалов для лезвийной обработки: КНБ – кубический нитрид бора; ПКА – поликристаллические алмазы

Качество поверхностей и производительность обработки значительно повышаются при использовании инструментальных *поликристаллических сверхтвердых материалов* (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора при содержании последнего 50...98 %. Для черновой обработки покрытий высокой твердости (в том числе и по корке) применяют ПСТМ – киборит. Для чистовой и отделочной обработки служат инструменты с ре-

жущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р), 02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные поликристаллы) и др. Наиболее работоспособны из них киборит и гексанит-Р. Высокая теплопроводность киборита (более 50 Вт/м·К) обуславливает высокую износостойкость резцов при скорости резания до 200 м/мин.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработал и освоил выпуск сменных многогранных неперетачиваемых пластин из киборита. Выпускают пластины пяти форм в соответствии со стандартом ISO 1832-1991E: трехгранной (R), квадратной (T), ромбической (S) с углом при вершине 80° (C), с углом при вершине 55° (D), а также специальной формы для оснащения станков с ЧПУ. Пластины изготавливают с задними углами 0° (N), 5° (B), 7° (C), 11° (P) классов точности U, M и G без отверстий и канавок. Цилиндрические пластины выпускают диаметром 3,97...12,7 мм и высотой 2,38...4,76 мм. Применяют и другие формы пластин, вписанные в приведенные размеры. Композит выпускают в виде режущих зерен, впаиваемых в металлическую матрицу. Теплостойкость материалов на воздухе >1200 °С, пределы прочности при растяжении > 0,3 ГПа и при изгибе > 0,6 ГПа, а модуль упругости составляет 800 ГПа.

Для абразивной обработки применяют материалы, зерна которых обладают высокими твердостью и режущей способностью. При шлифовании зерна разрушаются, образуют осколки с острыми гранями, тем самым самозатачиваются. Зерна шлифующих материалов имеют острые грани, а полирующих – округлую форму, что способствует выравниванию обрабатываемой поверхности.

В соответствии с ГОСТ 3647-80 абразивные материалы подразделяют по размерам на зерна, шлиф- и микропорошки. Зерна применяют, например, для притирки. Шлиф- и микропорошки применяют для отделочного шлифования или полирования, их используют для изготовления шлифовальной шкурки. Номера групп материала соответствуют размеру их зерен.

Абразивные материалы делят на естественные (природные) и искусственные (промышленные).

*Естественные* материалы (горные породы и минералы), имеющие промышленное значение, следующие: алмаз, корунд, наждак, гранит, кремний, кварц, пемза и др. Эти материалы тверды, но недостаточно однородны, наиболее применимы из них первые три вида.

Природные алмазы бывают трех видов: борт, баллас и карбонадо. Инструменты из природных алмазов применяют, например, для правки шлифовальных кругов. Корунд, состоящий из 70...95 %  $Al_2O_3$  и примесей оксида железа, слюды, кварца и др., применяют для производства микропорошков. Наждак состоит из корунда (до 30 %), магнетита, гематита, кварца, оксидов титана и др.

*Искусственные* абразивные материалы: синтетические алмазы, эльбор (нитрид бора), карбид бора, карбид кремния (карборунд SiC), электрокорунд (на основе  $Al_2O_3$ ) и др.

Шлифпорошки из синтетических алмазов выпускают пяти марок (в порядке возрастания прочности и снижения хрупкости зерен): АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС. Микророшки из них выпускают двух марок: АСМ и АСН. Эльбор (боразон, кубонит) – перспективный материал из кубического нитрида бора. Он превосходит алмаз по теплостойкости и диффузионной устойчивости. Зерна из эльбора выпускаются двух марок: ЛП – повышенной и ЛО – обычной прочности. Карбид бора уступает по твердости только алмазу и нитриду бора. Зерна карбида кремния способны выдерживать температуру до 2050 °С. Производят два вида карбида кремния: зеленый и черный. Первый вид материала имеет меньше примесей и большую абразивную износостойкость. Электрокорунд имеет наибольшее применение и в зависимости от содержания оксидов других элементов бывает хромистым, титанистым, хромисто-титанистым, циркониевым и др.

Абразивные инструменты в виде кругов, головок, брусков, сегментов или шкурки состоят из абразивных зерен, связанных каким-либо веществом. Инструменты, за исключением последнего, изготавливают литьем и прессованием абразивной массы. В качестве связки абразивных зерен применяют органические и неорганические вещества.

*Органические* связки бывают керамические (К), магнезиальные (М) и силикатные (С), а *неорганические* – бакелитовые (Б), глифталевые (ГФ) и вулканитовые (В).

Шлифовальные круги различают по твердости. Твердостью круга принято считать сопротивление его связки к выкрашиванию зерен при работе. Для обозначения твердости кругов применяют индексы: М – мягкие, СМ – средней мягкости, С – средние, СТ – средней твердости, Т – твердые, ВТ – весьма твердые и ЧТ – чрезвычайно твердые.

Чаще применяют шлифовальные инструменты с абразивными зёрнами из электрокорунда. В зависимости от содержания примесей и технологии производства электрокорунд делят на следующие виды: нормальный (12А, 13А, 14А, 15А, 16А), белый (22А, 23А, 24А, 25А), хромистый (32А, 33А, 34А), титанистый (37А), циркониевый (38А), монокорунд (43А, 44А, 45А) и хромисто-титанистый (91А, 92А, 93А, 94А, 95А). Монокорунд состоит из целых зерен, в отличие от других видов электрокорунда, которые получают дроблением исходного материала. Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов обычно применяют абразивные круги из карбида кремния черного (53С, 54С, 55С) или зеленого (63С, 64С).

Абразивный инструмент обозначают условными знаками в определенной последовательности.

Например, характеристика абразивного круга ПП600×50×305 24А 10П С2 7 К5 35 м/с 1 кл А ГОСТ 2424-75 расшифровывается так: ПП – форма круга (плоский прямого профиля); 600×50×305 – размеры наружного диаметра, высоты и внутреннего диаметра круга; 24А – марка абразивного материала (электрокорунд белый); 10П – номер и индекс зернистости; С2 – степень твердости (средняя вторая); 7 – номер структуры, под которой понимается соотношение объемов абразивных зерен, связки и пор (средняя); К5 – вид связки (керамическая); 35 м/с – окружная скорость, при которой обеспечивается безопасная работа; 1 кл – класс уравновешенности; А – класс точности круга.

Детали полируют при помощи мелкозернистых кругов или бесконечной гибкой абразивной ленты. Шлифовальную шкурку изготавливают путем нанесения и закрепления абразивного материала на тканевую или бумажную основу. Шкурки выпускают в виде листов или рулонов.

*Смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ)* при обработке заготовок снижают изнашивание режущего инструмента, улучшают качество обрабатываемых поверхностей и повышают производительность. Основные функции СОЖ: охлаждение инструмента и детали, разделение частей материала заготовки за счет расклинивания, граничная и гидродинамическая смазка, адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ) на вновь образованных поверхностях для облегчения пластического деформирования и разрушения металла. Применяют масляные, эмульсионные и синтетические СОЖ.

Шлифование сопровождается выделением большого количества тепла и деформированием поверхностного слоя на глубину до 50 мкм, что способствует возникновению в этом слое значительных растягивающих напряжений. Неправильно выбранные режимы резания, затупленные зерна и «засаленный» круг приводят к структурным изменениям поверхностного слоя покрытия, образованию прижогов и шлифовальных трещин. Эти дефекты недопустимо оставлять в поверхностном слое покрытия. Прижоги при шлифовании снижают предел выносливости детали до 30 %, а шлифовальные трещины – до трех раз. Поверхностное обезуглероживание и снижение твердости только на 5 единиц HRC уменьшают долговечность, например, зубчатых колес в 2...3 раза. Поэтому при шлифовании покрытий значения режимов следует назначать значительно меньшие, чем при обработке монолитных материалов.

Качество шлифования и полирования кругами в значительной степени зависит от окружной скорости круга. При отделке твердого металла необходима более высокая окружная скорость, чем при отделке мягкого.

Финишные операции обеспечивают необходимые размеры и шероховатость обрабатываемых поверхностей, а также свойства поверхностного слоя. На этих операциях снимают незначительный слой металла, но

уменьшают на один-два класса значения шероховатости. Тонкое шлифование, например, выполняют абразивным инструментом с зернистостью 12...25. Снимаемый припуск за один ход не более 0,5 мкм. В конце операции необходимо выхаживание в течение 5...7 оборотов детали. Для тонкого шлифования применяют станки повышенной точности.

*Суперфиниширование и полирование* – процессы удаления разупроченного на предыдущих операциях тонкого слоя и достижения необходимой шероховатости поверхности. Суперфиниширование цилиндрических шеек (рис. 1.13) выполняют при вращении детали и осцилирующем движении мелкозернистых брусков вдоль оси шпинделя. Давление брусков на обрабатываемую поверхность составляет не более 3 МПа, оно уменьшается к концу операции. Шейки коленчатых валов, например, полируют на станках типа 3875 с применением абразивных лент из шлифовальной шкурки марки 15А М40 В М 433.

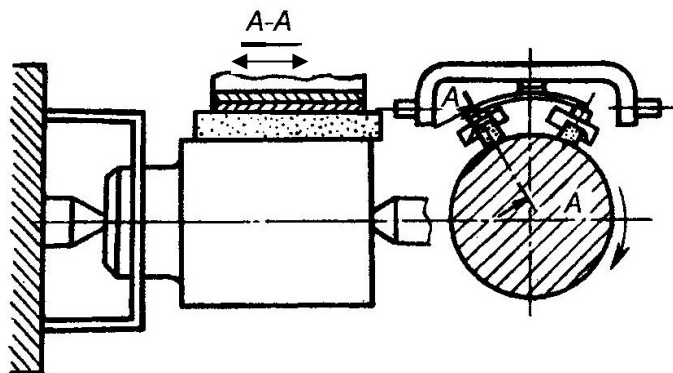


Рис. 1.13. Схема суперфиниширования поверхности

*Притирка* – процесс совместной обработки деталей, работающих в паре, для получения плотного контакта рабочих поверхностей. Притирают, например, клапаны двигателей к седлам, плунжеры топливной аппаратуры к гильзам, зубчатые колеса друг к другу. Обработка происходит при относительном возвратно-вращательном или поступательном движении притираемых деталей. В зону обработки подают свободные зерна электрокорунда, карбида кремния, карбида титана, карборунда или алмазную пасту в индустриальном масле. Чтобы следы резания не накладывались друг на друга, необходимо каждый последующий ход притирки начинать с нового относительного положения притираемых деталей. Эту функцию, например, во время притирки клапанов к седлам, выполняет механизм углового смещения шпинделей.

*Хонингование* – процесс доводки внутренних цилиндрических поверхностей абразивными брусками, которые закреплены в головке и со-

вершают вращение с одновременным возвратно-поступательным движением (рис. 1.14). В процессе хонингования бруски постоянно прижимаются к поверхности детали с давлением 0,05...1,40 МПа. Хонингование обеспечивает точность размеров 5 или 6 квалитета и шероховатость поверхности до Ra 0,16 мкм. Погрешность размера обработанного отверстия составляет 0,005...0,020 мм, а отклонения от круглости не превышают 0,005 мм. В качестве инструментальных материалов применяют хонинговальные бруски из синтетических алмазов, закрепленных в металлической связке М1 (порошковый состав из 80 % меди и 20 % олова). Для обработки заготовок широко используют бруски из алмазов марки АСВ (алмаз синтетический высокопрочный). Толщина алмазоносного слоя в брусках 1...2 мм. Зерна практически не теряют своих режущих свойств до полного изнашивания брусков. Алмазное хонингование по сравнению с хонингованием электрокорундовыми брусками производительнее в 4...6 раз, улучшает шероховатость поверхности на два класса и повышает точность обработки в 1,5...2,0 раза.

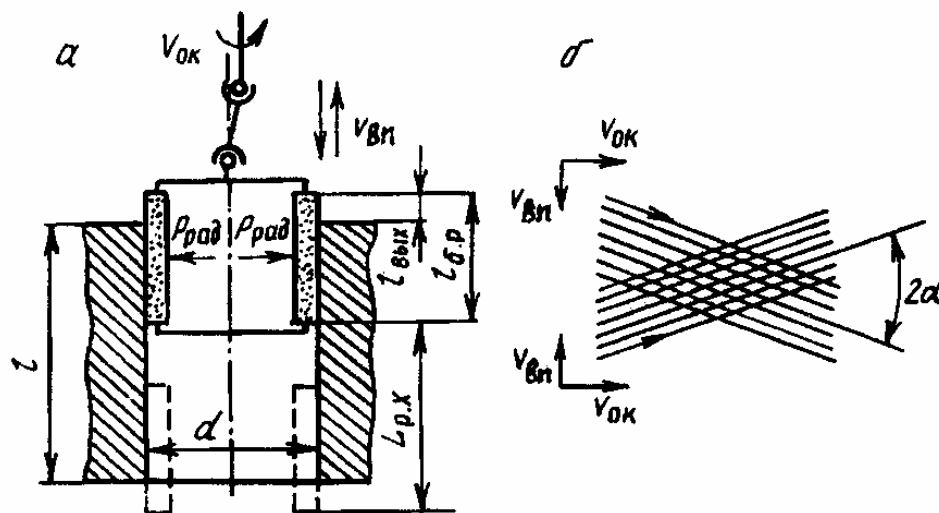


Рис. 1.14. Схема хонингования поверхности отверстия:  $l$  и  $d$  – длина и диаметр обработки;  $l_{бр}$ ,  $l_{пр}$  и  $l_{вых}$  – длина брусков, ход и длина выхода брусков;  $P_{рад}$  – усилие прижатия брусков к детали;  $V_{ок}$  и  $V_{вп}$  – скорости окружного и возвратно-поступательного движения инструмента;  $2\alpha$  – угол пересечения рисок от инструмента

Хонингование применяют для обработки стальных и чугунных деталей и при чистовой обработке хромовых и железных покрытий. Скорость резания при хонинговании в 20 раз меньше, чем при шлифовании, поэтому деталь практически не нагревается, а ее поверхностные слои не претерпевают структурных изменений.

Заготовки при их механической обработке устанавливают в приспособлениях, которые обеспечивают необходимую точность расположения обрабатываемых поверхностей и повышают производительность труда.



Шатунные шейки коленчатого вала, например, шлифуют в центросместителях, которые обеспечивают необходимый радиус кривошипа и точный поворот заготовки (во время вспомогательного перехода) относительно оси коренных шеек, равный нормативному углу между кривошипами.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какой смысл Вы вкладываете в термин «обработка»? 2. Приведите назначение и виды обработки металлов давлением. 3. Определите область применения лезвийной и абразивной обработки резанием. 4. Перечислите современные инструментальные материалы.

## 1.6. Термическая обработка при изготовлении деталей

### 1.6.1. Содержание и цель термической обработки

Термическая обработка металлов и сплавов представляет собой множество операций, включающее их нагрев, выдержку при заданной температуре и охлаждение. Различные виды термической обработки определяются скоростями нагрева и охлаждения заготовок, температурой нагрева и временем выдержки при этой температуре. В координатах температура – время график любой термической обработки может быть представлен в виде рис. 1.15.

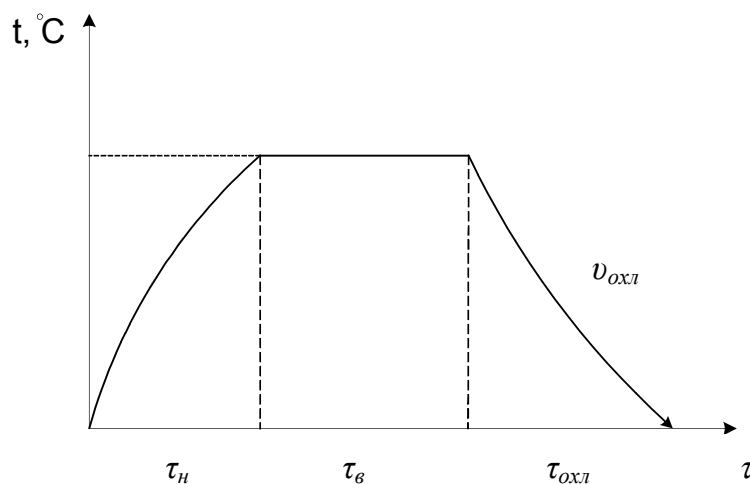


Рис. 1.15. График термической обработки:  $t_n$  — температура нагрева;  $\tau_n$ ,  $\tau_v$  и  $\tau_{охл}$  — время нагрева, выдержки и охлаждения;  $v_{охл}$  — скорость охлаждения;  $\tau$  — текущее время

Цель термической обработки заключается в получении требуемой структуры, а, следовательно, и физико-механических или иных свойств материала деталей. По степени воздействия на эти свойства термическая обработка значительно эффективней других видов обработки.

При изготовлении деталей с помощью термической обработки подготавливают заготовки к механической обработке, снимают внутренние напряжения в них с целью исключения трещин и упрочняют поверхности.

Процессы термической обработки подразделяют на термическую обработку без механических и химических воздействий, термомеханическую обработку, сочетающую тепловое воздействие с пластическим деформированием материала, и химико-термическую, сочетающую тепловое воздействие с изменением химического состава поверхностного слоя заготовки.

### ***1.6.2. Термическая обработка без механических и химических воздействий***

*Виды обработки.* Собственно термическая обработка заготовок включает отжиг I и II рода, закалку с полиморфным превращением или без него, отпуск и старение.

*Отжиг I рода* (гомогенизационный, рекристаллизационный и релаксационный) устраняет структурную неоднородность, возникшую в металлах и сплавах в результате предшествующей обработки.

*Гомогенизационный* (диффузионный) отжиг (рис. 1.16 а, 1) устраняет неоднородность химического состава наплавленного металла за счет протекания диффузионных процессов при высокой температуре. Чем сильнее начальная неоднородность, тем более продолжительной должна быть выдержка при этой температуре.

*Рекристаллизационный* отжиг (рис. 1.16 а, 2), который включает нагрев металла выше температуры его рекристаллизации (0,4...0,5 от абсолютной температуры его плавления), позволяет устранить структурную неоднородность (текстуру) и упрочнение (наклеп), вызванные предшествующим холодным пластическим деформированием, и повысить пластичность материала.

*Релаксационный* отжиг (рис. 1.16, а, 3) позволяет избежать трещин за счет значительного снижения внутренних остаточных напряжений, возникающих в процессе охлаждения сварных соединений и наплавленных покрытий.

*Отжиг II рода* (перекристаллизационный, изотермический, нормализационный (нормализация) и графитизирующий) приводит сплав в структурное равновесие.

В случае *перекристаллизационного* отжига металл нагревают выше температуры фазового перехода. В результате при последующем медленном охлаждении протекают фазовые превращения и образуется мелкозернистая равновесная структура с улучшенными свойствами. При нагреве стали несколько выше первой критической точки  $A_{c1}$  происходят неполная перекристаллизация и превращение только перлита в аустенит. Такой *неполный* отжиг (рис. 1.16, а, 5) для заэвтектоидных сталей вызывает сфероидизацию цементита (отжиг на зернистый перлит) и, как следствие,

снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием. При *полном* отжиге (рис. 1.16, а, 4) сталь нагревают выше точки  $A_{с3}$ , при этом образуется аустенитная структура и происходит полная перекристаллизация при охлаждении.

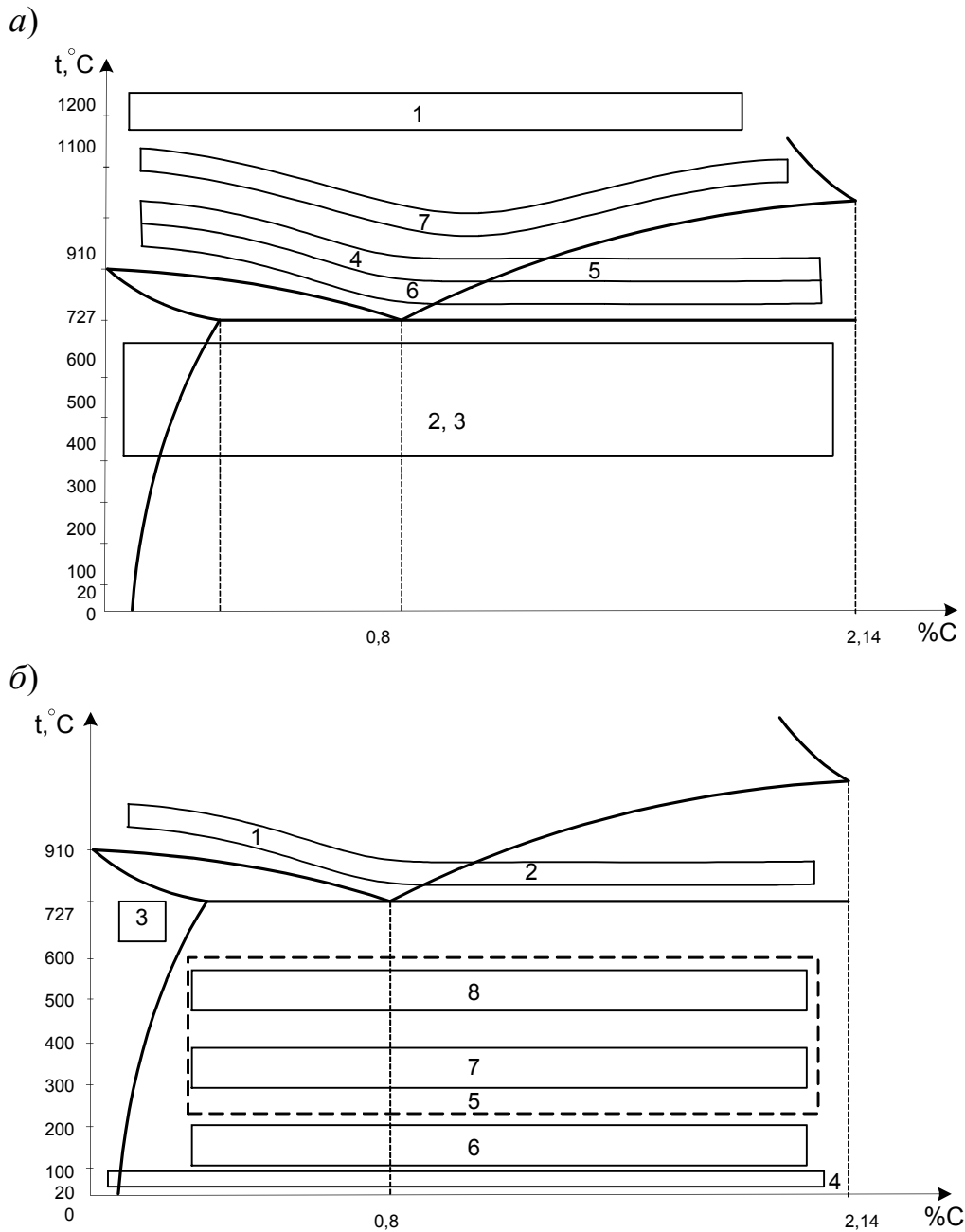


Рис. 1.16. Участок диаграммы состояния Fe – C со значениями температуры  $t$  различных видов термической обработки углеродистой стали:

а) Отжиг I рода: 1 – гомогенизационный; 2 – рекристаллизационный; 3 – релаксационный. Отжиг II рода: 4 и 5 – перекристаллизационный полный и неполный соответственно; 6 – изотермический; 7 – нормализационный.

б) Закалка с полиморфным превращением: 1 – полная; 2 – неполная. Закалка без полиморфного превращения – 3. Старение: 4 – естественное; 5 – искусственное. Отпуск: 6 – низкий; 7 – средний; 8 – высокий

При *изотермическом* отжиге (рис. 1.16, а, б) доэвтектоидную сталь нагревают на 30...50 °С выше  $A_{с3}$ , а заэвтектоидную – выше  $A_{с1}$ , выдерживают при этой температуре, быстро охлаждают несколько ниже  $A_{с1}$  и выдерживают до полного распада аустенита, затем охлаждают с любой скоростью.

Изотермический отжиг часто заменяют для легированных и высокоуглеродистых сталей полным отжигом, который требует меньше времени.

Для сокращения продолжительности термической обработки сталь часто охлаждают не с печью, а на спокойном воздухе (*нормализация*) (рис. 1.16, а, 7).

*Графитизирующий* отжиг применяют как для сталей, так и для чугунов. Он позволяет получать свободный углерод в виде графита благодаря распаду карбидной составляющей (цементита) при высокой температуре. Это снижает коэффициент трения и повышает износостойкость материала.

*Закалка с полиморфным превращением* реализуется в тех металлах и сплавах, в которых перестраивается кристаллическая решетка. Доэвтектоидные стали нагревают для превращения перлита в аустенит (полная закалка – рис. 1.16, б, 1) или сохраняют в заэвтектоидных сталях избыточный цементит (неполная закалка – рис. 1.16, б, 2). Во время ускоренного охлаждения со скоростью выше критической аустенит превращается в мартенсит. Твердость и износостойкость стали возрастают. Закалку с полиморфным превращением называют закалкой на мартенсит.

*Закалка без полиморфного превращения* (рис. 1.16, б, 3) происходит в тех сплавах, в которых по мере нагрева и выдержки увеличивается растворимость второго компонента и избыточная фаза растворяется в матричной фазе. Последующее быстрое охлаждение фиксирует состояние неравновесного пересыщенного твердого раствора, не характерное для низких температур. Такая закалка широко применяется для некоторых легированных сталей, алюминиевых, магниевых, никелевых, медных и других сплавов. Существенного упрочнения и снижения пластичности сплавов, подвергаемых закалке без полиморфного превращения, не наблюдается. В последующем такая неравновесная система при комнатной температуре стремится к равновесию и выделению избыточной фазы (*естественное старение* – рис. 1.16, б, 4). Некоторый подогрев закаленного сплава значительно ускоряет этот процесс (*искусственное старение* – рис. 1.16, б, 5).

Закалка и частичное старение обеспечивают повышенные твердость и прочность. Полное старение приводит сплав к двухфазному равновесному состоянию и, следовательно, к исходным свойствам.

*Отпуск* после закалки с полиморфным превращением переводит закаленный сплав в равновесное состояние подобно старению. Это снижает твердость и внутренние напряжения и повышает пластичность сплава. Отпуск включает нагрев сплава до температуры не выше критической, выдержку и охлаждение с заданной скоростью. Различают низкий отпуск стали (150...200 °С – рис. 1.16, б, 6), средний (300...400 °С – рис. 1.16, б, 7) и высокий (500...600 °С – рис. 1.16, б, 8).

Закалка углеродистых инструментальных сталей с низким отпуском обеспечивает высокие твердость и износостойкость, сохраняя структуру мартенсита отпуска. Закалка среднеуглеродистых сталей со средним отпуском дает максимальную упругость и достаточную твердость, что необходимо для рессор, пружин и деревообрабатывающего инструмента. При среднем отпуске происходит распад мартенсита на зернистую дисперсную феррито-цементитную смесь (троостит). Закалка с высоким отпуском для среднеуглеродистых сталей обеспечивает еще большее приближение к равновесному состоянию и получение грубозернистой феррито-цементитной смеси (сорбит), имеющей достаточные прочностные свойства, высокую ударную вязкость и наилучшую обрабатываемость резанием. Поэтому закалку с высоким отпуском называют *улучшением* и применяют для ответственных деталей.

В зависимости от характера охлаждения при закалке различают следующие ее виды: в одной среде (непрерывная), в двух средах, ступенчатая, изотермическая, с самоотпуском (рис. 1.17).

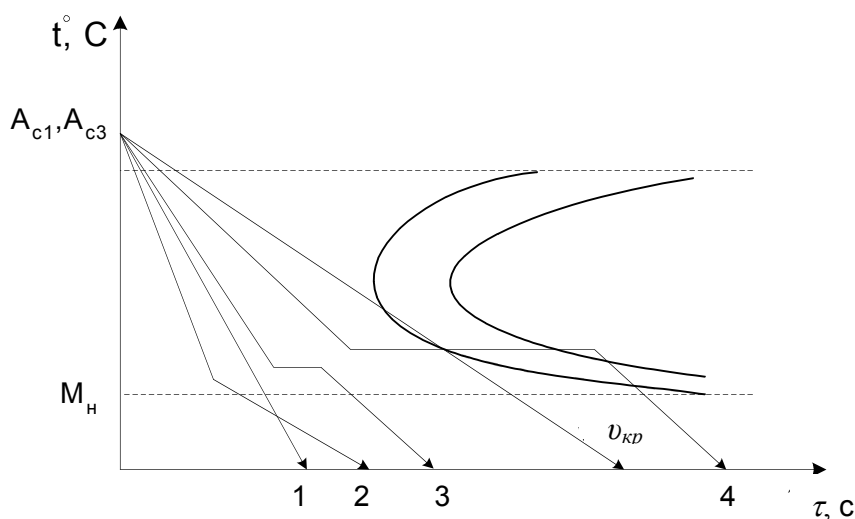


Рис. 1.17. Виды закалки в зависимости от характера охлаждения (на примере эвтектоидной стали): 1 – в одной среде; 2 – в двух средах; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая;  $t$  – температура;  $v_{кр}$  – критическая скорость охлаждения при закалке;  $\tau$  – текущее время

В ряде случаев, когда требуются твердая поверхность и способность воспринимать ударные нагрузки, ведут закалку *с самоотпуском*. При этом, не дожидаясь полного охлаждения детали, ее извлекают из охлаждающей среды. Оставшееся внутри детали тепло обеспечивает отпуск закаленного материала.

В зависимости от вида нагрева различают газопламенную, плазменную, лазерную, электроннолучевую, индукционную и печную закалку. Последние два ее вида широко применяются в производстве.

*Охлаждающие среды* играют важную роль при термической обработке. Так, например, при закалке используют воду, масло, водомасляные эмульсии, водные растворы солей. Наиболее простой закалочной средой является вода, однако она обладает высокой охлаждающей способностью в области мартенситного интервала и может вызвать повышенные внутренние напряжения и образование трещин.

В табл. 1.2 приведены составы солей, которые часто применяют для нагрева под закалку.

Таблица 1.2

Составы соляных смесей, применяемых для нагрева заготовок под закалку

Состав смеси	Температура плавления, °С	Температурные отрезки применения, °С
50 % поваренной соли (NaCl) + 50 % кальцинированной соды (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	560	590...900
100 % хлористого бария (BaCl)	962	1020...1350
50 % поваренной соли (NaCl) + 50 % хлористого кальция (CaCl <sub>2</sub> )	595	630...850
100 % поваренной соли (NaCl)	800	850...920
100 % хлористого калия (KCl)	768	820...920
100 % сильвинита (NaCl·KCl)	700	780...950

Предпочтительны такие закалочные среды, которые обладают высокой охлаждающей способностью в области значений температуры наименьшей устойчивости аустенита (500...650 °С) и пониженной в области мартенситного превращения ( $\leq 300$  °С). Масло обладает более низкой охлаждающей способностью, поэтому чаще применяется для легированных сталей, имеющих более высокую прокаливаемость, чем углеродистые стали.

### **1.6.3. Химико-термическая обработка**

*Химико-термическая* обработка (ХТО) сочетает тепловое воздействие с диффузионным насыщением поверхности металлов и сплавов одним или несколькими элементами. Она позволяет получать в поверхностном слое заготовки сплав различного состава с необходимыми свойствами.

Диффузионное насыщение при нагреве возможно в тех случаях, когда насыщающий и насыщаемый компоненты взаимодействуют, т.е. образуют твердые растворы или химические соединения. Повышение температуры ХТО повышает скорость диффузионных процессов.

*Науглероживание* (цементация) является одним из наиболее распространенных процессов ХТО. Поверхностный слой стали насыщают углеродом с последующей закалкой и низким отпуском, что повышает его твердость, износостойкость и усталостную прочность. Цементации подлежат углеродистые и легированные стали, содержащие до 0,25 % С (так называемые цементуемые стали – 10, 15, 20, 20Х, 20ХГТ и др.). После науглероживания содержание углерода в поверхностном слое достигает 0,8...1,0 %.

Науглероживание проводят в твердых, жидких и газообразных средах (карбюризаторах). В производстве наиболее распространена цементация в твердом карбюризаторе.

В металлический контейнер насыпают древесный уголь, укладывают детали так, чтобы расстояние между ними, а также до стенок ящика было не менее 15 мм. Контейнер закрывают крышкой, герметизируют огнеупорной глиной и помещают в печь. Прогревают контейнер до температуры 750...800 °С, а затем повышают температуру печи до 920...950 °С. Глубина науглероженного слоя составляет около 1 мм.

Контроль науглероженного слоя проводят на образце-свидетеле.

Углеродосодержащий порошок (сажу, древесно-угольную пыль, соду и др.) при цементации в пастах разводят связующим (патокой, канцелярским клеем и др.), наносят в виде суспензии, обмазки или шликера на цементуемую деталь и сушат. Толщина слоя пасты в 6...8 раз превышает требуемую толщину цементованного слоя.

При науглероживании в пасте, содержащей 50...55 % сажи, 30...40 % соды и 10...15 % щавелевокислого натрия, при 950 °С за 1,5...3,0 ч формируется науглероженный слой толщиной 0,6...1,0 мм.

Цементацию в расплавленных карбюризаторах (например, 75...85 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 10...15 %  $\text{NaCl}$  + 8...15 %  $\text{SiC}$ ) при температуре 950 °С ведут в расплавах солей металлов электролизным или безэлектролизным способами. Толщина цементованного слоя 1,2 мм.

Газовую цементацию ведут в специальных печах или агрегатах при температуре 920...950 °С, подавая в печь каплями керосин, уайт-спирит, веретенное масло или газ (природный газ, пропан, бутан и др.). В течение 8...12 часов формируется слой толщиной 1,0...1,8 мм.

Элементы стальных деталей, не подлежащие науглероживанию, меднят, покрывают специальными обмазками или предусматривают припуск, который снимают механической обработкой после цементации.

В результате цементации поверхностный слой детали приобретает структуру отпускаемого мартенсита с твердостью около 60 HRC, а сердцевина остается вязкой и пластичной.

*Азотирование* – диффузионное насыщение поверхности металла азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости деталей.

Чаще всего азотируют среднеуглеродистые легированные стали типа 38ХМЮА, 38ХВФЮ (нитралои), в поверхностных слоях которых образуются твердые нитриды хрома, молибдена и алюминия. Твердость поверхности таких сталей после азотирования достигает 1200 HV, в то время как после азотирования среднеуглеродистой стали – около 200 HV.

Как правило, перед азотированием проводят закалку с высоким отпуском (улучшением).

Чаще всего азотирование проводят при температуре 480...530 °С в течение 20...40 часов в среде аммиака. Толщина азотированного слоя составляет 0,4...0,8 мм.

*Цианирование* – процесс одновременного насыщения поверхности металла углеродом и азотом с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности деталей.

Различают низкотемпературное (540...560 °С), среднетемпературное (820...860 °С) и высокотемпературное (920...960 °С) цианирование. При низких температурах идет преимущественно насыщение азотом, а при высоких – углеродом.

Наиболее распространено цианирование в среде газов (смеси аммиака, природного газа, эндогаза и др.).

Цианируют чаще всего цементуемые легированные стали. После цианирования проводят закалку и низкий отпуск.

*Борирование* – процесс насыщения металла бором с целью повышения твердости и износостойкости. На поверхности сталей и чугунов формируется слой боридов FeB и Fe<sub>2</sub>B толщиной около 0,1 мм с твердостью около 2000 HV. Борированные изделия успешно сопротивляются абразивному изнашиванию.

В ряде случаев после операций пластического деформирования, наплавки (например, низкоуглеродистой сварочной проволокой Св-08) и железнения проводят химико-термическую обработку (цементацию, цианирование или др.) с целью придания поверхности максимальных твердости и износостойкости. В табл. 1.3 приведены такие примеры.



Таблица 1.3

## Применение химико-термической обработки при изготовлении деталей

Наименование деталей	Химико-термическая обработка	Термическая обработка	Материал	Твердость поверхности, HRC
Валы, пиноли, гильзы, шпиндели, зубчатые колеса, детали тормоза (собачки, щеки, сухари и др.), кольца, вкладыши, золотники, детали передней подвески и рулевого управления автомобиля	Цементация	Закалка с низким отпуском (толщина упрочненного слоя 0,8...1,6 мм)	15, 20, 20X, 18ХГТ, 12ХН3А, 20ХН3А, 15ХГН2ТА, 20ХТН2ТА, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГНМ	56...62
Винты ходовые, гильзы, шпиндели, червяки, накладные направляющие, зубчатые колеса	Азотирование	Улучшение (закалка с высоким отпуском до азотирования)	20Х3МВФ, 30Х3МФ, 38Х2МЮА, 40ХФА	60...68
Валы, зубчатые колеса, втулки, шайбы, детали тормозной системы и силовых агрегатов (червяки, шестерни), шаровые пальцы, вкладыши, золотники, крестовины, сателлиты	Нитроцементация	Закалка с низким отпуском	08, 10, 20, 35, 25ХГТ, 25ХГМ, 20ХГНТР	58...62
Пальцы, втулки гусениц тракторов, втулки насосов, детали прессформ	Борирование	Закалка с низким отпуском	Среднеуглеродистые и легированные стали с содержанием углерода $\geq 0,4\%$	HV 2000

Как правило, после химико-термической обработки проводят закалку с низким отпуском во избежание продавливания твердого диффузионного слоя.

#### 1.6.4. Термомеханическая обработка

В ряде случаев эффективным способом упрочнения является *термомеханическая обработка*, сочетающая как собственно термическую обработку, так и пластическое деформирование. Для сплавов, имеющих полиморфные превращения, распространены высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) и низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).

На рис. 1.18 приведены примеры типовых режимов термомеханической обработки.

Пластическое деформирование при ВТМО протекает выше температуры рекристаллизации в аустенитной области, поэтому с целью исключе-

ния разупрочняющих рекристаллизационных процессов проводят закалку с низким отпуском.

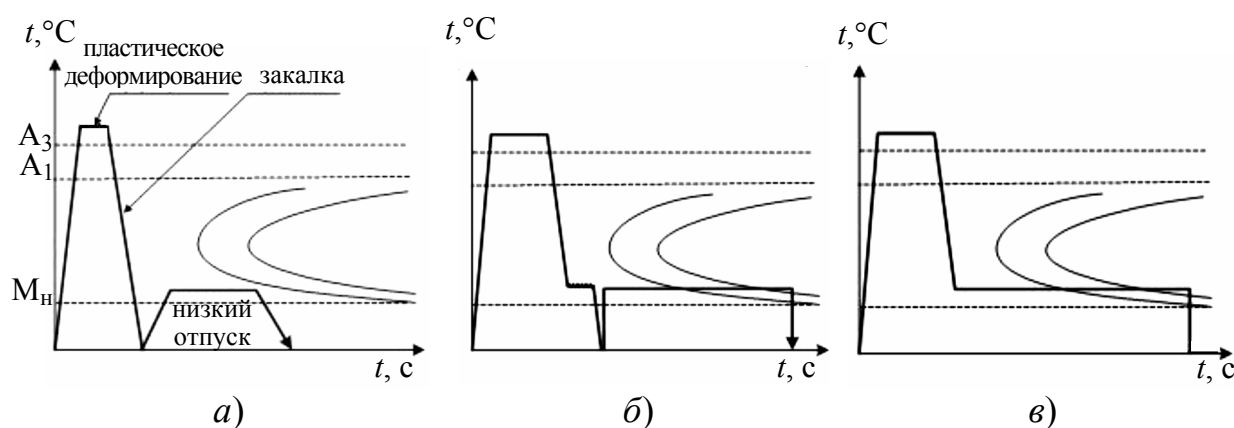


Рис. 1.18. Типичные режимы термомеханической обработки: а – ВТМО; б – НТМО; в – патентирование

Упрочняющий эффект при НТМО еще выше, поскольку пластическое деформирование ведут при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Разновидностью НТМО является патентирование, которое состоит в том, что холодное пластическое деформирование ведут до нагрева и после закалки на троостит, что обеспечивает высокий комплекс механических свойств.

### 1.6.5. Термическая обработка в процессах изготовления деталей

Вид термической обработки назначают в зависимости от требуемых свойств в жизненном цикле заготовок.

Для обеспечения хорошей обрабатываемости резанием стальные заготовки подвергают отжигу II рода или улучшению. Такие операции проводят в том случае, когда детали ранее проходили упрочняющую обработку и имеют высокую твердость. В сталях необходимо получать равновесные или близкие к ним структуры, содержащие зернистый (а не пластинчатый) перлит. В табл. 1.4 приведены примеры режимов термической обработки, обеспечивающих хорошую обрабатываемость резанием конструкционных сталей. После такой термической обработки проводят обработку резанием (точение, сверление, фрезерование и др.) или нанесение покрытий.

Для снятия внутренних остаточных напряжений и предотвращения образования трещин после операций сварки или нанесения покрытий, если эти операции сопровождались значительным вложением тепла в заготовку в неравновесных условиях (сварки, наплавки и др.), необходим отжиг I ро-

да. При этом, особенно для легированных сталей, склонных к образованию неравновесных закалочных структур и повышенной хрупкости, отжиг I рода проводят сразу после сварки или наплавки для снятия внутренних напряжений.

Таблица 1.4

Режимы термической обработки, обеспечивающей лезвийную обработку сталей

Марка стали	Рекомендуемая обработка	Особенности структуры	Примечание
20	Нормализация	Мелкая феррито-перлитная структура	
40, 45, 40X, 40XH	Нормализация	Мелкая феррито-перлитная структура	Допустимо улучшение (закалка с высоким отпуском на феррит + перлит зернистый)
18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 25ХГНМТ, 25ХГНМЮА	Изотермический отжиг	Феррито-перлитная структура с частично сфероидизированным перлитом	
12ХНЗА, 20Х2Н4А	Нормализация + высокий отпуск 640...680 °С	Мелкая феррито-перлитная структура (перлит частично до 20 % сфероидизирован)	
60С2	Нормализация + высокий отпуск 650...680 °С	Мелкая перлитная структура (перлит частично сфероидизирован)	
65Г	Рекристаллизационный отжиг при 670...680 °С	Частично ( $\geq 30\%$ ) сфероидизированный перлит	При больших объемах фрезерования и сверления время нагрева увеличивают в 1,5 раза
У8...У12, ШХ15	Маятниковый отжиг около критической точки $A_1$	Зернистый перлит	Для стали ШХ15 в сечениях до 100 мм – не более двух циклов

С целью полной или частичной релаксации внутренних напряжений проводят также отжиг, уменьшающий напряжения после нанесения электрохимических покрытий.

Как правило, во второй половине процесса изготовления детали перед чистовой механической обработкой ее подвергают упрочняющей термической обработке (табл. 1.5) или химико-термической обработке.

Таблица 1.5

Режимы окончательной термической обработки деталей  
из конструкционных сталей

Марка стали	Закалка		Отпуск		Предел прочности, МПа
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	
30	870	Вода	250	Воздух	1200
40	840	То же	250	То же	1300
45	830		450	То же	550
			350		1100
			250		1150
			160		1200
50	810	То же	500	То же	800
30Х	860	Масло	500	Вода или масло	900
40Х	860	То же	500	То же	1000
50Х	830	То же	520	То же	1100
18ХГТ	880	То же	200	То же	900
20ХГР	880	То же	200	То же	1400
25ХГМ	860	То же	200	То же	1200
30ХГТ	850	То же	200	То же	1500
40ХС	900	То же	540	Масло	1250
30ХМА	880	То же	540	Вода или масло	950
40ХН	820	Вода или масло	500	То же	1000
20ХНЗА	820	Масло	500	То же	950
30ХГСА	880	То же	540	То же	1100
40ХНМА	850	То же	620	То же	1100
38ХМЮА	940	То же	640	То же	1000

Таким образом, улучшаемые углеродистые и легированные стали подвергают закалке и высокому отпуску. Охлаждение при закалке и отпуске легированных сталей предпочтительнее в масле, а углеродистых – ввиду их низкой прокаливаемости – в воде и воздухе. Рессорно-пружинные стали чаще всего подвергают закалке и среднему отпуску для обеспечения максимальной упругости.

### 1.6.6. Термическое оборудование

На термическом участке имеется оборудование для очистки, нагрева, охлаждения и правки заготовок.

Очистное оборудование необходимо для очистки деталей от технологических загрязнений до термической обработки, а в ряде случаев и после нее.

В печах и печах-ваннах выполняют основные операции термической обработки. Это оборудование различают по таким признакам:

- широте выполняемых функций: универсальное и специальное;
- значению температуры: низкотемпературное (до 250 °С), средне-температурное (250...1000 °С), высокотемпературное (свыше 1000 °С);

– тепловому источнику: оборудование, использующее твердое топливо, мазут или газ, электрическое, индукционное;

– характеру загрузки и выгрузки заготовок: камерное, шахтное, с выдвижным подом, элеваторное, со съёмным сводом и др.

Оборудование для нагрева заготовок оснащают контрольно-измерительными приборами и аппаратурой для поддержания необходимого теплового режима.

Условное обозначение термических печей содержит буквы и числа. Буквы определяют вид нагрева, тип печи, среду и агрегатность (табл. 1.6), а цифры – размеры активного рабочего пространства (ширину, длину, высоту или диаметр и высоту) в дециметрах в числителе и максимальную рабочую температуру в сотнях градусов Цельсия в знаменателе.

Таблица 1.6

Буквенное обозначение печей для термической обработки

Первая буква		Вторая буква		Третья буква		Четвертая буква	
Обозначение	Вид нагрева	Обозначение	Основной конструктивный признак	Обозначение	Характер среды	Обозначение	Отдельные особенности
Г	Газовый	А	Карусельная	А	Азот	А	Агрегат
С	Сопротивление	Б	Барабанная	В	Вакуум	Л	Лабораторная
И	Индукционный	В	Ванна	Г	Металлы	В	Вертикальная
Т	Пламенный	Г	Колпаковая	З	Защитная атмосфера	М	Механизированная
		Д	Выдвижной под	М	Окислительная атмосфера		
		Е	Подвесной конвейер			П	Пар водяной – вода
		И	Пульсирующий под				
		К	Конвейерная	Ц	Цементационный газ		
		Н	Камерная			П	Периодического действия
		П	Протяжная				
Р	Рольганговая						
Т	Толкательная						
Ш	Шахтная						
Э	Элеваторная						

Например, обозначение СНЗА-5,0.10.3,2/10 означает – печь сопротивления (электрическая) камерная с защитной атмосферой, размерами печного пространства 500×1000×320 мм и рабочей температурой до 1000 °С.

Для отжига, закалки и отпуска, например, используют электропечи СТО, СТЗ, СКЗА, универсальные камерные электропечи СНО, СНЗ, шахтные электропечи СШО, СШЗ, вакуумные СШВ, электрованны СВГ, СВС. Для химико-термической обработки широко используют шахтные безмуфельные электропечи, для газовой цементации – СШЦ, для газового азотирования – США.

Для индукционного нагрева применяют ламповые, машинные или тиристорные генераторы, согласующие трансформаторы и конденсаторы, а также технологические установки.

В термических цехах применяют также закалочные баки и правильные прессы.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью ведут термическую обработку деталей? 2. Каким образом повышают твердость поверхностей? 3. Как можно в условиях мастерской организовать цементацию деталей? 4. Какое оборудование необходимо для закалки заготовок?

#### ***Практическое занятие № 4***

### **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК**

*Цель* занятия – получить практические навыки по назначению термической обработки заготовок.

*Индивидуальное задание.* Получить у преподавателя рабочий чертеж изготавливаемой детали.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с назначением, материалом детали, условиями ее работы в узле или механизме.

Для выполнения задания необходимо:

- изучить чертеж узла или механизма, в котором работает деталь;
- описать назначение поверхностей детали, для которых необходима индивидуальная термическая обработка;
- выявить влияние твердости и структуры поверхностей детали на работу узла или механизма в целом;
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства);
- привести свои соображения относительно выбора термической обработки детали в целом и поверхностей детали, для которых необходима термическая обработка;
- назначить термическую обработку и определить ее режимы;
- оформить отчет.

На чертеже привести: изображение детали, технологические требования к ней, технологические требования к отдельным элементам детали, требующим особой термической обработки.

*Содержание отчета:* название и цель работы; анализ условий работы детали; чертеж детали с указанием технологических требований; карту полной термической обработки детали.

## 1.7. Технологические режимы резания заготовок

### 1.7.1. Определение и содержание режима резания

*Технологический режим* – совокупность значений параметров технологического процесса в определенном отрезке времени.

К параметрам технологического процесса относят: скорость резания, подачу, глубину резания, температуру нагрева или охлаждения и др.

При назначении режимов резания учитывают вид обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования. Справочные сведения о режимах обработки рассчитаны на применение инструментов с оптимальными значениями геометрических параметров режущей части: с режущими элементами из твердого сплава – заточенными алмазными кругами, а из быстрорежущей стали – кругами из эльбора.

Элементы режима устанавливают в таком порядке: глубина резания  $t$ , подача  $s$ , скорость резания  $v$ , сила резания  $P_z$ .

*Глубину резания* при черновой обработке назначают по возможности максимальной, равной припуску на обработку или наибольшей его части, при чистовой обработке – в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности. Припуск на чистовую обработку снимают за два и более хода, каждый раз снимая все меньшую часть припуска.

*Подачу* при черновой обработке выбирают из максимально возможных подач, исходя из жесткости и прочности системы СПИД, мощности привода станка и прочности режущей части инструмента, при чистовой обработке – в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

*Скорость резания* рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K, \text{ м/мин}, \quad (1.3)$$

где  $C_v$  – коэффициент, зависящий от условий работы инструмента, твердости и прочности материала;  $T$  – стойкость инструмента, мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $s$  – подача, мм/об;  $m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$  – показатели степеней;  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий свойства материалов заготовки и инструмента, а также состояние поверхности заготовки.

По составляющей силы резания в направлении скорости резания определяют момент на шпинделе и мощность резания. Эту составляющую силы резания определяют по эмпирическим формулам.

### 1.7.2. Расчет режимов обработки

В машиностроительном производстве выполняют следующие основные виды станочных работ: точение, сверление, фрезерование и шлифование, хонингование и протягивание.

*Точение.* Определение норм времени начинают с расчета скорости резания (1.3). Частота вращения заготовки  $n_3$  при точении равна

$$n_3 = \frac{1000v}{\pi d_3}, \text{ мин}^{-1}, \quad (1.4)$$

где  $d_3$  – диаметр обработки, мм.

*Сверление.* Скорость резания при сверлении равна

$$v = \frac{C_v D_c^{z_v}}{T^m S^{y_v}}, \text{ м/мин}, \quad (1.5)$$

где  $D_c$  – диаметр сверления, мм;  $y_v, z_v$  – показатели степеней.

*Фрезерование.* Скорость резания при фрезеровании

$$v = \frac{C_v D_\phi^q}{T^m t^{x_v} s_z^{y_v} B_\phi^{p_v} z^{k_v}}, \text{ м/мин}, \quad (1.6)$$

где  $C_v$  – постоянная величина, зависящая от обрабатываемого материала, типа фрезы и подачи на один зуб;  $D_\phi$  – диаметр фрезы, мм;  $t$  – глубина фрезерования, мм;  $s_z$  – подача на один зуб фрезы, мм/зуб;  $B_\phi$  – ширина фрезерования, мм;  $q, p_v, k_v$  – показатели степеней;  $z$  – число зубьев фрезы.

Подача в минуту при фрезеровании  $s_m$ , подача на один оборот фрезы  $s_o$ , (мм/об) и подача на один зуб фрезы  $s_z$  (мм/зуб) связаны зависимостями

$$s_m = s_o n_\phi = s_z z n_\phi, \text{ мм/мин}, \quad (1.7)$$

где  $n_\phi$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

*Шлифование.* Продольную подачу на один оборот обрабатываемой заготовки при круглом шлифовании  $s_{ш}$  принимают в долях высоты шлифовального круга

$$s_{ш} = \kappa_{ш} B_\kappa, \text{ мм/об}, \quad (1.8)$$

где  $B_\kappa$  – высота шлифовального круга, мм;  $\kappa_{ш}$  – коэффициент, определяющий долю высоты шлифовального круга.

Линейная скорость  $v_3$  обрабатываемой поверхности заготовки при шлифовании

$$v_3 = \frac{C_v d_3^k}{T^m t^{x_v} \beta^{y_v}}, \quad (1.9)$$



где  $C_v$  – постоянная величина, зависящая от обрабатываемого материала, характеристики круга и вида шлифования;  $k$  – показатель степени;  $\beta$  – коэффициент продольной подачи.

Машинное время  $t_o$  обработки в большинстве случаев определяют по формуле

$$t_o = \frac{L}{n_3 S} i, \text{ мин}, \quad (1.10)$$

где  $L = l + l_1 + l_2 + l_3$  – длина пути, пройденного инструментом в направлении подачи, мм;  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $l_1$  – длина врезания, мм;  $l_2$  – длина перебега инструмента, мм (принимают 0,5...2,0 мм);  $l_3$  – дополнительная длина для снятия пробной стружки, мм (принимают 2...5 мм в единичном производстве);  $i$  – число рабочих ходов.

При точении, растачивании, подрезке торцов и отрезке величину  $l_1$  определяют по формуле

$$l_1 = \frac{t}{\text{tg}\varphi}, \text{ мм}, \quad (1.11)$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане.

При глухом сверлении и сверлении напроход, а также при центровании длину врезания определяют по формуле

$$l_1 = \frac{D_c}{2 \text{tg}\varphi}, \text{ мм}, \quad (1.12)$$

а при рассверливании, зенкерования и развертывании напроход

$$l_1 = \frac{D_{pc} - D_c}{2} \text{ctg}\varphi, \text{ мм}, \quad (1.13)$$

где  $D_{pc}$  – диаметр рассверливания, зенкерования или развертывания, мм;  $D_c$  – диаметр просверленного отверстия, мм.

При глухом зенкерования и развертывании, а также зенкерования фасок и цекования  $l_1$  принимают равной 0,5...2,0 мм.

При нарезании резьбы метчиками в сквозном отверстии и наружной резьбы плашками

$$t_o = \frac{l + l_1 + l_2}{n_{np} S} + \frac{l + l_1 + l_2}{n_{об} S}, \text{ мин}, \quad (1.14)$$

где  $l_1$  – длина, равная 1...3 шагам нарезаемой резьбы, мм;  $l_2$  – длина, равная 2...3 шагам нарезаемой резьбы, мм;  $n_{np}$  и  $n_{об}$  – частоты прямого и обратного вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ .

При нарезании резьбы метчиком в глухом отверстии

$$t_o = \frac{l + l_1}{n_{np} S} + \frac{l + l_1}{n_{об} S}, \text{ мин,} \quad (1.15)$$

При фрезеровании плоскостей цилиндрической фрезой, пазов дисковой фрезой, уступов концевой фрезой, плоскостей концевой фрезой ( $\varphi = 90^\circ$ ) основное время обработки определяют по формуле

$$t_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s_m} i, \text{ мин,} \quad (1.16)$$

где  $l_1 = \sqrt{D_\phi t - t^2} + (0,5 \dots 3,0)$ , мм;  $l_2$  – величина перебега фрезы, равная  $(0,03 \dots 0,05)D_\phi$ , мм;  $D_\phi$  – диаметр фрезы, мм;  $t$  – глубина фрезерования, мм.

При фрезеровании шпоночной канавки концевой фрезой, когда канавка закрыта с двух сторон,

$$t_o = \frac{h_{ш} + (0,5 \dots 1,0)}{s_{вм}} + \frac{l_{ш} - D_\phi}{s_{зм}}, \text{ мин,} \quad (1.17)$$

где  $h_{ш}$  – глубина шпоночного паза, мм;  $l_{ш}$  – длина шпоночного паза, мм;  $D_\phi$  – диаметр фрезы, мм;  $s_{вм}$  – вертикальная минутная подача, мм/мин;  $s_{зм}$  – горизонтальная минутная подача, мм/мин.

Если канавка открыта с двух сторон или на ее концах просверлены отверстия на ее полную глубину, то

$$t_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s_m}, \text{ мин,} \quad (1.18)$$

где  $l$  – длина канавки, мм;  $l_1 = 0,5D_\phi + (0,5 \dots 1,0)$ , мм;  $l_2 = 1 \dots 2$  мм.

При наружном и внутреннем круглом шлифовании методом продольной подачи основное время определяют по формуле

$$t_o = \frac{L}{s_{ш} n_3} \frac{h}{t} K, \text{ мин,} \quad (1.19)$$

где  $L = l_s - (0,2 \dots 0,4)B_k$  при шлифовании напроход и  $L = l_s - (0,4 \dots 0,6)B_k$  при шлифовании в упор, мм;  $l_s$  – длина обрабатываемого элемента, мм;  $h$  – снимаемый припуск, мм;  $t$  – глубина резания за один рабочий ход, мм;  $K$  – поправочный коэффициент, зависящий от вида шлифования.

При наружном шлифовании в центрах и бесцентровом шлифовании методом врезания

$$t_o = \frac{h}{s_m} = \frac{h}{n_3 s_{non}} K, \text{ мин,} \quad (1.20)$$

где  $s_{non}$  – поперечная подача круга, мм/об.

При наружном круглом бесцентровом шлифовании напроход

$$t_o = \frac{l_3 m + B_k}{s_m m} i K, \text{ мин}, \quad (1.21)$$

где  $l_3$  – длина обрабатываемой заготовки, мм;  $m$  – число заготовок в партии, шлифуемых непрерывным потоком;  $s_m = \pi D_{\text{БК}} n_{\text{БК}} \sin \alpha$  – продольная подача заготовки, мм/мин;  $D_{\text{БК}}$  – диаметр ведущего круга, мм;  $n_{\text{БК}}$  – частота вращения ведущего круга,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\alpha$  – угол наклона ведущего круга;  $i$  – число рабочих ходов, осуществляемых без изменения режимов резания.

При плоском шлифовании периферией круга на станках с прямоугольным столом

$$t_o = \frac{L_{cm}}{1000 V_{cm}} \frac{L_{xk}}{s_{non}} \frac{h}{tm} K, \text{ мин}, \quad (1.22)$$

где  $L_{cm} = l_{cm} + (10 \dots 15)$  – длина хода стола, мм;  $l_{cm}$  – длина стола, занятая заготовками, мм;  $V_{cm}$  – скорость продольного перемещения заготовок, мм/мин;  $L_{xk} = (B_{mn} + B_k + 5)$  – длина хода круга в направлении подачи, мм;  $B_{mn}$  – ширина магнитной плиты, занятая заготовками, мм;  $s_{non}$  – подача круга вдоль его оси, мм/мин;  $m$  – число одновременно обрабатываемых заготовок.

При плоском шлифовании торцом круга на станках с прямоугольным столом

$$t_o = \frac{l_{cm} + l_1 + l_2}{V_{cm} 1000} \frac{h}{tm} K, \text{ мин}, \quad (1.23)$$

где  $l_1 = 0,5(D_k - \sqrt{D_k^2 - B_d^2})$ ;  $l_2 = 5 \dots 10$  мм;  $B_d$  – ширина детали, мм.

При плоском шлифовании торцом круга на станках с круглым столом

$$t_o = \frac{h}{tn_{cm} m} K, \text{ мин}, \quad (1.24)$$

где  $n_{cm} = 1000 V_{cm} / \pi D_{cp}$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V_{cm}$  – линейная скорость вращения стола, м/мин;  $D_{cp}$  – диаметр окружности стола, на котором расположены заготовки, мм,  $m$  – количество заготовок, размещаемых на окружности стола.

При хонинговании отверстий основное время определяют по формуле

$$t_o = \frac{h}{tn_x}, \text{ мин}, \quad (1.25)$$

где  $n_x = 1000 V_n / 2(l + 2l_n)$  – число двойных ходов в минуту, необходимое для снятия припуска  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V_n$  – средняя поступательная скорость движения брусков, мм/мин;  $l$  – длина отверстия, мм;  $l_n = 25$  мм – дополнительная

длина, характеризующая предельные положения брусков, мм;  $t$  – радиальная подача на двойной ход инструмента, мм/двойной ход.

При протягивании гладких и шлицевых отверстий

$$t_o = \frac{l + (5...10)}{1000v_{np}}, \text{ мин,} \quad (1.26)$$

где  $l$  – длина рабочей части протяжки, мм;  $v_{np}$  – скорость протягивания, м/мин.

Значения поправочных коэффициентов и рекомендации по их применению в расчетах основного времени приведены в справочниках технолога. Там же имеются формулы машинного времени для других видов обработки заготовок на автоматах, станках с ЧПУ и многооперационных станках.

Время на наладку станка, вспомогательное время, связанное с переходом и на установку и снятие детали, а также время на обслуживание рабочего места выбирают из нормативов.

### ***1.7.3. Техническое нормирование***

*Техническое нормирование* в общем виде заключается в установлении технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (трудовых, материальных и энергетических) на уровне изделий или технологических операций.

Техническое нормирование труда оказывает большое влияние на себестоимость продукции, поскольку в нее входят как непосредственно заработная плата рабочих с начислениями, так и накладные расходы, составляющие 200...900 % от заработной платы производственных рабочих. Необходимое условие роста производительности труда заключается в совершенствовании оборудования, технологии и организации производства, улучшении условий труда и повышении квалификации рабочих.

*Цикл технологической операции* – это интервал времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

*Штучное время*  $t_{ш}$  – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых изделий или равный календарному времени сборочной операции.

*Подготовительно-заключительное время*  $t_{пз}$  – интервал времени на подготовку исполнителя и СТО к выполнению технологической операции и приведение последних в порядок после окончания смены или выполнения операции. Оно необходимо рабочему на первоначальное ознакомление с работой и документацией, подготовку рабочего места, наладку средств

оснащения и на действия, связанные с окончанием работы. Это время затрачивается один раз в смену или на партию (если в течение смены произошел переход к обработке другой партии изделий). Поэтому, чем больше однотипных изделий, тем меньше затраты подготовительно-заключительного времени на одно изделие.

*Основное время  $t_o$*  – часть штучного времени, затрачиваемого на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда. В зависимости от соотношения затрат энергии живой и неживой природы на технологическое воздействие различают такие виды основного времени: машинное, машинно-ручное и ручное.

*Вспомогательное время  $t_g$*  – часть штучного времени, затрачиваемого на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предмета труда. Оно необходимо для установки заготовки, снятия обработанной детали, управления оборудованием, перестановки инструмента и других целей.

*Оперативное время  $t_{оп}$*  состоит из основного и вспомогательного времени. В течение оперативного времени рабочий воздействует на обрабатываемое изделие, наблюдает за ним, ведет измерения, базирование, закрепление и снятие этого изделия.

Дополнительное время  $t_{дон}$  затрачивается на обслуживание рабочего места и на личные потребности рабочего.

*Время обслуживания рабочего места  $t_{орм}$*  – часть штучного времени, затрачиваемого исполнителем на содержание СТО в работоспособном состоянии и уход за ним и рабочим местом. Оно включает смазывание, очистку, осмотр и опробование оборудования, смену инструмента (без переточки), уборку рабочего места и др.

*Время на личные потребности  $t_l$*  – часть штучного времени, затрачиваемого исполнителем на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых. Оно включает перерывы на отдых в целях поддержания нормальной работоспособности, время на личную гигиену и естественные надобности рабочего.

*Штучно-калькуляционное время* включает время: оперативное (основное и вспомогательное), обслуживания рабочего места и на личные потребности (дополнительное) и подготовительно-заключительное.

*Технологическая норма времени* – это время, установленное одному или нескольким рабочим соответствующей квалификации для выполнения определенной работы в наиболее рациональных для данного предприятия условиях организации и технологии с учетом использования передового производственного опыта.

*Норма выработки* – это регламентированный объем работы, который должен быть выполнен в единицу времени в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норма выработки – величина обратно пропорциональная норме времени, она выражается числом изделий, которое должно быть выпущено в единицу времени.

*Норма штучно-калькуляционного времени*  $t_{шк}$  – это норма времени на выполнение объема работы, равной единице нормирования, при выполнении технологической операции. Эта норма определяется организацией, типом и техническим уровнем производства и складывается из норм основного, вспомогательного, дополнительного и подготовительно-заключительного времени (рис. 1.19).

$$t_{шк} = t_{нз} / z + t_o + t_b + t_{дон} = t_{нз} / z + t_{он} + t_{опм} + t_l, \text{ мин}, \quad (1.27)$$

где  $t_{нз}$  – норма подготовительно-заключительного времени, мин;  $z$  – число изделий в партии или обрабатываемых за смену, ед.;  $t_o$ ,  $t_b$ ,  $t_{дон}$ ,  $t_{он}$ ,  $t_{опм}$  и  $t_l$  – нормы времени основного, вспомогательного, дополнительного, оперативного, организации рабочего места и на личные потребности рабочего, соответственно, мин.

В зависимости от вида основного времени, серийности производства и опыта нормирования применяют опытно-статистические и технически обоснованные нормы времени.

*Опытно-статистические* нормы времени устанавливают с учетом существующих норм на подобные работы. Метод применяют в единичном и мелкосерийном производстве при нормировании ручных и машинно-ручных работ (разборочных, слесарных, сборочных и др.), он основан на применении статистических данных и личном опыте нормировщика. Применение метода крайне ограничено, потому что его результаты не служат стимулом повышения производительности труда.

*Технически обоснованные* нормы времени устанавливают аналитическим методом. Он предусматривает: деление операции на элементы (переходы или приемы); анализ факторов, влияющих на продолжительность или возможность исключения рассматриваемого элемента; использование научных (в том числе, статистических) методов; улучшение структуры операции; расчет нормы времени по элементам операции; разработку мероприятий, обеспечивающих возможность внедрения установленной нормы. Метод является основным в крупносерийном производстве.

Технически обоснованные нормы получают аналитически-исследовательским и аналитически-расчетным методами.



Рис. 1.19. Структура штучно-калькуляционного времени

*Аналитически-исследовательский* метод предусматривает непосредственное наблюдение за операцией на рабочем месте или в технологических лабораториях с помощью фотографии рабочего времени или хронометража. При этом тщательно анализируют организацию рабочего места и уточняют технологические режимы. Область применения метода – нормирование ручных или машинно-ручных работ в серийном и крупносерийном производстве.

*Фотография рабочего времени* заключается в непосредственном учете времени по частям операции. Наблюдения ведут за всеми затратами времени на рабочем месте в течение нескольких рабочих смен, одной смены или некоторой ее части. Фотография рабочего времени служит в основном для накопления материала для разработки нормативов на подготовительно-заключительное время, время обслуживания рабочего времени, регламентированных перерывов, отдыха и личных надобностей, выявления потерь рабочего времени и их причин для целей предупреждения.

*Хронометраж* применяют для измерения затрат рабочего времени на выполнение операций или ее элементов. Хронометраж необходим для подготовки материалов для разработки новых и изменения действующих норм времени. С помощью хронометража накапливают материал для разработки нормативов машинно-ручного и вспомогательного времени в условиях массового и крупносерийного производства, изучают методы выполнения комплексных приемов для выявления их лучших сочетаний и распространения передового опыта.

*Аналитически-расчетный* метод предусматривает расчет нормы времени на основе использования заранее разработанных зависимостей. Его применяют при нормировании станочных работ с учетом заранее составленных в технологических лабораториях нормативных данных по режимам обработки и хронометражным исследованиям типового основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени.

Опытно-статистические нормы менее точны по сравнению с технически обоснованными нормами времени, потому что устанавливаются укрупненно без разложения трудовых затрат на составные элементы и базируются на заранее достигнутом уровне производительности труда.

В нормах времени используют их прогрессивные значения, которые выше уровня средних показателей, фактически достигнутых предприятием, но ниже максимальных, достигнутых передовыми рабочими. Такие нормы стимулируют коллектив на полное использование резервов производства и способствуют лучшей его организации.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Определите отношение понятий «технологический режим» и «технологическая дисциплина». 2. С чего начинают расчет режима резания? 3. Приведите особенности расчета режима шлифования заготовок. 4. Какое значение имеет техническое нормирование труда?

#### ***Практическое занятие № 5***

##### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК**

*Цель работы* – получить практические навыки по расчету и назначению технологических режимов механической обработки различных поверхностей.

*Индивидуальное задание:* Получить у преподавателя рабочий чертеж детали с техническими требованиями, годовой объем выпуска.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с назначением, материалом детали, условиями ее работы в узле или механизме.



Для выполнения задания необходимо:

- изучить чертеж узла или механизма, в котором работает деталь;
- описать назначение поверхностей детали, для которых необходима механическая обработка;
- выявить влияние точности взаимного расположения и формы, размеров, шероховатости поверхностей детали на работу узла или механизма в целом;
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства);
- привести свои соображения относительно выбора технологического оборудования, инструментов и приспособлений для обработки заданных поверхностей;
- рассчитать технологические режимы токарной (шлифовальной) операции;
- назначить технологические режимы токарной (шлифовальной) операции;
- оформить отчет.

На чертеже необходимо привести: изображение детали, технологические требования к ней.

*Содержание отчета:* название и цель работы; анализ условий работы детали; чертеж детали с указанием технологических требований; расчет технологических режимов токарной (шлифовальной) обработки; назначение технологических режимов токарной (шлифовальной) обработки.

## **1.8. Технологическая документация**

### ***1.8.1. Виды и комплекты технологических документов***

*Технологический документ* – это документ, который отдельно или в совокупности с другими документами определяет технологический процесс или операцию изготовления изделия.

Документы на технологические процессы оформляют в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД. Основные технологические документы бывают *общего* и *специального* назначения. К первым относят: титульный лист, карту эскизов и технологическую инструкцию. Ко вторым – карты маршрутную, технологического, типового (группового) процесса, операционную, наладки, комплектуючную и другие, ведомости оснастки, оборудования и материалов и другие.

Технологические документы делят на текстовые и графические.

*Текстовые* документы содержат в основном сплошной текст или текст, разбитый на графы, разделы и подразделы. При разработке тексто-

вых документов в зависимости от вида и характера производства применяют следующие виды описания технологических процессов: маршрутное, операционное, маршрутно-операционное. *Маршрутное* описание технологического процесса включает сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. *Операционное* описание технологического процесса включает полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов. *Маршрутно-операционное* описание технологического процесса включает сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. При разработке технологических процессов в основном применяют их маршрутно-операционное описание.

*Графические* документы, содержащие изображение изделия, служат наглядной дополнительной информацией к текстовым документам для иллюстрации выполняемых действий.

К графическим документам относят эскизы на изделия или на их составные части, технологические установы и позиции, технологические схемы (кинематические, электрические, гидравлические и т.п.), графики и др.

К документам маршрутного и маршрутно-операционного описания допускается не разрабатывать эскизы, а применять соответствующие конструкторские документы, оформленные в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Совокупность технологических документов, необходимых и достаточных для выполнения технологического процесса или операции, представляет собой *комплект* документов технологического процесса (операции).

### ***1.8.2. Содержание технологических документов***

Технологический процесс изготовления изделия содержит описание действий рабочих и СТО над этим изделием с целью достижения параметров его качества, которые определены конструкторской документацией. Технологический процесс разрабатывают на основе передовых и производительных способов обработки с учетом типа производства и имеющегося оборудования. Технолог обеспечивает ограничения по качеству продукции и объему ее выпуска при минимальных затратах производственных ресурсов.

Технологический документ содержит сведения о типе и модели применяемого оборудования, последовательности операций и переходов, ба-

зах и способах установки изделий, приспособлениях и инструменте. В нем определены мероприятия по охране труда, назначены технологические режимы, рассчитаны материальные и трудовые нормативы.

Последовательность прохождения изделия по подразделениям завода при выполнении технологического процесса изготовления этого изделия представляет собой технологический *маршрут*.

Технологические документы оформляют на бланках, соответствующих типу производства и видам обработки изделий. Информацию излагают на листах стандартных форм и размеров. Предусмотрены формы с вертикальными и горизонтальными полями подшивки для описания единичных, типовых и групповых технологических процессов, выполняемых различными методами обработки.

Операционный эскиз изделия содержит его изображение, размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости, баз, опор, зажимов и установочно-зажимных устройств. Изделия на эскизах изображают с примерным соблюдением пропорций, в рабочем положении на операции. Все размеры или конструктивные элементы нумеруют арабскими цифрами. Обработываемые поверхности обводят линией двойной толщины. Номера размеров проставляют в окружности диаметром 6...8 мм и соединяют с размерной или выносной линией. Номера проставляют по часовой стрелке, начиная с левой верхней части эскиза. При этом значения размеров и предельных отклонений обрабатываемой поверхности в тексте содержания операции не указывают. Графические обозначения опор, зажимов и установочных устройств приведены в ГОСТ 3.1107-81.

Воздействия на изделие записывают в технологической последовательности операций, переходов, приемов работ и физических и химических процессов. Операции нумеруют числами ряда арифметической прогрессии (5, 10, 15 и т. д.), допускается к числам слева добавлять нули, переходы – числами натурального ряда (1, 2, 3 и т. д.), а установочные – прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т. д.). Для обозначения позиций и осей применяют римские цифры.

Технические требования к изделию оформляют по ГОСТ 2.316-68.

При изложении технологических процессов информацию вносят построчно. Для изложения технологического процесса в маршрутной карте предусмотрен ряд типов строк, каждому из которых соответствует свой служебный символ (табл. 1.6).

## Информация технологического документа, определяемая служебными символами

Служебный символ	Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке
А	Номер цеха, участка, рабочего места, номер, код и наименование операции (для форм с горизонтальным полем подшивки)
Б	Код, наименование оборудования и информация о трудозатратах (для форм с горизонтальным полем подшивки)
В	Номер цеха, участка, рабочего места, номер, код и наименование операции (для форм с вертикальным полем подшивки)
Г	Обозначение документов, применяемых для выполнения операции (для форм с вертикальным полем подшивки)
Д	Код, наименование оборудования (для форм с вертикальным полем подшивки)
Е	Информация о трудозатратах (для форм с вертикальным полем подшивки)
К	Информация по комплектации изделия (для форм с горизонтальным полем подшивки)
М	Информация о материале
О	Содержание операции
Т	Информация об оснастке
Л	Информация по комплектности изделия (для форм с вертикальным полем подшивки)
Н	Информация по комплектности изделия с указанием, откуда поступают его составные части (для форм с вертикальным полем подшивки)

Служебные символы предназначены для обработки содержания информации средствами автоматизации. Строки разделяют на графы вертикальными отрезками прямой линии длиной 0,5...1,5 мм. Для различных документов предусматривают графы разной длины, которые шифруют. Документ принимает структуру таблицы. Служебные символы и наименование графов определяют состав информации, размещенной в графах данного типа строки. В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки и выполняемые прописными буквами, например, М01, А12, и т.д. Эти символы проставляют на строках ниже граф, в которых указаны их наименования и обозначения. Информация, которую вносят в соответствующие графы документа, и последовательность заполнения этой информации для каждой операции определена ГОСТ 3.1118-82.

Применительно к обработке резанием правила оформления технологических документов изложены в ГОСТ 3.1404-86, общие требования к формам, бланкам и документам – в ГОСТ 3.1104-81, а комплектность до-

кументов – в ГОСТ 3.1119-83. Правила записи операций и переходов для обработки резанием приведены в ГОСТ 3.1702-79.

Маршрутная карта содержит сведения о всем технологическом процессе. Информацию на строках, имеющих служебный символ О, приводят в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью переноса на следующие строки. Содержание операции включает действия исполнителя, окончательные параметры изделия и его комплектующие части. В маршрутной карте название операций записывают в форме прилагательного к слову «операция» и краткое содержание работ. Операция получает название от наименования того оборудования, на котором она выполняется. Краткую запись содержания операции делают с указанием вида обработки и обрабатываемых поверхностей. Информацию на строках, имеющих служебный символ Т, приводят в следующей последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, средства измерений.

При разработке типовых и групповых технологических процессов в маршрутной карте указывают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе изделий.

Операционная карта описывает одну операцию. Применительно к механической обработке в ней указывают:

- наименование изделия и детали; вид и материал заготовки, его твердость;
- наименование и модель станка, сведения о приспособлениях;
- способ установки заготовки;
- содержание переходов с указанием режимов обработки;
- наименование режущего инструмента и средств измерений;
- машинное и вспомогательное время обработки.

Состав сведений должен быть достаточным для выполнения операции с необходимым качеством.

Запись содержания перехода включает:

- ключевое слово из рекомендуемых, характеризующее способ обработки и выраженное глаголом в неопределенной форме (например, точить, сверлить и т.д.);
- наименование обрабатываемой поверхности, конструктивных элементов или предметов производства (например, цилиндр, галтель и т. д.);
- информацию о размерах или их условных обозначениях и конструктивных элементах;

– дополнительную информацию, характеризующую количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (например, предварительно, одновременно, по копиру и т.д.).

При записи содержания операции используют полную или сокращенную форму. Полную форму записи выполняют при отсутствии графических изображений и для комплексного отражения всех действий, выполненных исполнителями. Сокращенную запись выполняют при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке.

Содержание перехода в документах приводят по всей длине строки с возможностью переноса информации на последующие строки. В записи информации о переходе не рекомендуется указывать шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Запись вспомогательных переходов выполняют в соответствии с записью основных переходов.

Данные о технологической оснастке с указанием ее наименования приводят с использованием классификаторов и стандартов на кодирование. Информацию дают в последовательности, указанной для маршрутной карты. Технологические режимы приводят после записи состава применяемой технологической оснастки.

В технологических документах для каждой операции обязательно приводят требования безопасности труда по ГОСТ 3.1120-83 со ссылками на действующие на данном предприятии инструкции по охране труда (ИОТ), соответствующие требования стандартов ССБТ, санитарные нормы и правила и другие документы. Конкретное изложение требований безопасности в документах зависит от вида опасных и вредных производственных факторов и характера их воздействия на работающих, возможности возникновения пожара или взрыва при выполнении технологического процесса от применяемых материалов, СТО и действий, выполняемых исполнителями. Указывают средства индивидуальной (респираторы, наушники, пинцеты, щипцы и др.) и коллективной (ограждения, экраны, вентиляционные устройства и др.) защиты. Сведения приводят в строках для записи технологической оснастки. Допускается текстовое изложение этих требований. Ссылки на ИОТ делают в графе строки О, следующей за наименованием операции. В карте эскизов делают дополнительные пояснения.

### **1.8.3. Оформление документов**

Технологический процесс вначале разрабатывают для изготовления изделия нового вида, а затем этот процесс совершенствуют с учетом опыта его применения и анализа, а также достижений науки и производства.

*Оформление* технологического документа включает комплекс процедур, необходимых для его подготовки и утверждения в соответствии с порядком, установленным на предприятии.

Технологическую документацию разрабатывают технологи заводского технологического (технического) отдела или цехового технологического бюро. Работа отдела или бюро планируется и подчинена технологической подготовке производства. Документацию учитывают и хранят в заводском архиве.

Технологическую документацию разрабатывают в две стадии: для опытного (литера О) и серийного производства (литера А). На первой стадии обычно разрабатывают единичный процесс маршрутного описания. Маршрутная карта является основным и обязательным документом, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности.

Маршрутное описание процесса с течением времени превращается в маршрутно-операционное или операционное. Процедура внесения изменений в технологическую документацию стандартизована.

По мере разработки и накопления технологических документов становится целесообразной технологическая унификация в виде разработки типовых, групповых или модульных процессов. В производстве нашли широкое распространение типовые технологические процессы нанесения электрохимических и наплавочных покрытий, окрашивания и сборки изделий. Технологические карты модульного технологического процесса разрабатывают по стандартам предприятия.

Технологическая документация проходит технологическую экспертизу и нормоконтроль на предмет обеспечения требований, установленных конструкторскими и нормативными документами.

На титульном листе имеется согласующая подпись начальника ОТК и утверждающая – главного инженера завода.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какими нормативными документами регламентируют содержание и формы технологических документов?
2. Какое существует описание технологических документов?
3. Как выражают требования охраны труда в технологических документах?
4. Каков порядок оформления технологических документов?

## **Практическое занятие № 6**

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ**

*Цель работы* – получить практические навыки по оформлению технологической документации.

*Индивидуальное задание:* Получить у преподавателя рабочий чертеж детали с техническими требованиями, технологический маршрут обработки детали.

*Порядок выполнения задания.* В процессе выполнения задания необходимо ознакомиться с технологическим маршрутом обработки детали.

Для выполнения задания необходимо:

- выбрать поверхности детали, для которых проводилась механическая обработка;
- выявить точность, взаимное расположение и форму, размеры, шероховатость поверхностей детали;
- привести данные о материале детали (химический состав, механические свойства);
- привести данные об операции механической обработки поверхности детали;
- привести свои соображения относительно выбора технологического оборудования, инструментов и приспособлений для обработки заданных поверхностей;
- привести данные о технологических режимах обработки;
- составить технологическую карту на операцию механической обработки;
- оформить отчет.

На карте необходимо привести: изображение детали, технологические переходы, технологическое оборудование и оснастку, применяемую СОЖ.

*Содержание отчета:* название и цель работы; анализ технологических режимов механической обработки; технологическую карту механической обработки.

## **1.9. Унификация технологических процессов**

### **1.9.1. Необходимость и содержание унификации**

Преимуществом технических решений в виде технологической *унификации* уменьшает разнообразие процессов и СТО, исключает дублирование работ в технологической подготовке производства, уменьшает ее трудоемкость и длительность, расширяет масштабы применения прогрессивных средств и процессов, реализует политику ресурсосбережения и обеспечивает гибкость производства. Основное средство технологической



унификации – это обоснование минимального числа разновидностей технологических процессов, близких по содержанию.

Существуют следующие виды технологической унификации: типовая, групповая и модульная.

### ***1.9.2. Виды технологической унификации***

Первым видом технологической унификации обработки заготовок была типовая. Разработка *типовых* процессов базируется на классификации деталей. Класс представляет собой множество деталей схожей формы, связанных общностью технологических задач. Детали одного класса обрабатывают по типовым технологическим процессам, которые характеризуются единообразием содержания и последовательности выполнения большинства технологических переходов. Типовые технологические процессы для обработки классов конструктивно подобных заготовок предложил проф. А.П. Соколовский.

Этот вид унификации получил наибольшее распространение в производстве в виде типовых технологических процессов листовой штамповки, нанесения металлических и лакокрасочных покрытий, обработки заготовок резанием и сборки.

*Групповая* обработка устанавливает одинаковые способы обработки заготовок с одинаковыми технологическими, но разными конструктивными признаками с использованием быстропереналаживаемых СТО. Групповую обработку заготовок предложил проф. С.П. Митрофанов.

Сущность *модульной* технологии заключается в создании процессов из блоков (модулей), сочетание которых определяется конкретными задачами и условиями производства. Модульная технология основана на представлении детали совокупностью геометрических модулей, под которыми понимают сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения служебной функции. Модульный принцип формирования техники разработал проф. А.Л. Васильев, а модульную технологию предложил и развил проф. Б.М. Базров.

Технологическую унификацию процессов выполняют на трех уровнях: государственном, отраслевом и предприятия.

Множества изделий, обрабатываемых с применением типовой и групповой технологий, обладают одинаковыми технологическими признаками, однако при типовой унификации это множество состоит из изделий с одинаковыми конструктивными признаками, а при групповой – с разными. Классификации и группированию изделий способствует их кодирование.

Работы по разработке типового технологического процесса начинаются с классификации изделий и количественной оценки полученных

классов. Далее выбирают изделие-представитель, в котором имеются все конструктивные элементы изделий класса. Разрабатывают маршрут изготовления типового изделия, при этом выбирают технологические базы, виды обработки и оборудование. Разрабатывают технологические операции с выбором их структуры, рациональной последовательности переходов и оснастки. Оснастка должна обеспечивать возможность обработки на ней всех изделий класса. Определяют припуски на обработку, ее режимы, материальные и трудовые нормативы. В завершение процессы согласовывают со всеми заинтересованными службами и утверждают их.

Правила разработки и применения типовых технологических процессов регламентированы ГОСТ 14.303-83. При разработке типовых или групповых процессов в маршрутной карте указывают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе изготавливаемых изделий. Переменные сведения по различным изделиям класса вводятся в технологическую документацию в виде табличных данных.

Групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления группы изделий различной формы в конкретных условиях производства в последовательности технологического маршрута на специализированных рабочих местах. При обработке группы изделий возможна подналадка СТО. Организация группового производства существенно повышает серийность производства.

Особенность образования групп обрабатываемых изделий различной формы состоит в выявлении технологического подобия изделий с учетом основных факторов организации производства. Основой разработки группового технологического процесса и выбора СТО является комплексное изделие. Его конструкция должна содержать основные, подлежащие обработке элементы изделий группы. В качестве комплексного изделия принимают: одно из изделий группы; реально существующее изделие, но отсутствующее в группе; условное изделие. Комплексное изделие может быть заменено двумя или несколькими изделиями группы.

Правила разработки групповых технологических процессов определены ГОСТ 14.316-83. Основным элементом разработки процесса является группирование изделий с его количественной оценкой и выбором комплексного изделия. Затем разрабатывают маршрут изготовления комплексного изделия, определяют количество и последовательность групповых технологических операций. Рассчитывают точность, производительность и эффективность вариантов групповых технологических процессов, определяют трудовые и материальные нормативы. В заключение разрабатывают мероприятия для реализации группового производства и оформляют документацию.

Модульный технологический процесс представляет собой ряд технологических операций изготовления одного модуля поверхностей. Каждая операция обеспечена соответствующим типовым оборудованием, приспособлениями, инструментами и средствами измерений. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне изготовления модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает производству гибкость. Основная особенность модульной специализации заключается в применении ограниченного количества модульных технологических операций к изготовлению неограниченного количества деталей.

Модульная технология позволяет внедрить поточную организацию изготовления деталей в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, становится гибким, способным в кратчайшие сроки с минимальными затратами перейти на изготовление деталей новых видов с минимальной трудоемкостью технологической подготовки производства.

Применение модульных технологий наиболее эффективно при подготовке многономенклатурного производства. Это позволяет широко использовать отдельные средства и процессы при изготовлении сложной техники. Особую актуальность это направление приобретает в настоящих условиях при отсутствии централизованного финансирования и нежелания нарождающегося бизнеса вкладывать средства в долгосрочные проекты.

Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования, реконструкция производства может выполняться поэтапно, средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового оборудования. Возможно перепрофилирование производства при его расширении, при этом уменьшаются сроки его освоения.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Обоснуйте необходимость технологической унификации. 2. Приведите преимущества и недостатки технологической унификации. 3. Приведите примеры технологической унификации в производстве. 4. Изложите суть модульных технологических процессов.

#### **ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ**

1. Роль машиностроительных предприятий в создании и обновлении парка машин;

2. Зависимость организации и оснащенности производства от объемов выпуска продукции и ее сложности (на примере предприятия, на котором Вы проходили производственную практику);

3. Влияние базирования заготовок при их обработке на производительность труда и качество продукции;
4. Современные способы обработки резанием;
5. Современные инструментальные материалы;
6. Термическая обработка в процессах изготовления деталей;
7. Упрочняющая термическая обработка;
8. Последовательность и особенности расчета технологического режима обработки заготовок резанием;
9. Порядок разработки и оформления технологической карты в операционном описании;
10. Роль технологической унификации в производстве.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ**

*Студент должен знать:*

- типы и структуру машиностроительных предприятий;
- производственный процесс предприятия и его основные технологические процессы;
- виды и особенности механической и термической обработки заготовок;
- технологическую документацию, применяемую на производстве;
- технологическую унификацию.

*Студент должен уметь:*

- определять тип производства и разрабатывать структуру современного машиностроительного предприятия и его технологическую схему;
- назначать технологические базы при обработке заготовок;
- выбирать технологическое оборудование для механической и термической обработки заготовок;
- назначать технологические режимы обработки заготовок.

### **РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА РАЗДЕЛА**

После изучения введения и первого раздела студенты пишут реферат на одну из предложенных выше тем. Знания студента оценивает преподаватель после прочтения реферата с учетом ответов на контрольные вопросы, приведенные в конце параграфов.

Для высокой оценки необходимы свободное владение материалом, доказательство важности тем и убедительный анализ связей между структурой предприятия, его технологическими процессами и их режимами, с одной стороны, и результатами работы предприятия, с другой стороны.

## 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 2.1. Содержание процесса изготовления деталей

#### 2.1.1. Классификация деталей и их элементов

Разнообразные по функциям и исполнению машины как объекты становятся однородными на уровне деталей. Анализ деталей по форме, материалам, размерам и служебному назначению показывает, что они могут быть отнесены к различным типам. Для однотипных деталей разрабатывают типовые технологические процессы изготовления. Каждому типу деталей, как правило, соответствует свой участок изготовления, работающий по типовой технологии. Этот вид унификации получил наибольшее распространение в машиностроительном производстве.

Разделение деталей на группы с одинаковыми признаками (классификация) сокращает объем технологической и организационной подготовки производства путем приведения его к типовому или модульному видам как наиболее прогрессивным в техническом и экономическом отношениях. В машиностроении широко применяют классификацию деталей проф. Ф.С. Демьянюка.

При классификации деталей используют различные признаки. Наиболее значимые из них: геометрическая форма детали и ее отдельных элементов, масса, размеры, функции, выполняемые деталью, материал, показатели точности и др. В качестве классификационных признаков чаще выбирают виды и отношения рабочих поверхностей деталей, на которых создают припуски для последующей механической обработки с сопутствующей термической обработкой. Работы по классификации деталей выполняют для конкретных ремонтных предприятий.

Основные детали, например, двигателя внутреннего сгорания (рис. 2.1) могут быть сведены в следующие группы:

1. Детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными и перпендикулярными осями, плоскими торцами и стыками, внутренними резьбами: блок цилиндров, крышка распределительных шестерен, головка цилиндров, корпус бензонасоса, картер сцепления.

2. Детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными осями, стыками, внутренними резьбами: труба впускная, крышка коробки толкателей, патрубков выпускной трубы, коллектор выпускной, кожух сцепления, картер масляный, головка бензонасоса, крышка коромысел, корпус масляного насоса, корпус водяного насоса, крышка масляного насоса, корпус карбюратора, крышка карбюратора, смесительная камера.

3. Детали – тела вращения с наружными соосными и несоосными цилиндрическими и профильными поверхностями, торцами, стыками и внутренними резьбами: вал коленчатый, вал распределительный, поршень.

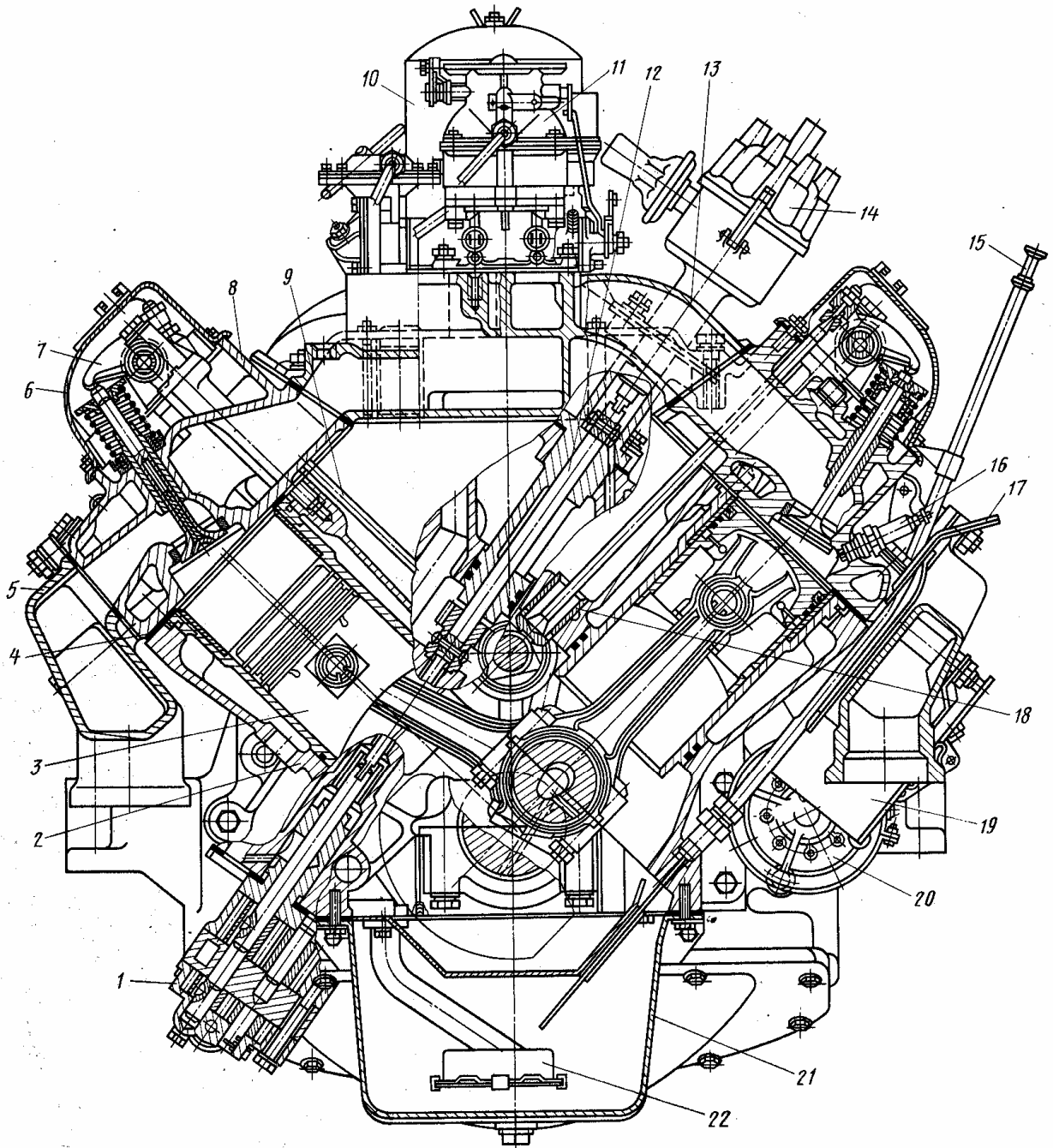


Рис. 2.1. Поперечный разрез двигателя внутреннего сгорания: 1 – масляный насос; 2 – блок цилиндров; 3 – поршень с шатуном; 4 – прокладка головки цилиндров; 5 – коллектор выпускной; 6 – крышка коробки толкателей; 7 – коромысло; 8 – головка цилиндров; 9 – штанга коромысла; 10 – фильтр очистки масла; 11 – карбюратор; 12 – валик привода распределителя; 13 – труба впускная; 14 – распределитель зажигания; 15 – указатель уровня масла; 16 – свеча зажигания; 17 – защитный щиток свечей; 18 – толкатель; 19 – щиток стартера; 20 – стартер; 21 – масляный картер; 22 – маслоприемник

4. Детали – тела вращения с наружными цилиндрическими поверхностями: поршневой палец, ось коромысел, валик водяного насоса, валик масляного насоса, плунжер масляного насоса.

5. Детали – тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями: гильза цилиндра, втулка клапана, корпус привода распределителя.

6. Детали – тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями, группами отверстий: шкив, маховик, ступица коленчатого вала.

7. Детали с ориентированными отверстиями, выполненными во втулках, торцах и стыками: шатун, стойка коромысел, коромысло.

8. Детали с цилиндрическими и сферическими поверхностями: толкатель, штанга.

9. Детали с цилиндрическими и коническими поверхностями: клапан, седло клапана.

10. Зубчатые колеса: шестерни валов коленчатого и распределительного, шестерни масляного насоса.

11. Остальные детали: шайба упорная, храповик и др.

Наибольшее количество поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания приходится на внутренние цилиндры (29,7 %). Наружные цилиндрические поверхности составляют 14,1 %, поверхности сложного профиля (конические и сферические) – 4,9 %. На резьбы внутренние и наружные приходится соответственно 11,6 и 1,7 % поверхностей. Внутренние полости трех процентов деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится 14,9 % и на стыки – 18,2 % поверхностей.

Наибольшее влияние на надежность агрегатов оказывает качество изготовления таких групп деталей:

- неподвижных: станин, корпусов, картеров, гильз;
- вращающихся: валов, дисков, зубчатых колес, кулачков, эксцентрик;
- движущихся поступательно: поршней, штоков, ползунов, клапанов;
- участвующих в преобразовании движений: рычагов, шатунов, штанг.

Около 90 % трудоемкости и себестоимости работ приходится на изготовление приведенных групп деталей. Технологии их изготовления могут быть разработаны в виде типовых. Многообразие видов объектов сокращается при переходе от деталей к их элементам и классификации последних (табл. 2.1). Элементом деталей соответствуют характерные условия работы и совокупность обеспечиваемых свойств.

Организация процессов изготовления деталей, использующая классификацию их элементов, еще больше уменьшает трудоемкость технологической подготовки производства. Технологические модули изготовления одинаковых элементов разнотипных деталей составляют технологии изготовления конкретных деталей. Ограниченное количество модульных операций изготовления элементов деталей позволяет формировать неограниченное количество технологических процессов изготовления различных деталей.

Таблица 2.1

## Основные элементы деталей, виды нагрузок и свойства

Элементы деталей			Определяющие свойства
Наименование	Виды нагрузок	Характер повреждений	
Стенки	Удары, гидростатическое давление, вибрации	Пробоины, трещины	Прочность, герметичность
Шейки	Моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	Износ, усталостные трещины	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Направляющие	Осевые силы	Износ	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Торцы трущихся	Осевые силы	Износ	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Стыки	Усилия смыкания деталей	Деформации	Плоскостность, параметры расположения
Бобышки с гладкими отверстиями	Поперечные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Отверстия резьбовые	Усилия затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Расположение, форма, размеры, шероховатость
Резьбы наружные	Усилия затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Расположение, форма, размеры, шероховатость
Конические фаски	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Зубья	Контактные нагрузки	Питинговый износ, разрушение	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Кулачки, эксцентрики	Поперечные силы	Износ	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Шлицы	Силы, нормальные к поверхностям	Износ	Износостойкость, расположение, форма, размеры, шероховатость
Упругие элементы	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры, усталостная прочность, жесткость



### 2.1.2. Схема технологического маршрута изготовления детали

Заготовки деталей поступают с участков заготовительного производства.

Заготовка превращается в деталь в результате технологических воздействий на нее исполнителей и средств технологического оснащения. Эти превращения связаны с изменением структуры материала (в т.ч. дислокационной), химического состава поверхностных слоев, внутренних напряжений в них, а также значений геометрических параметров.

Технологические воздействия на изготавливаемую деталь образуют в дальнейшем такие блоки операций: размерную и структурную стабилизацию элементов в виде предварительной термической обработки; черновую обработку резанием, термическую (химико-термическую) обработку; чистовую обработку резанием; поверхностное пластическое деформирование; отделку; уравнивание; очистку от технологических загрязнений; контроль и консервацию.

Качество деталей определяют следующие показатели: химический и структурный состав (следовательно, и твердость) материала поверхностных слоев элементов деталей, участвующих в трении; взаимное расположение и форма элементов; линейные и угловые размеры; шероховатость рабочих поверхностей; прочность элементов, воспринимающих статические нагрузки; усталостная (циклическая) прочность; жесткость; герметичность стенок; масса и ее распределение относительно осей вращения и инерции; коррозионная стойкость; чистота поверхностей. Значения этих показателей регламентированы чертежами деталей. Эти значения являются ограничениями, которые в свою очередь обеспечивают установленную долговечность агрегатов, собранных из изготовленных деталей.

При выполнении технологического процесса требуемые значения параметров достигают путем последовательного уточнения применением более точных способов обработки. *Уточнение  $\varepsilon$*  значения отдельного геометрического параметра обработки определяют отношением

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{и.з}}{\Delta_{о.з}}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta_{и.з}$  и  $\Delta_{о.з}$  – погрешности параметра исходной и обработанной заготовок, соответственно.

Износостойкость трущихся поверхностей обеспечивают получением необходимого состава поверхностного слоя, термической обработкой, поверхностным пластическим деформированием и обработкой резанием. Необходимые химический состав материала поверхностного слоя и его структуру достигают модификацией поверхности или нанесением покры-

тий из соответствующих материалов в защитных или активных средах в заданных температурных условиях. Большое значение при этом имеет последующая термическая обработка. Вид и свойства поверхностного слоя должны быть совместимы со способом его обработки.

Считалось, что качество поверхностей деталей обеспечивается на последних операциях. Однако объективно предположить, что свойства детали формируются в течение всего процесса ее изготовления. Но одни из них сохраняются и передаются от операции к операции, а другие не передаются. Это относится как к положительным, так и к отрицательным свойствам изготавливаемых деталей.

Очередность технологических операций в процессе изготовления детали подчинена накоплению и усилению необходимых свойств детали под влиянием вложенных материалов и энергии в заготовку. Перед нежелательными свойствами ставятся технологические «барьеры». Явление технологической *наследственности* выражается влиянием предшествующих операций на конечные свойства изготавливаемых деталей. Первые операции обычно влияют на эти свойства слабее, чем заключительные.

Однотипные операции (термическую и механическую обработку и др.) при обеспечении различных свойств детали объединяют в блоки операций и выполняют вместе. Все технологические операции, связанные с вложением тепла в материал детали, объединяют в одной части технологического процесса и отделяют от последующих операций термической обработкой. Эта операция после нанесения покрытия служит технологическим «барьером» для внутренних напряжений, роста зерна материала и деформации детали.

За взаимное расположение и форму поверхностей в наибольшей степени отвечают первые операции обработки резанием, за размеры и шероховатость – последние, за износостойкость – материалы, операции термической обработки, за усталостную прочность и жесткость – термические операции и поверхностное пластическое деформирование. Технологическая наследственность по шероховатости поверхности, например, проявляется на операциях предварительной и черновой обработки, на заключительных операциях копирование исходной шероховатости угасает. Параметры расположения и формы поверхностей наследуются значительно.

При черновой механической обработке снимают основную часть операционного припуска. Если условно разделить эту операцию на две части, то вначале обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а затем – форму ее геометрических элементов. Параметры расположения поверхностей детали обеспечивают ее базированием (ориентированием относительно движения подачи), при этом вначале добива-

ются точности углового расположения поверхностей, а затем – точности расстояний. Это объясняется тем, что точность относительного поворота поверхностей обеспечивают методами взаимозаменяемости, что практически исключает возможность последующей коррекции, а точность расстояний – методами регулирования, при котором возможна компенсация отклонений. Форму геометрических элементов обеспечивают ориентированием заготовки относительно направления главного движения, прямолинейностью направляющих станка и его жесткостью. Черновая обработка обеспечивает равномерный по толщине припуск на последующую обработку. Черновая обработка обычно лезвийная, она выполняется на токарных, расточных, фрезерных и строгальных станках. Реже она бывает абразивной.

Точность взаимного расположения поверхностей обеспечивают выбором технологических баз и ориентированием детали относительно движущегося инструмента, а точность формы – жесткостью и точностью оборудования, выбором инструмента и режимов обработки. Взаимное расположение шеек валов может быть уточнено и пластическим деформированием их материала путем правки.

В результате чистовой обработки достигают заданную точность размеров и шероховатость поверхностей, близкую к нормативной. Чистовая обработка для шеек валов – это, в большинстве случаев, абразивная обработка, а для отверстий – тонкое растачивание и хонингование.

Назначение отделочных операций (полирования, суперфиниширования, хонингования и др.) заключается в снятии разупроченного слоя в результате обработки резанием и обеспечении требуемой шероховатости поверхностей.

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

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

Герметичность стенок детали контролируют подачей в ее замкнутый объем сжатого воздуха и помещением ее в воду. Выходящие пузырьки воздуха укажут место и размер течи. Течи устраняют сваркой или пропиткой трещин герметизирующими составами.

Коррозионную стойкость детали обеспечивают нанесением защитных покрытий (металлических или лакокрасочных).

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

Операция контроля заключается в установлении соответствия параметров детали требованиям технической документации (чертежа или карты технического контроля). Контрольная операция оснащена средствами для измерения геометрических параметров, механических характеристик и др. По результатам контроля принимают решение о годности детали.

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

Таким образом, процесс изготовления деталей включает операции получения заготовок с припуском на обработку, термической и механической обработки, поверхностного или объемного пластического деформирования, обеспечения значения массы, уравнивания, нанесения защитных покрытий, контроля и консервации.

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

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью классифицируют детали машин и их элементы? 2. Какова последовательность операций при изготовлении детали? 3. Определите роль технологической наследственности свойств при изготовлении деталей. 4. Какие средства применяют при контроле деталей?

## 2.2. Изготовление корпусных деталей

### 2.2.1. Служебное назначение, материал, устройство и классификация

*Корпусные* детали – это базовые изделия, на которые устанавливаются при сборке сборочные единицы и детали (в том числе подвижные) с необходимой точностью относительного положения (линейного и углового). Корпусные детали ориентируют движущиеся детали агрегата при его работе. Точное относительное положение деталей агрегата в корпусной детали обеспечивают как в неподвижном (статическом) состоянии агрегата, так и в подвижном (динамическом) состоянии с плавным ходом и без вибраций.

К корпусным деталям относят станины, блоки и головки цилиндров, картеры сцеплений, крышки распределительных шестерен, корпуса редукторов, масляных и водяных насосов и др. Материал корпусных деталей, полученных из отливок, – серый чугун (СЧ18, -21, -24), ковкий чугун (КЧ45, -45), высокопрочный чугун (ВЧ50, -70) алюминиевый (АЛ4) или цинковый (ЦАМ) сплавы. Наиболее распространен первый вид материала. Материал корпусных деталей, работающих в агрессивных средах, содержит до 15 % Si или свыше 13 % Cr. Заготовки корпусных деталей получают литьем или сваркой. Чаще применяют отливки, а сварные заготовки из листового и круглого проката получают в единичном и мелкосерийном производстве. При литье чугунных отливок применяют песчаные формы, оболочковые формы по выплавляемым или выжигаемым моделям. Отливки из цветных металлов получают в кокилях (без давления) или пресс-формах (под давлением).

Сборку агрегата начинают с установки корпусной детали на опоры сборочного станда. Далее устанавливают сборочные единицы и комплектующие детали, используют крепежные детали. Это учитывают при конструировании корпусной детали.

Условия работы корпусных деталей:

- большие усилия и давление в соединениях с другими деталями;
- вибрации опор и стенок от неуравновешенности агрегата;
- выделение тепла в трущихся парах, приводимое к повышению температуры детали.

Отличительные признаки корпусных деталей:

- коробчатая форма, необходимая для образования закрытого рабочего объема для размещения различных механизмов агрегата и запаса масла;
- жесткие стенки толщиной 3...20 мм, подверженные статическим и динамическим нагрузкам с ребрами, приливами и бобышками, в которых

выполнены гладкие и резьбовые отверстия или прямолинейные направляющие, внутренние перегородки;

- наличие длинных отверстий, выполненных в собранных деталях (в том числе из разных материалов), когда плоскость соединения проходит через ось отверстий;

- наличие стыковых плоскостей;

- наличие большого числа резьбовых отверстий для соединения частей детали между собой и присоединению люков, крышек, фланцев и др.;

- высокая точность размеров, формы и расположения основных цилиндрических и плоских поверхностей.

В корпусных деталях обеспечивают прочность и сплошность материала стенок, геометрическую точность и взаимное расположение геометрических элементов.

Наиболее сложная в технологическом отношении корпусная деталь двигателя – это блок цилиндров, который на операциях изготовления собирается с крышками коренных подшипников и картером сцепления. Эта сборочная единица не разукomплектовывается при эксплуатации и ремонте. Точность размеров, формы и расположения стыковых поверхностей и отверстий оказывают решающее влияние на долговечность отремонтированного агрегата, поэтому эти показатели имеют жесткие значения. Так, например (рис. 2.2), показатели, определяющие надежность подшипников коленчатого и распределительного валов, имеют такие значения. Допуски на размеры отверстий соответствует 5 или 6 квалитету точности. Точность других параметров (ГОСТ 24643-81) определяется такими значениями: суммарный допуск круглости и профиля продольного сечения отверстий – 6 или 7 степень; параллельность общей оси подшипников распределительного вала относительно крайних отверстий в коренных опорах – 8 или 9 степень, соосность средней коренной опоры относительно крайних – 5 или 6 степень. Шероховатость обработанных отверстий  $Ra$  0,63 мкм.

По служебному назначению и конструктивному исполнению корпусные детали делят на группы:

- станины, столы, суппорты, ползуны с плоскими направляющими;

- блок-картеры двигателей, компрессоров и насосов с направляющими цилиндрическими поверхностями и поверхностями под подшипники скольжения;

- корпуса редукторов с отверстиями под подшипники качения;

- корпуса центробежных насосов, турбин, задвижек с лекальными рабочими поверхностями и отверстиями под подшипники.

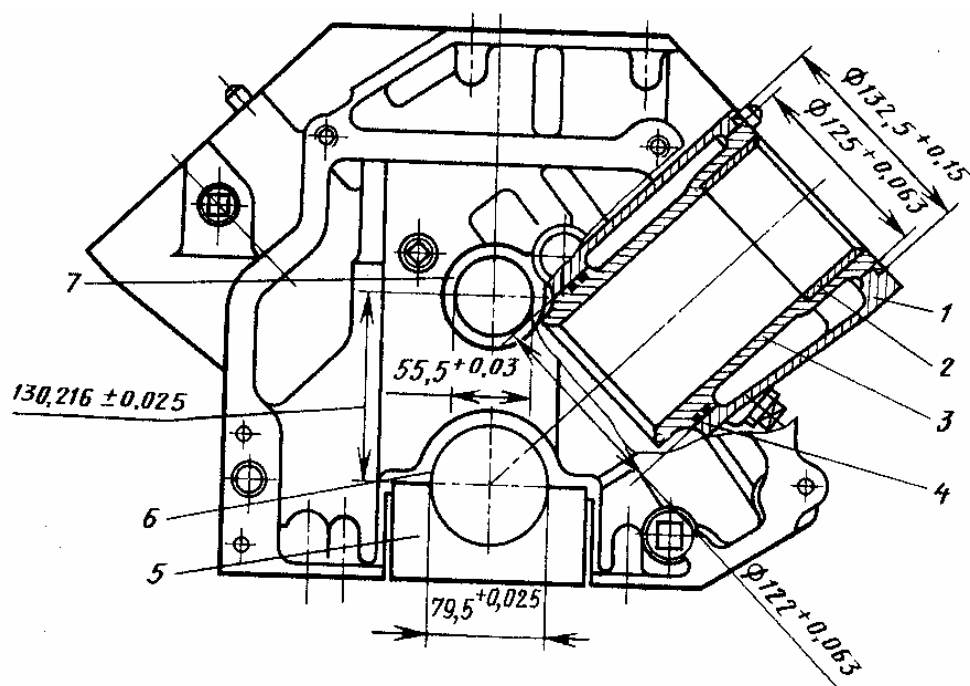


Рис. 2.2. Корпусная сборочная единица «блок цилиндров с гильзами и втулками» двигателя внутреннего сгорания с рабочим объемом 5,5 л: 1 – блок цилиндров; 2 – вставка гильзы; 3 – гильза цилиндра; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – крышка коренного подшипника; 6 – поверхность коренной опоры; 7 – втулка распределительного вала

### 2.2.2. Технологический маршрут изготовления

Схема технологического процесса изготовления корпусной детали следующая:

- обработка баз;
- черновая обработка плоских поверхностей и основных отверстий;
- чистовая обработка плоских поверхностей;
- смена баз;
- сверление резьбовых, крепежных и базовых отверстий;
- нарезание резьбы;
- сборка и образование сборочной единицы с крышками и вспомогательными картерами;
- чистовая обработка и отделка основных отверстий;
- очистка от технологических загрязнений;
- контроль.

Как правило, корпусную деталь невозможно обработать от одних и тех же технологических баз. Их выбор предполагает анализ функций детали, служебного назначения и размерных связей между основными поверхностями. Вначале получают временные базы, а в качестве первых баз выбирают основные функциональные поверхности (направляющие станин и

суппортов, поверхности отверстий цилиндров и др.). Первые базы обеспечивают снятие припуска минимальной толщины с основных поверхностей.

При обработке большинства корпусных деталей происходит смена баз. В качестве новых баз применяют плоскую поверхность наибольших размеров и поверхности двух отверстий, расположенных на диагонали указанной плоскости на наибольшем расстоянии друг от друга, причем оси этих отверстий перпендикулярны приведенной плоскости.

*Черновая* обработка плоских поверхностей – это их фрезерование, строгание, протягивание и точение, а основных отверстий и их элементов – фрезерование, точение, протягивание, зенкерование и растачивание. Наиболее распространено фрезерование и зенкерование поверхностей. Фрезерование на барабанно-фрезерных станках одновременно двух параллельных поверхностей обеспечивает наибольшую производительность обработки. Поверхности строгают в единичном и мелкосерийном производстве. Растачиванием отверстий можно снимать большой неравномерный припуск несколькими резцами одновременно в литых заготовках.

Затем следуют ряд операций, связанных с *чистой* обработкой плоских поверхностей и базовых отверстий. Некоторые из обработанных элементов станут новыми технологическими базами. Для обработки базовых отверстий применяют сверление, зенкерование и развертывание).

Корпусная деталь содержит десятки или сотни резьбовых или гладких крепежных отверстий. В некоторых деталях имеются масляные каналы. Соответствующие операции выполняют на вертикально- или радиально-сверлильных станках (в единичном и серийном производстве) в приспособлениях с кондукторными плитами или на агрегатных многошпиндельных станках (в массовом производстве). Для уменьшения увода оси отверстий сверление выполняют в два или три перехода. На этом оборудовании также нарезают резьбу с принудительной осевой подачей инструмента, равной шагу резьбы.

Затем собирают деталь с крышками и другими деталями и образуют сборочную единицу, в которой предусмотрены отверстия под подшипники. Соответствующие резьбовые соединения собирают с применением нормированного момента затяжки.

В блоке цилиндров двигателя, например, опоры коренных подшипников представляют собой точное прерывистое по длине отверстие, выполненное одновременно как в блоке цилиндров, так и в привинченных крышках.

Основные обрабатываемые элементы корпусной детали в этой части процесса – это плоские поверхности и поверхности отверстий под под-



шипники. Обработка этих элементов – наиболее ответственная часть процесса обработки детали. Чистовая обработка плоскостей – это шлифование, а отверстий – растачивание, шлифование и хонингование.

В ряде случаев перед шлифованием плоских поверхностей для повышения их износостойкости ведут поверхностную закалку ТВЧ.

*Растачивание* отверстий – универсальная операция, применяемая в производстве любых типов. Растачивание лучше, чем какой-либо другой способ, обеспечивает прямолинейность обрабатываемого отверстия и более высокую точность его расположения относительно базы. Достигаются точность размеров до 6 качества, погрешности формы до 12 мкм (при обработке отверстий диаметром 50...120 мм) и параметр шероховатости *Ra* до 2,5 мкм. С помощью борштанги можно растачивать прерывистые отверстия несколькими резцами, поочередно вступающими в работу. Развертывание после зенкерования и точения применяют в мелкосерийном производстве.

*Развертыванием* невозможно исправить положение оси обрабатываемого отверстия. Внутреннее *планетарное шлифование* применяют для обработки отверстий свыше 100 мм. В процессе обработки шлифовальный круг вращается вокруг своей оси и совершает планетарное движение относительно оси обрабатываемого отверстия. Продольная подача происходит путем перемещения стола с заготовкой, а поперечная – путем перемещения круга в радиальном направлении.

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

Контрольные операции в конце процесса изготовления состоят из проверки чистоты детали, ее герметичности, размеров геометрических элементов и их взаимного расположения, шероховатости поверхностей. Размеры отверстий контролируют индикаторными нутромерами, а шероховатость – профилометрами. Взаимное расположение поверхностей измеряют индикаторными средствами. Особое внимание уделяют чистоте и герметичности масляных каналов. Герметичность каналов и стенок детали проверяют на стенде.

## Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификационные признаки корпусных деталей. 2. Какова последовательность операций при изготовлении корпусной детали? 3. Какое оборудование применяют для обработки точных отверстий? 4. Какими параметрами регламентируют обработку отверстий хонингованием?

## 2.3. Изготовление валов

### 2.3.1. Общие сведения о валах

Валы служат в машинах для передачи момента и преобразования движений (вращательного во вращательное, вращательного в поступательное или наоборот). Наиболее сложные детали этого класса – это коленчатые (рис. 2.3) и распределительные валы. Детали имеют такие конструктивные элементы: шейки с галтелями, кривошипные кулачки, зубья, шлицы, шпоночные пазы, торцы, стыки и отверстия.

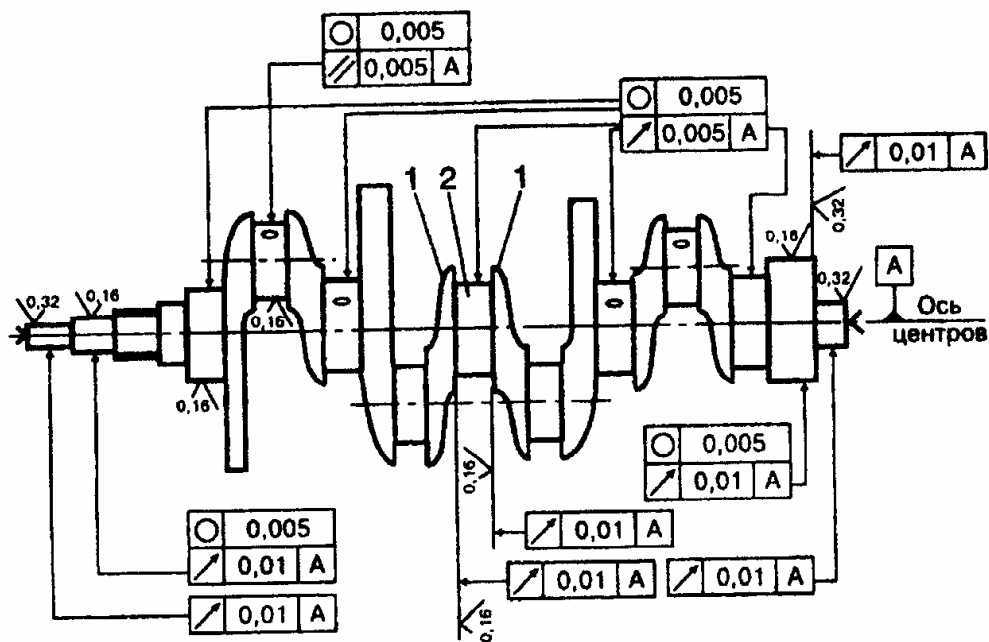


Рис. 2.3. Схема и основные требования к качеству и расположению поверхностей коленчатого вала: 1 – щека, 2 – шейка

Оси в отличие от валов не передают крутящие моменты и нагружены только поперечными силами и изгибающими моментами. Оси имеют часть перечисленных конструктивных элементов, принадлежащих валам.

Валы изготавливают из конструкционных углеродистых улучшаемых (стали 45, 40Г, 50Г и др.) и цементуемых (стали 20, 20Г и др.) или конструкционных легированных (18ХНВА, 38ХМ, 38ХМЮА, 40ХН и др.)

сталей или высокопрочного чугуна (ВЧ50, ВЧ70). Шейки и кулачки валов закаливают ТВЧ на глубину 1,5...3,5 мм до твердости 36...60 HRC.

В качестве заготовок валов в единичном и мелкосерийном производстве применяют отрезанные прутки. Из них изготавливают валы с небольшим числом ступеней и незначительной разницей их диаметров. При увеличении объемов выпуска, а также при изготовлении валов сложной формы и с большой разницей диаметров ступеней применяют заготовки, полученные способами пластического деформирования (ковкой, штамповкой). Коэффициент использования материала в последнем случае достигает 0,95. Штучную заготовку из прутка целесообразно заменять штампованной, если указанный коэффициент повышается не менее чем на 5 %.

У деталей обеспечивают расположение, форму, размеры, шероховатость и усталостную прочность элементов и износостойкость трущихся поверхностей. При изготовлении осей нет необходимости обеспечивать усталостную прочность элементов.

Точность обработки шеек и кулачков 5...7 квалитет, шероховатость поверхностей  $Ra$  0,32...0,63 мкм, точность углового расположения кулачков и кривошипов  $\pm 7,5'$ , допуск на радиус кривошипов +0,05 мм, биение средних шеек относительно крайних до 0,02 мм.

### ***2.3.2. Технологический маршрут обработки валов***

Последовательность технологических операций изготовления деталей следующая:

- термическая обработка (улучшение);
- подрезка торцов и выполнение центровых отверстий;
- черновая обработка резанием;
- закалка шеек ТВЧ;
- правка;
- обработка зубьев, шлицев, пазов и отверстий;
- чистовая обработка резанием;
- упрочнение шеек и галтелей;
- отделка шеек;
- балансировка;
- очистка от технологических загрязнений;
- контроль.

Улучшение (закалка с высоким отпусканием) для среднеуглеродистых сталей обеспечивает приближение их структуры к равновесному состоянию и получение грубозернистой феррито-цементитной смеси (сорбит),

имеющей достаточные прочностные свойства, высокую ударную вязкость и наилучшую обрабатываемость резанием.

Первая операция механической обработки валов – это подрезка торцов и получение центровых отверстий с базированием заготовки по необработанным крайним шейкам. Операцию выполняют на универсальных токарных или фрезерно-центровальных станках.

Наружные поверхности ступенчатых валов обтачивают на токарных (в том числе с ЧПУ), токарно-копировальных многолезцовых станках и полуавтоматах, одношпиндельных и многошпиндельных автоматах. Канавки и галтели прорезают резцами, расположенными на поперечных суппортах. На большинстве операций в качестве технологических баз применяют центровые отверстия.

После черновой обработки ведут упрочняющую термическую (химико-термическую) обработку. Термическая обработка чаще представляет собой закалку трущихся шеек ТВЧ. Трущиеся элементы ответственных деталей могут проходить цементацию или азотирование с последующей закалкой и отпуском. Виды химико-термической обработки согласуют с материалом заготовки.

Правка заготовки необходима для придания прямолинейности ее оси, что в свою очередь позволяет уменьшить величину припусков на обработку и дисбаланс детали. Стальные валы правят под прессом с приложением статической нагрузки. Чугунные валы правят с нагревом или созданием преимущественно сжимающих напряжений в объеме одной шейки (поэлементная правка). Для исключения трещин при правке статической нагрузкой целесообразна правка наклепом – нанесением ударов клепальным молотком по поверхностям щек.

Установки 01.01.112 и 05.12.226 «Ремдеталь» для правки, соответственно, колечатых и распределительных валов обеспечивают точность 0,02 мм. Последняя установка позволяет осуществлять правку в автоматическом режиме.

Зубчатые венцы обрабатывают на зубодолбежных или зубофрезерных станках. Шпоночные пазы получают обработкой на фрезерных станках пальцевыми и дисковыми фрезами в приспособлениях. Осевые отверстия получают на токарных и вертикально-сверлильных станках, а радиальные или наклонные отверстия – на радиально-сверлильных. Эвольвентные шлицы можно получить на зубофрезерных станках с последующим шлифованием. Прямобоочные шлицы нарезают фрезерованием, строганием, протягиванием и холодным накатыванием. Последний способ обеспечивает наибольшую прочность шлицев.

В качестве технологических баз у распределительных валов используют центровые отверстия и боковую поверхность шпоночного паза, а у коленчатых валов при обработке шатунных шеек – дополнительно коренные шейки.

Шейки валов шлифуют на универсальных (ЗМ151), специализированных (ЗВ423) и специальных станках. Недостатком обработки на станках первых двух видов является односторонний привод заготовки со стороны передней бабки, что приводит к ее деформации во время обработки. Этот недостаток устранен в специальных станках ХШ 2-01 и ХШ 2-16 с двухсторонним приводом обрабатываемого вала со стороны передней и задней бабок. Последние станки обеспечивают равномерную подачу шлифовальной бабки на деталь. Нецилиндричность поверхности до 0,005 мм достигается выхаживанием детали в течение 5...7 ее последних оборотов.

Уменьшение конусообразности, овальности и седлообразности шеек коленчатого вала с 0,01 до 0,006 мм повышает срок службы вкладышей в 2,5...4,0 раза. Повышение точности поверхностей деталей достигается применением средств активного контроля в процессе обработки. В условиях ремонтного производства используют эти средства для деталей типа вал на шлифовальных станках, оснащенных механическими, пневматическими или индуктивными приборами. На рис. 2.4 показана скоба для измерения диаметра шеек вала при их шлифовании.

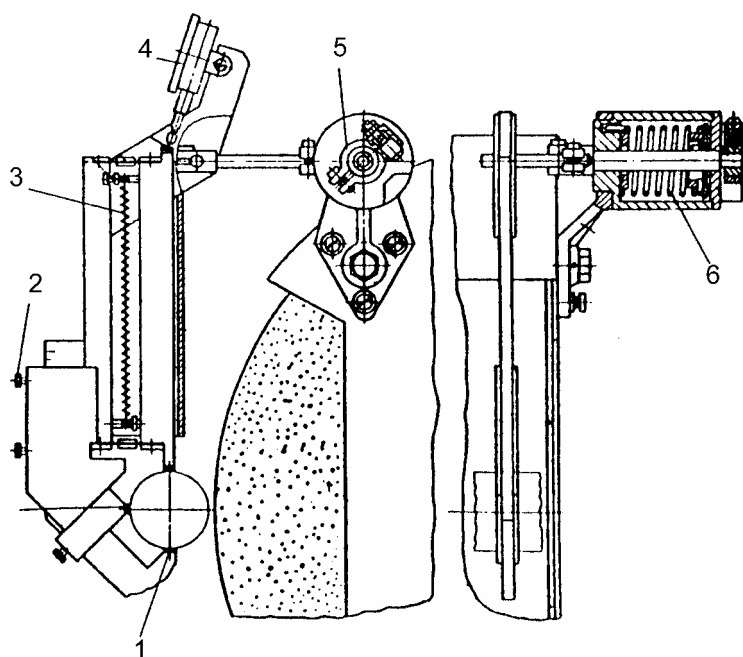


Рис. 2.4. Скоба для измерения диаметра шеек валов при их шлифовании: 1 – опоры детали; 2 – винт; 3 – пружина; 4 – головка индикаторная; 5 – опора; 6 – пружина

Скобу устанавливают на кожухе шлифовального круга с помощью кронштейна. Устройство ориентируют относительно обрабатываемой детали с помощью опор 1 из твердого сплава. Измерительное перемещение от детали передается посредством штанги с твердосплавными наконечниками к стержню индикаторной головки 4 с ценой деления 0,001 мм. Измерительное усилие значением 4...5 кН создается пружиной 3. Усилие прижима неподвижных наконечников обеспечивается пружиной 6. Скобу устанавливают напротив середины шлифовального круга, это положение регулируют с помощью опоры 5. Ослабив болт 2, регулируют размер между опорными элементами скобы на размер обработки. Шейки обрабатывают при положении скобы, установленной на обрабатываемую деталь. Диаметр шейки измеряют в процессе обработки без остановки станка.

Кулачки распределительного вала шлифуют на специальном копировально-шлифовальном станке 3М433У. Установочно-копирная наладка изготавливается отдельно для каждого типоразмера детали. Угловое перемещение заготовки относительно оси ее вращения перед шлифованием кулачков производят с помощью делителя, который установлен на шейке под шестерню и ориентирован шпонкой в пазу.

Усталостную прочность обеспечивают поверхностным пластическим деформированием. Операция предусматривает создание остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, в котором уничтожаются субмикроскопические трещины, являющиеся возможными источниками усталостного разрушения.

Заключительные операции обработки резанием (суперфиниширование и полирование) служат для удаления разупрочненного на предыдущих операциях тонкого слоя и достижения необходимой шероховатости поверхности. На полирование шеек оставляют припуск 0,005 мм. Для полирования шеек, например, коленчатых валов, применяют станки типа 3875 или специальные станки СШ-4516. В качестве инструмента используют шлифовальные шкурки на тканевой основе 0,2 Э 600×30 УГТ 23А М50-Н СФ Ж А ГОСТ 13344-79. При отсутствии специального полировального оборудования применяют ленточно-полировальные головки, которые устанавливают на шлифовальные станки, или изготавливают собственными силами станки с войлочными кругами или жимками. В последнем случае в качестве абразивного материала служит абразивная паста.

Усталостную прочность шеек валов повышают наклепом за счет поверхностного пластического деформирования: обкатыванием и алмазным выглаживанием.

Наибольшее применение получило обкатывание роликами.

Предел выносливости коленчатого вала двигателя Д-50 повышается в 1,57...1,67 раза в результате обкатывания галтелей профильным подпружиненным роликом, изготовленным из твердого сплава Т15К6. Усилие упругости составляет 7,5...11,0 кН, ось ролика составляет с осью детали угол 36°.

Алмазное выглаживание придает поверхностям высокие износостойкость и усталостную прочность. С увеличением силы выглаживания высота микронеровностей уменьшается до определенного предела, а затем может несколько возрасти за счет перенаклепа поверхности и ее разрушения. Усталостная прочность при этом повышается более чем в два раза.

Изготовленный вал должен быть статически и динамически сбалансирован. При балансировке определяют амплитуду и фазу колебаний последовательно двух опор вращающегося вала на балансировочных станках моделей, например, БМ-4У, КИ-4274, МС-9716 или фирмы Schenk (Германия). В каждой из двух плоскостей коррекции высверливают металл, масса которого пропорциональна измеренной амплитуде колебаний соответствующей опоры заготовки.

В заключение контролируют следующие параметры деталей: твердость трущихся поверхностей; размеры (диаметр и длину) шеек и шероховатость их поверхностей; диаметры фланца и отверстий под болты и подшипник; длины от базового торца до торцов шеек; ширину шпоночных пазов; биения всех соосных цилиндрических поверхностей относительно крайних шеек; радиусы кривошипов; угловое расположение всех кривошипов и кулачков относительно шпоночного паза.

Параметры расположения измеряют на индикаторных приборах собственного изготовления, остальные параметры – универсальными средствами или калибрами.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите назначение и требования к изготовлению валов. 2. С чего начинается обработка вала? 3. Каким образом обеспечивают усталостную прочность вала при его изготовлении? 4. Какими параметрами расположения регламентируют качество изготовления вала и как их измеряют?

## **2.4. Изготовление гильз и дисков**

### **2.4.1 Заготовки, материалы, технические требования**

Распространенный материал вставных гильз цилиндров (рис. 2.5) – серый СЧ24 или износостойкий чугун ИЧГ-33М твердостью 197...241 НВ. Возможно применение гильз цилиндров со вставками в верхней их части из нирезистового чугуна, содержащего 16...17 % Ni, 7,8...8,5 % Cu и 1,8...2,2 % Cr. Наибольшему изнашиванию подвержено зеркало цилиндра

в его верхней части. Диаметр отверстия в гильзе цилиндра обрабатывают по 6...7 квалитетам с шероховатостью  $Ra$  0,32...0,16 мкм. Предусматривают сортировку гильз на размерные группы диаметра отверстия, при этом допуск размера уменьшают до 0,010...0,012 мм. Однако групповая взаимозаменяемость деталей обуславливает высокие требования к форме их элементов, образующих соединения. Погрешности формы в этом случае составляют долю допуска на размер детали, входящей в размерную группу, а не долю допуска на изготовление детали. Биение центрирующих поясков и стыков относительно поверхности отверстия 0,03...0,08 мм.

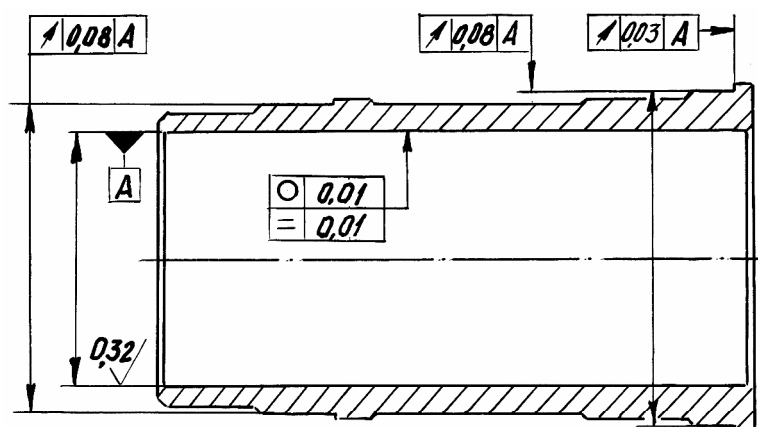


Рис. 2.5. Гильза цилиндра (размерными линиями указаны контролируемые размеры)

Заготовка гильзы цилиндра – штучная отливка.

Детали типа дисков – это тела вращения с малым отношением длины к диаметру (1/8 и менее). К деталям этого типа относят, например, маховики и шкивы. Детали первого вида наиболее сложные.

Процесс изготовления деталей рассмотрим на примере обработки маховиков. Материал маховика – чугун серый СЧ18 твердостью НВ 170...229. Основная конструкторская база – поверхность отверстия и плоский торец, обработанные с точностью 6...7 квалитета до шероховатости  $Ra$  2,5...1,25 мкм. Рабочие трущиеся поверхности обработаны до шероховатости  $Ra$  0,32...0,16 мкм, их торцовое биение не более 0,08 мм на радиусе до 150 мм, плоскостность до 0,05 мм. Маховики и шкивы проходят статическую балансировку, допустимый дисбаланс до 20 г·см.

#### 2.4.2. Технологические маршруты обработки

Технологический процесс изготовления гильзы цилиндра автомобильного двигателя включает такие операции:

– точение центрирующих поясков и подрезка торца (станки-полуавтоматы 1А730, 1Н713, НТ309);



- зенкерование отверстия на четырехшпиндельном станке 8А676;
- копирное точение наружной поверхности, прорезание канавок и подрезка второго торца на станке 1А730;
- испытание гильзы на герметичность водой, нагретой до температуры 80...90 °С, под давлением 0,4 МПа на стенде;
- черновое растачивание отверстия (специальные станки ОС419, ОС3700 шестишпиндельный);
- чистовое точение;
- чистовое растачивание;
- предварительное хонингование на специальном двухшпиндельном шестипозиционном станке СС429;
- предварительное шлифование поясков на станке ХШ1-01;
- точение фасок и канавок на станке 1А730;
- окончательное хонингование на станке 3М83;
- окончательное шлифование поясков;
- очистка от технологических загрязнений;
- контроль.

Механическая обработка зеркала гильзы состоит из растачивания и хонингования.

Гильзу цилиндра растачивают резцами с пластинками из твердого сплава ВК-3 или ВК-6 при частоте вращения шпинделя  $300 \text{ мин}^{-1}$  и его подаче 0,1 мм/об. СОЖ – Аквол-11. Производительность обработки повышается, а шероховатость поверхности уменьшается за счет применения инструмента из сверхтвердых материалов, например, эльбора-Р при частоте вращения шпинделя  $750 \text{ мин}^{-1}$  или гексанита-Р при  $1200 \text{ мин}^{-1}$ . При обработке заготовок инструментом из сверхтвердых материалов СОЖ не применяют.

Заготовки при обработке закрепляют в пневматических приспособлениях. Перпендикулярность оси зеркала гильзы и допустимое биение ее центрирующего пояска относительно зеркала цилиндра обеспечивают базированием и обработкой.

Плосковершинное хонингование гильз цилиндров состоит в том, что два перехода обработки обеспечивают микропрофиль поверхности с впадинами-рисками и чередующимися площадками. Впадины-риски получают в первом переходе при использовании брусков с искусственными алмазами АСК зернистостью 250/160 или 200/160 на металлической связке. Глубина впадин составляет 7...10 мкм. Во втором переходе применяют бруски с алмазами АСО зернистостью 28/20 или 20/14 на металлической связке М1. Шероховатость опорной поверхности между рисками составляет  $Ra 0,32 \text{ мкм}$ .

Средство активного контроля размера отверстия при хонинговании (рис. 2.6) в своем составе имеет жесткий калибр 1. Этот калибр движется вместе с хонинговальной головкой и при достижении диаметром обрабатываемого отверстия заданного значения входит в него и вызывает срабатывание электроконтактного преобразователя 2, который выдает сигнал на прекращение обработки.

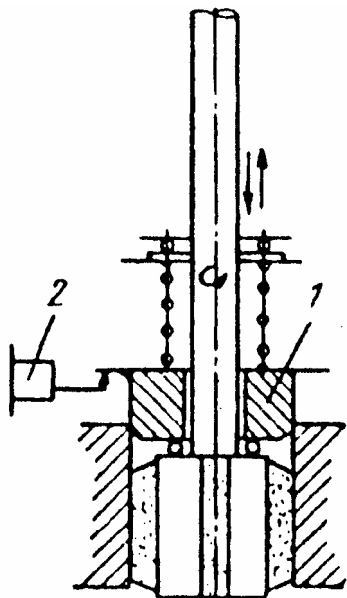


Рис. 2.6. Схема устройства для контроля размеров при хонинговании: 1 – жесткий калибр; 2 – электроконтактный преобразователь

Приработочный износ гильз уменьшается в 3 раза при внедрении антифрикционного хонингования. Оно заключается в том, что после двух операций хонингования (чернового и чистового) поверхность обрабатывают брусками, содержащими приработочные антифрикционные материалы (графит, дисульфид молибдена). Для закрепления покрытия на зеркале цилиндра в зону обработки вводят порцию водорастворимого полимера «Композит-81» через отверстия хонинговальной головки.

На контрольной операции перспективно применение пневматических длинномеров для измерения внутреннего диаметра гильз цилиндров и сортировки их на размерные группы.

Технологический процесс изготовления маховика следующий:

– обработка заготовки с одной стороны на токарном шестишпиндельном токарном полуавтомате 1Б284. В качестве технологических баз приняты торцовая поверхность и необрабатываемая внутренняя цилиндрическая поверхность. Распределение работ по позициям следующее: I – точение наружной цилиндрической поверхности и растачивание углубления; II – черновая подрезка рабочей поверхности; III – точение поверхности отверстия; IV – подрезка поверхности под торцы гаек; V – чистовая подрезка рабочей поверхности; VI – вспомогательная позиция для установки и снятия заготовки;

– обработка заготовки с другой стороны на токарном шестишпиндельном токарном полуавтомате 1Б284. В качестве технологических баз приняты торцовая рабочая поверхность и наружная цилиндрическая поверхность. Распределение работ по позициям следующее: I – подрезка торцов; II – черновое точение поверхности под венец; III – чистовое точение поверхности под венец; IV – черновое растачивание поверхности под фла-

нец коленчатого вала; V – чистовое растачивание поверхности под фланец коленчатого вала; VI – вспомогательная позиция для установки и снятия заготовки. Чистовую подрезку торца ведут от центра к периферии (для уменьшения выпуклости);

– сверление на агрегатном станке 4-х отверстий под болты коленчатого вала, 6-ти отверстий под болты сцепления и метки на ободке для установки зажигания, нарезание резьбы в 6-ти отверстиях;

– шлифование торцевой рабочей поверхности на станке на двухшпиндельном полуавтомате непрерывного действия;

– зенкерование торца под фланец коленчатого вала на станке 2Н135;

– балансировка на станке 9675;

– очистка от технологических загрязнений;

– контроль.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите назначение и требования к изготовлению гильз цилиндров. 2. С чего начинается обработка гильзы цилиндра? 3. Какое оборудование применяют для обработки наружных поверхностей гильзы цилиндра? 4. Изложите суть плосковершинного хонингования зеркала цилиндра.

## **2.5. Изготовление шатунов, рычагов и коромысел**

### **2.5.1. Заготовки, материалы, технические требования**

Шатуны участвуют в преобразовании поступательного движения во вращательное, а рычаги и коромысла – в передаче поступательного движения. Детали этого типа снабжены втулками.

Шатуны карбюраторных двигателей изготовлены из сталей 40, 45, 40Х, 45Г2, 40ХМА, 18ХНМА и др. Материал втулок – бронза ОЦС 4-4-2,5, АЖ 9-4, материал болтов – сталь 35ХМА, 38ХА, 40Х и др. Твердость материала шатуна 228...268 НВ.

Рычаги и коромысла изготавливают из сталей 45, 45Л, материал их втулок такой же, как и материал втулок шатунов. Твердость закаленного бойка коромысла составляет 56...60 НRC.

Элементы деталей (сборочных единиц): головки (в ряде случаев с крышками), в которых выполнены точные отверстия под установку вкладышей и отверстия под болты, одно- и двутавровые стержни, трущиеся бойки. Ширину головок шатуна по технологическим соображениям выполняют, как правило, одной ширины. В деталях имеются гладкие и резьбовые отверстия. В отверстия головок могут быть запрессованы втулки. Тонкостенные втулки изготавливают из листового материала толщиной 1 мм штамповкой.

Допуск на размер отверстий головок шатуна под вкладыши соответствует 5...6 квалитетам, допуск на расстояние между осями этих отверстий и на параллельность их осей соответствует 8...9-й степени точности. Шероховатость поверхностей отверстий и бойков  $Ra$  0,16 мкм. Шатун в сборе имеет допуск массы 4 г на кг массы сборочной единицы, головки взвешивают отдельно друг от друга, а допуск на массу головок равен 2 г/кг. Массы головок доводят до нормативных значений отдельно друг от друга.

Заготовки шатунов получают ковкой или штамповкой, а сложных по форме коромысел и рычагов – дополнительно литьем в оболочковые формы по выплавляемым моделям. Последний способ обеспечивает получение заготовок массой до 3 кг шероховатостью поверхностей  $Rz$  20...10 мкм и с припусками на обработку 0,2...0,7 мм. Небольшое количество заготовок получают на молотах, фрикционных и кривошипных прессах в подкладных штампах. При больших объемах производства заготовки получают в закрытых штампах на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. В этом случае они имеют необходимую текстуру, минимальные припуски на обработку; ряд поверхностей обработки не требует. Заготовки крышек шатунов или изготавливают отдельно, или штампуют вместе с телом шатуна, а затем отрезают.

У деталей обеспечивают перпендикулярность торцов к осям отверстий, поэтому торцы обрабатывают в первую очередь.

### ***2.5.2. Технологические маршруты обработки***

Технологический процесс изготовления, например, шатуна автомобильного двигателя УМЗ-451М на Ульяновском моторном заводе включает:

- предварительное шлифование торцов на агрегатном пятишпиндельном специальном станке;
- протягивание плоскостей под головки болтов;
- сверление и растачивание отверстия верхней (поршневой) головки на агрегатном станке АМ9229;
- зенкование (снятие фаски) отверстия верхней головки на станке 2Н118;
- протягивание поверхностей отверстия нижней (кривошипной) головки и стыка с крышкой;
- сверление отверстия в верхней головке для подвода масла на станке 2Н118;
- протягивание плоских поверхностей на верхней головке;
- шлифование стыковой поверхности с крышкой на плоскошлифовальном станке 3Е772;

- сверление и развертывание отверстий под болты в шатунах и крышке на агрегатном станке АБ0219;
- цекование площадок под болты в крышке на станке 2Н118;
- сверление масляного отверстия в нижней головке и обработка замка в четырех позициях на агрегатном станке;
- сборка шатуна с установкой болтов и затяжкой гаек моментом 68...75 Нм на стенде;
- шлифование торцов на плоскошлифовальном станке 3П722;
- запрессовывание втулки в отверстие верхней головки на гидравлическом прессе;
- зенкование отверстия в запрессованной втулке на станке 2Н118;
- растачивание отверстий в нижней и верхней головках на специальном станке КК-2458;
- взвешивание головок шатуна для принятия решения о снятии с них лишней массы металла на весах 24-У-99462 ГАЗ;
- фрезерование приливов на головках для подгонки массы на станке 6Н80 в приспособлении;
- хонингование отверстия в нижней головке на станке 3М833;
- развертывание отверстия в верхней головке на станке 2Н118;
- очистка от технологических загрязнений в струйной машине;
- контроль шатунов и их сортировка на размерные группы отверстия верхней головки (допуск размерной группы 2,5 мкм).

Шатуны сортируют на размерные группы отверстия под поршневой палец с помощью пневматического измерительного стенда. На автомобильных заводах (например, КамАЗ и ЗИЛ) имеется оборудование для контроля шатунов, в котором пневматические пробки установлены на станине таким образом, что их оси параллельны и находятся друг от друга на расстоянии, равном номинальному межосевому расстоянию между отверстиями шатуна. На таком оборудовании дополнительно измеряют расстояние между осями в детали, а также непараллельность осей в двух координатных плоскостях.

Окончательную обработку резанием и контроль шатунов ведут в термokonстантных помещениях при температуре  $20 \pm 3$  °С.

Нормативная точность параметров расположения основных поверхностей шатунов при их изготовлении может быть обеспечена механической обработкой в такой последовательности. Отверстие в кривошипной головке хонингуют с ориентированием инструмента по обрабатываемой поверхности, что обеспечивает снятие наименьшего припуска. Заготовку 3

(рис. 2.7) при растачивании отверстия под поршневой палец устанавливают на оправку 4, рабочий торец которой перпендикулярен к опорной цилиндрической поверхности. Заготовку с оправкой 4 ориентируют относительно шпинделя с помощью оправки 2 и в таком положении детали к ней и оправке прикладывают силы закрепления  $P'_3$  и  $P''_3$ . Выводят оправку 2 из отверстия заготовки и его поверхность растачивают за счет вращения шпинделя с резами с угловой частотой вращения  $\omega$  и подачей  $S$ . Обработка шатуна по приведенной схеме обеспечивает снятие равномерного припуска и параллельность осей отверстий в головках шатуна в пределах установленного допуска 0,04 мм на 100 мм длины.

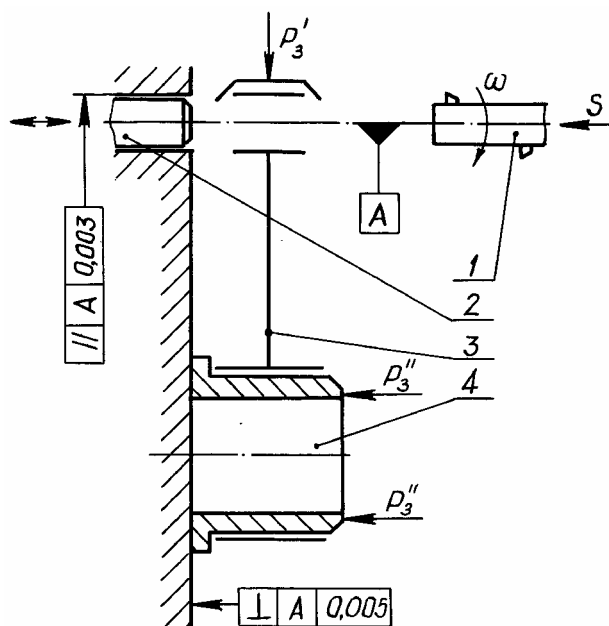


Рис. 2.7. Схема установки шатуна на горизонтально-расточной станке КК-1454 при обработке отверстия в верхней головке: 1 – шпиндель; 2 – центрирующая оправка; 3 – заготовка; 4 – установочная оправка;  $\omega$  и  $S$  – угловая частота и подача шпинделя;  $P'_3$  и  $P''_3$  – силы закрепления

Изготовление рычагов и коромысел содержит ряд операций, приведенных ранее. Бойки коромысел при изготовлении закаливают ТВЧ, шлифуют на плоскошлифовальном станке 3722П или на заточном станке 3642 в приспособлении и полируют. Отверстие в запрессованной втулке растачивают.

### Вопросы для самоконтроля

1. Приведите особенности устройства шатунов. 2. С чего начинается обработка шатуна? 3. Каким образом обеспечивают параллельность осей шатуна? 4. Как обеспечивают уравновешенность агрегата, в который входят шатуны в качестве составных частей?

## 2.6. Изготовление зубчатых колес

### 2.6.1. Назначение, классификация и материал

Зубчатые колеса служат в механизмах для передачи крутящего момента между валами с параллельными, пересекающимися или перекрещи-

вающимися осями. Различают силовые зубчатые передачи с изменением частоты вращения валов и кинематические для точной передачи вращательного движения между валами при небольших значениях крутящего момента. Зубчатые передачи нашли широкое применение в технике. Их используют в редукторах, коробках скоростей, передачах и подачах, бабках станков, измерительных устройствах и др.

Зубчатые колеса классифицируют по форме, виду зубьев и размерам. По форме зубчатые колеса бывают:

- одновенцовые с отношением длины  $l$  базового отверстия к его диаметру  $d$  большим единицы ( $l/d > 1$ );
- одновенцовые с отношением  $l/d < 1$ ;
- многовенцовые с отношением  $l/d > 1$ ;
- в виде сборочных единиц из колес, напрессованных на ступицу или вал;
- в виде валов-колес.

Колеса бывают прямозубыми, косозубыми и кривонозубыми. В зависимости от значения диаметра окружности выступов колеса относят к одной из четырех размерных групп (мм): до 50, от 50 до 200, от 200 до 500, свыше 500.

Если колесо установлено на валу неподвижно, то крутящий момент от вала к колесу (или обратно) передают с помощью шлицев или шпонки. В подвижном на валу колесе выполняют канавку для приводной вилки, а торцы этого колеса закругляют.

Зубчатые колеса изготавливают, как правило, из углеродистых или легированных (40Х, 30ХГТ, 20ХНМ и др.) сталей, но в ряде случаев – из чугуна, бронзы или пластмассы. Необходимую поверхностную твердость зубьев обеспечивают термической или химико-термической обработкой (закалкой, цементацией, цианированием и др.). Например, цилиндрические зубчатые колеса 5...6-й степеней точности изготавливают из сталей 12ХНЗА, 20Х, 25ХГТ (для нитроцементации), 18ХГТ (для цементации) 40Х и 40ХФА (для закалки).

Штучные заготовки зубчатых колес получают или отрезанием из проката, или свободной ковкой, или штамповкой в открытых и закрытых штампах и на горизонтально-ковочных машинах. В поковках и штамповках образуется благоприятная структура материала. Заготовки, полученные на горизонтально-ковочных машинах по форме приближены к деталям, в этом случае достигается наилучшее использование материала. Заготовки зубчатых колес в отдельных случаях получают и методами порошковой металлургии.

Точность диаметра отверстия колеса – 6 – 7-й квалитеты, биение рабочей поверхности зубьев относительно поверхности отверстия 0,005...0,015 мм. Шероховатость поверхности отверстия и зубьев  $Ra$  1,25...0,32 мкм.

### 2.6.2. Основные параметры зубчатых колес

Все параметры и термины зубчатых колес стандартизованы.

*Исходный контур* – геометрический контур инструмента (ГОСТ 13355-81) в виде рейки, с помощью которого могут быть получены эвольвентные профили зубчатых колес.

*Основная окружность* ( $d_{b1}$ ,  $d_{b2}$ ) – окружность, с которой «развертывается» эвольвента.

*Начальная окружность* ( $d_{w1}$ ,  $d_{w2}$ ) – окружность, которой катится колесо без скольжения при работе.

*Делительная окружность* ( $d_1$ ,  $d_2$ ) – окружность, которой катится колесо без скольжения при обработке.

*Шаг зацепления*  $t$  – расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум смежным одноименным профилям зубчатого колеса.

*Модуль*  $m$  – отношение шага зацепления к числу  $\pi$ .

Все размеры зубчатого зацепления пропорциональны его модулю.

Установлены численные значения допусков для степеней точности зубьев от 3 до 12. Для каждой степени точности цилиндрических зубчатых передач, колес и червяков устанавливаются показатели (табл. 2.2):

- кинематической точности;
- плавности работы;
- контакта зубьев;
- бокового зазора.

Для 1-й и 2-й степеней точности колес допуски и предельные отклонения параметров не приведены.

*Кинематическая погрешность* – это разность между действительным и номинальным углами поворота измеряемого колеса на его рабочей оси в зацеплении с образцовым колесом.

*Циклическая погрешность* – это составляющая кинематической погрешности колеса, периодически многократно повторяющаяся за один оборот.

*Длина общей нормали* – расстояние между двумя параллельными охватывающими губками, касательными к двум разноименным профилям зубьев. Между губками оказывается примерно 1/9 общего количества зубьев.



Таблица 2.2

Показатели кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев  
и бокового зазора для цилиндрических зубчатых передач  
по ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 9178-81

Показатель точности или комплекс	Степень точности
По нормам кинематической точности	
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	3 – 8
Накопленная погрешность шага колеса	3 – 8
Накопленная погрешность k шагов	3 – 6
Погрешность обката колеса	3 – 8
Радиальное биение зубчатого венца	3 – 8
Колебание длины общей нормали	3 – 8
Радиальное биение зубчатого венца	3 – 8
Колебание длины общей нормали	5 – 8
Колебание измерительного межосевого расстояния (МОР) за оборот колеса	5 – 8
Погрешность обката колеса	5 – 8
Колебание измерительного МОР за оборот колеса	5 – 8
Колебание измерительного МОР за оборот колеса	9 – 12
Радиальное биение зубчатого венца	7 – 12
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатой передачи	3 – 6
По нормам плавности	
Местная кинематическая погрешность колеса	3 – 8
Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса	5 – 8
Отклонение шага зацепления колеса	3 – 8
Отклонение профиля зуба колеса	3 – 8
Отклонение шага зацепления колеса	3 – 8
Отклонение шага колеса	3 – 8
Колебание измерительного МОР на одном зубе колеса	5 – 12
Отклонение шага зацепления колеса	9 – 12
Отклонение шага колеса	9 – 12
Местная циклическая погрешность колеса	3 – 8
Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче	3 – 8
По нормам контакта зубьев	
Погрешность направления зубьев	3 – 12
Суммарная погрешность контактной линии колеса	3 – 12
Отклонение от параллельности осей передачи	3 – 12
Перекос осей передач	3 – 12
Суммарное пятно контакта передачи	1 – 11
По нормам бокового зазора	
Гарантированный боковой зазор	все виды соединений
Наименьшее дополнительное смещение исходного контура и допуск	то же
Наименьшее отклонение средней длины общей нормали и допуск	то же
Наименьшее отклонение длины общей нормали и допуск	то же
Наименьшее отклонение толщины зуба и допуск	то же
Предельное отклонение МОР	то же
Наименьшее отклонение размера по роликам и допуск	то же
Отклонение МОР	то же

### **2.6.3. Технологический маршрут изготовления**

Последовательность механической и термической обработки при изготовлении зубчатых колес 6-й степени точности диаметром 80...200 мм с модулем 2,5...5,0 мм из стали 18ХГТ в среднесерийном производстве следующая:

- предварительная токарно-револьверная обработка в два станова;
- нормализация для измельчения зерна и уменьшения деформаций: нагрев до  $960 \pm 10$  °С, выдержка 1,5...2,0 ч, охлаждение на воздухе;
- черновая обработка резанием (включая нарезание зубьев, протягивание шлицев, долбление паза);
- очистка;
- операционный контроль перед термической обработкой;
- термическая обработка – цементация (нитроцементация), закалка, отпуск. Толщина упроченного слоя 1,0...1,8 мм. Температура нагрева для цементации  $930 \pm 10$  °С, для нитроцементации  $870 \pm 10$  °С. После цементации следует закалка в масле (температура 60...80 °С) или закалка с нагревом ТВЧ. Затем следует отпуск при температуре  $190 \pm 10$  °С в течение 2 ч;
- чистовая обработка резанием;
- искусственное старение в электрической масляной ванне: масло веретенное 3, температура нагрева  $150 \pm 10$  °С, время выдержки 8...10 ч;
- отделка гладких поверхностей;
- отделка зубьев;
- очистка, контроль и консервация (при необходимости).

В качестве первой технологической базы выбирают необрабатываемую внутреннюю поверхность обода колеса (для колеса с большими размерами) и торец или поверхность окружности выступов и торец. Большинство операций ведут с базированием по отверстию (двойная направляющая база) и торцу (опорная база). При обработке колес распределительных механизмов, валы которых ориентированы при работе в угловом отношении, в качестве базы используют боковую поверхность шпоночного паза. Базирование по отверстию дает наиболее короткую технологическую цепь и обеспечивает наиболее точное расположение начальной окружности колеса относительно его оси вращения. Чистовую обработку зубьев ведут на круглой оправке с конусностью 0,0001 и биением не более 3 мкм.

Предварительную обработку зубьев ведут фрезерованием или долблением. Фрезерование зубьев – основной способ их получения. Оно выполняется червячной фрезой на одно- и двухшпиндельных зубофрезерных станках. Для многовенцовых колес, когда нет свободного выхода для фрезы, применяют зубодолбление. Обработку зубьев колес 5 – 6-й степеней

точности заканчивают шлифованием, а зубьев колес 7 – 8-й степеней – шевингованием зубьев до термической обработки. В настоящее время за рубежом вместо шевингования используют зубохонингование. Затем снимают заусенцы и доводят отверстие.

#### 2.6.4. Контроль зубчатых колес

Параметры отверстия измеряют универсальными средствами. Результаты контроля зубьев характеризуют кинематическую точность, плавность работы, контакт зубьев и боковые зазоры. Конструкции приборов, применяемых для измерения основных параметров, следующие.

*Измерение кинематической и циклической погрешностей.* Эта погрешность определяется разностью между действительным и номинальным углами поворота измеряемого колеса. С помощью прибора (рис. 2.8) сравниваются углы поворота двух систем, одна из которых состоит из зубчатых колес 1 и 2, а вторая – из фрикционных дисков 3 и 4, обеспечивающих точную передачу вращения с заданным передаточным отношением. Разность углов поворота определяется показаниями прибора линейных перемещений.

*Измерения погрешности шага.* Накопленная погрешность шага определяется непосредственными измерениями на угловых шагомерах или с применением универсальных приборов для угловых измерений. На рис. 2.9 приведена схема прибора, в котором контролируемое колесо устанавливается на одном валу с угломерным лимбом. Профиль колеса взаимодействует с измерительным наконечником миниметра или индикатора. После поворота колеса на угловой шаг ( $\varphi = 2\pi/z$ ) наконечник возвращают в исходное радиальное положение и по разности крайних показаний определяют накопленную погрешность шага.

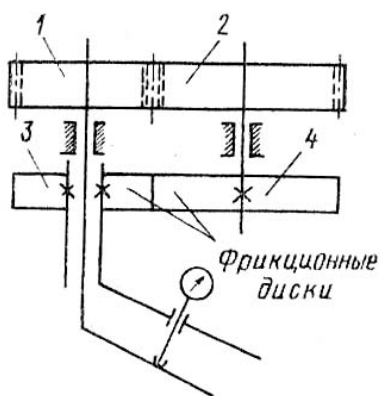


Рис. 2.8. Прибор для измерения кинематической и циклической погрешностей зубчатого колеса: 1 – контролируемое колесо; 2 – эталонное колесо; 3 и 4 – фрикционные диски

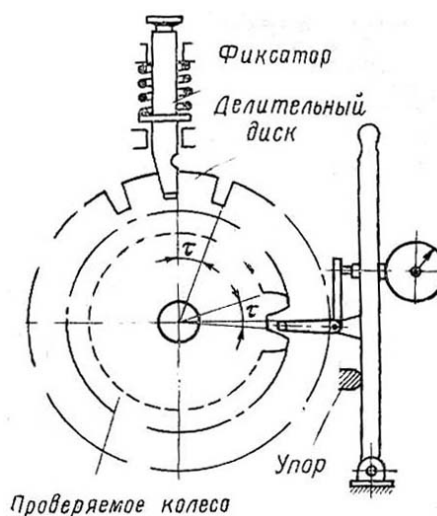


Рис. 2.9. Прибор для измерения погрешности шага

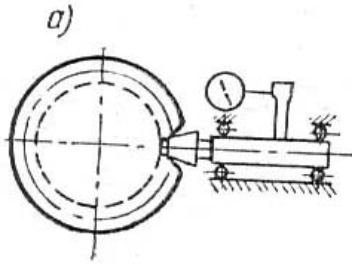


Рис. 2.10. Прибор для измерения радиального биения зубчатого венца

(выполненного по исходному контуру), усеченного конуса с углом при вершине  $2\alpha$  или сферического наконечника с диаметром около  $1,5m$ . Разность показаний прибора при различных угловых положениях проверяемого колеса принимается за величину радиального биения. Радиальное биение зубчатого венца прямозубых колес может определяться смещением ролика, закладываемого поочередно во впадины между зубьями колеса.

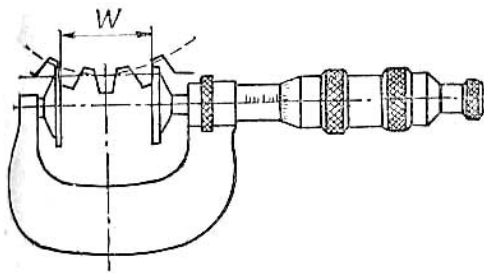


Рис. 2.11. Прибор для измерения длины общей нормали

Имеющего неподвижную плоскую и параллельно ей подвижную измерительную губки. Значение параметра отсчитывают по микрометрической шкале.

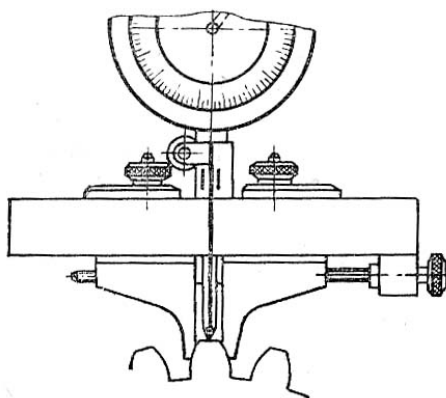


Рис. 2.12. Прибор для измерения смещения исходного контура и толщины зуба

При измерении устанавливают высоту измерений, а затем измеряют длину хорды.

### Измерение радиального биения зубчатого венца.

Биение зубчатого венца определяют относительным измерением радиального положения измерительного наконечника (рис. 2.10) по отношению к оси зубчатого колеса. Измерительный наконечник может иметь трапецеидальную форму зуба рейки (выполненного по исходному контуру), усеченного конуса с углом при вершине  $2\alpha$  или сферического наконечника с диаметром около  $1,5m$ . Разность показаний прибора при различных угловых положениях проверяемого колеса принимается за величину радиального биения. Радиальное биение зубчатого венца прямозубых колес может определяться смещением ролика, закладываемого поочередно во впадины между зубьями колеса.

### Измерение длины общей нормали.

Колебание длины общей нормали характеризует составляющую кинематической погрешности колеса. Параметр измеряют с помощью нормалемера

### Измерение смещения исходного контура и толщины зуба.

Радиальное положение исходного контура определяет дуговую толщину зуба. Тангенциальные зубомеры (рис. 2.12) снабжены двумя губками с измерительными гранями, составляющими между собой угол, равный двойному углу зацепления. Расстояние между губками измеряют шкалой с нониусом или рычажно-зубчатой головкой. На биссектрисе угла расположена ось микрометрической

*Измерение межосевого расстояния (МОР). Длину МОР определяют на межцентрометрах с безззорным зацеплением проверяемого и измерительного колеса. Ось одного колеса в приборе неподвижна, а другого – имеет возможность перемещаться в перпендикулярном к ней направлении на плавающем суппорте.*

Колебания измерительного МОР за один оборот проверяемого колеса характеризует радиальное биение зубчатого колеса. Колебание МОР на один зуб зависит от шага, а в некоторых случаях и от профиля зацепления.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите основные параметры зубчатого колеса. 2. С чего начинается обработка зубчатого колеса? 3. Какими группами параметров определяют качество изготовления зубчатых колес? 4. Как измеряют длину общей нормали зубчатого колеса и межосевое расстояние пары зубчатых колес?

### **ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ**

1. Классификация деталей и их элементов в машиностроении.
2. Роль технологической наследственности в процессах изготовления деталей.
3. Место различных видов обработки в отдельных частях технологического процесса изготовления детали.
4. Задачи, решаемые технологом на различных стадиях разработки технологического процесса изготовления детали.
5. Влияние параметров деталей на их долговечность.
6. Повышение производительности и точности обработки резанием при изготовлении деталей.
7. Развитие термической обработки в машиностроительном производстве.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ**

*Студент должен знать:*

- общее содержание процесса изготовления деталей;
- технологические процессы изготовления типовых деталей: корпусных, валов и осей, гильз и дисков, шатунов, рычагов и коромысел, зубчатых колес;
- параметры, определяющие качество изготовления деталей;

*Студент должен уметь:*

- разрабатывать основные технологические процессы изготовления типовых деталей;
- выбирать оборудование для изготовления деталей в производствах различного типа;
- обеспечивать показатели качества изготовления деталей.

## **РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА РАЗДЕЛА**

Оценка знаний второго раздела производится по результатам выполнения практических занятий 4, 5 и 6 и ответов студентов на контрольные вопросы, приведенные в конце материала изучаемых тем. Высокой оценки заслуживают те студенты, которые демонстрируют знания:

- назначения, устройства и условий работы основных деталей современных машин;
- состава, структуры и основных свойств материалов, из которых изготовлены основные детали;
- оборудования, применяемого для изготовления деталей;
- основных параметров, характеризующих качество изготовления деталей, и способов их обеспечения.

### 3. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

#### 3.1. Содержание упрочнения деталей

**Необходимость упрочнения деталей при их изготовлении.** Нормативные документы ориентируют специалистов на достижение установленной наработки техники. Конструкторские документы определяют состояние деталей, поступающих на сборку, значения замыкающих размеров в соединениях и другие параметры.

Ресурс изделия определяется его наработкой с момента ввода в эксплуатацию до достижения предельного состояния. Изготовленная деталь входит составной частью в агрегат, который, в свою очередь, входит в машину. Ресурсы включающих друг друга систем должны быть равными с точки зрения совпадения целей систем. Однако в реальности это условие часто не выдерживается. Если ресурс агрегата превышает ресурс машины, а ресурсы деталей – ресурс агрегата, то излишние ресурсы составных частей оказываются невостребованными. Чаще ресурсы составных частей машины оказываются недостаточными, что обуславливает их трудоемкую замену в эксплуатации новыми, отремонтированными или восстановленными.

Если ресурс детали меньше нормативного и отстает от ресурса остальных деталей агрегата, то возникает потребность в повышении долговечности элементов этой детали за счет повышения износостойкости, твердости, усталостной прочности и других свойств.

В общем случае под *упрочнением* детали понимают повышение значений ее физико-механических свойств, которые являются определяющими для обеспечения надежности ремонтируемого объекта. Все многообразие способов упрочнения деталей может быть сведено в три группы: нанесение износостойких покрытий; образование износостойких слоев; пластическое деформирование материала.

**Причины достижения деталями предельного состояния.** При использовании ряда деталей наступает момент, когда разрушение их элементов становится интенсивным. Детали в этом случае или не способны выполнять предназначенную функцию, или ее выполнение обусловлено затратами, превышающими пользу от применения этих деталей. Такое состояние деталей называют *предельным*. Знание природы достижения деталями этого состояния позволяет обоснованно назначать мероприятия по повышению их долговечности.

Основная доля (80...90 %) деталей в составе соединений с другими деталями достигает предельного состояния по причине изнашивания. В ре-

зультате этого процесса происходит разрушение и отделение материала с поверхности детали и (или) накопления ее остаточной деформации при трении. Указанные явления приводят к постепенному изменению размеров и (или) формы деталей.

Скорость изнашивания трущегося соединения – увеличение зазора в единицу времени – в течение его срока службы существенно изменяется (рис. 3.1). Во время приработки соединения  $t_n$  наблюдаются его повышенное изнашивание. Затем скорость изнашивания уменьшается и сохраняется длительное время постоянное значение, соответствующее нормальной эксплуатации  $t_9$ . И, наконец, при достижении предельного зазора в соединении  $S_{np}$  появляются стуки при работе, нарушаются расчетные условия смазки, а скорость изнашивания непрерывно растет вплоть до отказа соединения.

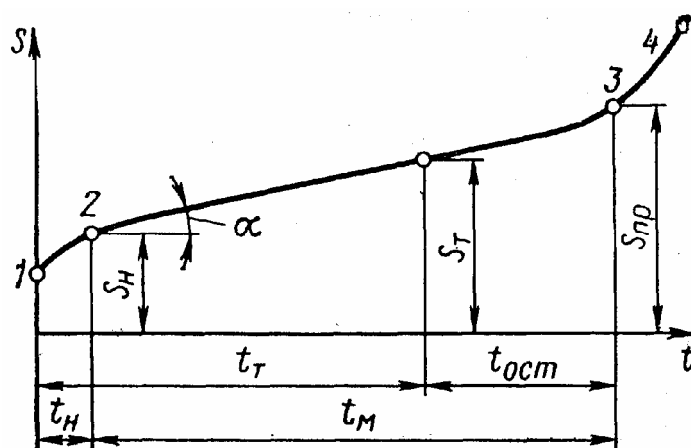


Рис. 3.1. Зависимость зазора  $S$  в соединении деталей от наработки  $t$ : 1-2, 2-3 и 3-4 – участки приработки, нормальной и аварийной эксплуатации

Срок службы  $t_m$  соединения определяют по прямолинейному участку кривой изнашивания

$$t_m = \frac{S_{np} - S_H}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ ч}, \quad (3.1)$$

где  $S_H$  – начальный зазор приработанного соединения, мм;  $\operatorname{tg} \alpha$  – скорость изнашивания соединения, мм/ч.

Для текущего момента времени  $t_m$  в пределах прямолинейного участка кривой изнашивания можно записать

$$t_m - t_n = \frac{S_m - S_H}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ ч}, \quad (3.2)$$

где  $S_m$  – текущее значение зазора в соединении, мм;  $t_n$  – время работы соединения до достижения зазора  $S_H$ , ч.



Тогда остаточный ресурс соединения  $t_{ocm}$  равен

$$t_{ocm} = t_3 + t_n - t_m = \frac{S_{np} - S_m}{\text{tg}\alpha}, \text{ ч}, \quad (3.3)$$

где  $t_3$  – время эксплуатации, ч.

Значение скорости изнашивания  $\text{tg}\alpha$  можно определить по формуле

$$\text{tg}\alpha = \frac{S_m - S_n}{(t_m - t_n)}, \text{ мм/ч}. \quad (3.4)$$

В зависимости от условий трения и активности окружающей среды имеют место основные виды изнашивания: механическое, коррозионно-механическое и молекулярно-механическое.

*Механическое* изнашивание происходит в результате механических воздействий. Основные виды этого изнашивания следующие: абразивное, усталостное, кавитационное и эрозионное.

*Абразивное* изнашивание материала происходит в результате режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии.

Абразивные частицы размером 1...30 мкм всегда присутствуют в воздухе, смазочном материале и на трущихся поверхностях. Такими частицами являются продукты изнашивания, твердые частицы оксидов, нагара и др. Абразивное изнашивание вызывают закрепленные и незакрепленные частицы. В зависимости от вида среды (жидкость или газ), перемещающей частицы, различают такие виды абразивного изнашивания – гидроабразивное и газоабразивное.

Скорость абразивного изнашивания зависит от контактных напряжений, относительной скорости частиц и направления их потока к рабочей поверхности детали, твердости частиц и материала изнашиваемой поверхности, структуры материала.

Технологические способы повышения стойкости к механическому изнашиванию сводятся к выбору материала трущихся поверхностей, его структуры и твердости.

Многие детали под действием знакопеременной нагрузки подвергаются *усталостному* изнашиванию и утрачивают в работе часть усталостной прочности. Критическим напряжением при усталости является предел выносливости. Этот параметр, в отличие от других прочностных характеристик (пределов упругости, текучести и прочности), во многом зависит от состояния поверхности детали.

Разрушению металлических деталей при усталости предшествуют процессы зарождения и распространения усталостных трещин.

Первые микротрещины размером порядка 1 мкм появляются в процессе циклического пластического деформирования материала в результате его текучести и упрочнения. Это упрочнение вызвано накоплением несовершенств кристаллической решетки (дислокаций, вакансий) и их перемещением к границам зерен. Циклическое упрочнение завершается микротрещинами, размеры которых сопоставимы с размерами зерен материала. Повреждения на этой стадии приобретают необратимый характер. Кроме того, происходят фазовые превращения (например, образование мартенсита деформации в метастабильных аустенитных сталях), процессы возврата или старения.

Распространение усталостных трещин включает медленный, стабильный и ускоренный их рост.

Таким образом, начиная с первых циклов нагружения детали, в ее материале происходит эволюция дислокационной структуры. Результат изменения проявляется в виде магистральной трещины. В зависимости от расстояния от вершины этой трещины до рассматриваемого участка материала

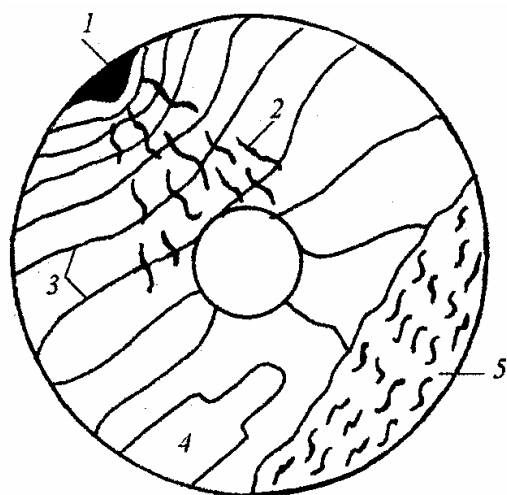


Рис. 3.2. Усталостный излом:  
1 – фокус излома и очаг разрушения;  
2 – вторичные ступеньки и рубцы;  
3 – усталостные линии; 4 – зона ускоренного развития трещины; 5 – зона долома

его напряженное состояние и формируется новая структура. Эта структура мелкоячеистая у самой вершины трещины, далее в ней появляются дислокационные стенки и она завершается полосовой и венной структурами, дислокационными петлями и скоплениями.

Усталостное повреждение (рис. 3.2) возникает в локальной зоне, близкой к точке возникновения начальной микротрещины. К этой зоне примыкает участок развития трещины с характерными линиями, волнообразно расходящимися от очага разрушения. Следующий участок ускоренного развития трещины образуется в течение нескольких циклов, предшествующих окончательному разрушению. Зона долома имеет признаки хрупкого разрушения.

Выделяют контактную усталость поверхностных слоев, которая возникает при трении качения и называется «питтинг», и усталостное изнашивание при трении скольжения, хотя усталостная природа разрушения в обоих случаях одинакова.

*Кавитационное* изнашивание – это разрушение материала при соприкосновении его с движущейся жидкостью, в которой возникают полости, заполненные паром, газом или их смесью. Так изнашиваются крыльчатки насосов, водоохлаждаемые гильзы цилиндров и другие детали или элементы. Интенсивность кавитационного изнашивания возрастает при увеличении скорости жидкости.

При завихрении сплошной поток жидкости разрывается, из-за локального уменьшения давления в нем образуются парогазовые пузыри размером порядка десятых долей миллиметра. За 0,002 с кавитационный пузырек может вырасти до 6 мм в диаметре и разрушится в течение 0,001 с. За одну секунду на площади в 1 см<sup>2</sup> могут образоваться и разрушиться более 30 млн. таких пузырьков.

Исчезновение (захлопывание) пузырьков сопровождается повышением давления, конденсацией паров и растворением газов. Движение жидкости с большим ускорением в полость исчезающего пузырька создает гидравлические удары с вибрацией поверхностей деталей.

Кавитационная стойкость материала определяется его составом и структурой. Повышение содержания углерода в сталях до 0,8 % увеличивает ее. Пластинчатый перлит более стойкий к кавитации, чем зернистый. Введение никеля и хрома в сталь повышает эту стойкость. Наиболее стойким является низколегированный чугун (1 % Ni и 0,3 % Mo) с шаровидным графитом. Закалка ТВЧ, цементация, поверхностное упрочнение, наплавка твердых сплавов уменьшают кавитационное изнашивание.

*Эрозионное* изнашивание – это механическое изнашивание поверхности в результате воздействия на нее потока жидкости и (или) газа. Так разрушаются, например, детали вентиляей и клапанов.

Электроэрозионное изнашивание усложняется разрушением поверхности детали в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. Изнашивание сопровождается переносом ионов материала и появлением оксидных пленок. Интенсивность изнашивания зависит от плотности тока, электрического сопротивления и скорости перемещения контакта, механической нагрузки, температуры поверхностей и вида материала деталей.

*Коррозионно-механическое* изнашивание происходит в результате механического воздействия, которое сопровождается химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой. Так изнашиваются выпускные клапаны двигателей внутреннего сгорания и другие детали.

Видами коррозионно-механического изнашивания являются окислительное изнашивание, на которое основное влияние оказывает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей средой, и изнашивание при фреттинг-коррозии.

*Окислительное* изнашивание характеризуется образованием и разрушением вторичных структур в поверхностных слоях детали при их нагружении и трении. При этом на поверхности трения образуются твердые растворы или химические соединения с кислородом, водородом или азотом.

Механизм окислительного изнашивания включает три стадии:

– непосредственный механический контакт трущихся поверхностей или через среду и образование тонкого слоя деформированного активированного металла;

– химическую реакцию образовавшегося слоя с активными элементами среды, которое влечет образование вторичных структур толщиной 0,01...0,02 мкм с низкой механической прочностью;

– механическое разрушение и удаление вторичных структур. На ювенильных поверхностях практически мгновенно образуются новые структуры, которые затем также разрушаются.

Повышение износостойкости в условиях окислительного изнашивания происходит за счет повышения химической стойкости и твердости поверхностного слоя деталей.

Изнашивание при *фреттинг-коррозии* – это вид изнашивания соприкасающихся тел при колебательных относительных перемещениях, не превышающих размеров пятен фактического контакта.

Фреттинг-коррозия развивается на поверхностях соединений с натягом, контактных поверхностях шарнирных механизмов. При этом ослабляется натяг поверхностей или происходит их заклинивание, если продукты изнашивания не выходят из зоны контакта.

Уменьшение или предотвращение фреттинг-коррозии достигается конструктивными и технологическими методами. Первое направление заключается в увеличении натяга в соединениях, использовании демпфирующих устройств, применении жидких и твердых смазочных материалов. Второе направление включает упрочнение поверхностей пластическим деформированием или термической обработкой, нанесение электрохимических или полимерных покрытий.

Изнашивание *при заедании* – это вид молекулярно-механического изнашивания в результате схватывания трущихся поверхностей, глубинного вырывания материала с переносом его с одной поверхности трения на

другую и абразивного воздействия возникших неровностей на сопрягаемую поверхность, сопровождающегося выделением тепла. Обязательным условием этого вида изнашивания является разрушение оксидных и масляных пленок, разделяющих поверхности, сближение ювенильных поверхностей до расстояния действия межатомных сил. Явление имеет место при работе шеек валов в подшипниках скольжения при перегрузке и недостатке смазки.

Заедание в неподвижных соединениях объясняется образованием оксидных пленок и соединением их кристаллических решеток.

*Деформирование* деталей проявляется в виде изменения параметров формы поверхностей и их взаимного расположения. Это происходит под действием релаксации внутренних напряжений и длительного действия эксплуатационных нагрузок при рабочей температуре механизма. Повреждение характерно для корпусных деталей и длинных валов.

*Коррозия* поверхностей – это результат их химического или электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. В зависимости от условий протекания различают много видов коррозии: атмосферную, щелевую, питтинговую, контактную, кавитационную и др.

Атмосферная коррозия – электрохимической коррозии, возникающей при непосредственном воздействии влажной активной атмосферы на металл. Щелевая коррозия протекает в щелях и зазорах кузовов. Питтинговая коррозия начинается в местах разрушения лакокрасочного покрытия щебнем. Язвы коррозии занимают небольшую площадь, но имеют большую глубину. Контактная коррозия приводит к разрушению металла в результате соприкосновения деталей из разнородных материалов. Процесс ускоряется при трении и вибрации, при этом прочность панели уменьшается на 40 %. Кавитационному разрушению подвергаются те детали (например, днища кузовов), которые оказываются под воздействием воды.

В зависимости от объема разрушения различают общую и местную коррозию. Общая коррозия протекает на большой поверхности панелей с одной скоростью. Этот тип коррозии поражает увлажненные участки металла с разрушенным покрытием. Местная коррозия развивается с большой скоростью и приводит к образованию сквозных отверстий, точек или нитей.

*Старение* материала – процесс изменения состава и строения, а следовательно, и свойств материалов, происходящий в течение длительного времени при рабочей температуре деталей. Старение характеризуется переходом материала из метастабильного состояния в стабильное. Старение металлов включает аллотропическое и мартенситное превращения, распад

мартенситной структуры, распад пересыщенных твердых растворов, их упорядочение и разупрочнение и ряд других процессов. Быстро стареют лакокрасочные покрытия и пластмассовые детали.

Повреждения деталей закономерно возникают под влиянием различных факторов. Как правило, у одноименных деталей наблюдается несколько различных повреждений, которые образуют статистически устойчивые сочетания.

**Повышение эксплуатационных свойств.** Основные свойства, которые обеспечивают деталям при изготовлении, – износостойкость и усталостная прочность.

Обеспечение износостойкости поверхностей состоит из выбора материала трущейся поверхности, термической и механической обработки и использования приработочных материалов. При этом учитывают совместимость материалов трущейся пары, обеспечивают необходимые состав и строение их поверхностных слоев и низкое сопротивление сдвигу на границе раздела трущихся тел. Последнее требование выражается правилом положительного градиента механических свойств материала по глубине его поверхностного слоя:

$$d\tau/dz > 0, \text{ Н}\cdot\text{м}^{-3}, \quad (3.5)$$

где  $\tau$  – разрушающее напряжение сдвига, Па;  $z$  – значение координаты, направленной вглубь материала перпендикулярно поверхности трения, м.

Износостойкие слои создают за счет структурно-фазовых (физико-термических) и элементарно-фазовых (химико-термических) превращений и внедрения в трущийся слой твердого материала. Износостойкие слои создают как в материале детали (если нанесение покрытия не предусмотрено), так и в материале покрытия. Основные способы получения износостойких слоев – это различные виды закалки и химико-термической обработки.

Основные способы повышения усталостной прочности включают уменьшение шероховатости поверхности и создание наклепа в поверхностном слое за счет пластического деформирования материала.

Упрочнение материала при его пластическом деформировании основано на преднамеренном искажении кристаллической решетки металла в результате механического воздействия. Результат упрочнения может быть усилен термической или термомеханической обработкой, легированием и другими способами. Наиболее достоверно природу упрочнения объясняет дислокационная теория.

Пластическое деформирование характеризуется необратимым смещением блоков зерен друг относительно друга с дроблением этих блоков и

изменением их формы. Различают два вида относительного смещения блоков: скольжение и двойникование. При *скольжении* смежные атомные плоскости последовательно смещаются друг относительно друга на один параметр решетки (рис. 3.3, *а*). При *двойниковании* перемещение блоков зерен сопровождается поворотом одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части (рис. 3.3, *б*). Смещенная часть кристалла становится зеркальным отражением неподвижной его части. Двойникование требует в два раза больше энергии, чем скольжение, при одной и той же степени деформации. Деформирование двойникованием протекает в металлах при пониженной температуре, при ударных или циклических нагрузках.

При сдвиге отдельных частей металла по поверхности скольжения образуется слой с искаженной кристаллической решеткой и мелкими осколками зерен, создающими «шероховатость» по поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению блоков. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение называют *наклепом*, в результате которого предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Все способы поверхностного пластического деформирования (ППД) в зависимости от вида деформирующего инструмента и характера контакта с упрочняемой поверхностью подразделяются на три группы: статические, динамические и комбинированные. При их выборе учитывают форму и размеры детали, ее прочность и жесткость, требования к точности и степени упрочнения и тип производства.

*Статические* способы ППД рабочих поверхностей деталей: обкатывание, раскатывание и дорнование с применением мерного или регулируемого инструмента. Деформирующими элементами являются шарики или ролики, которые находятся в непрерывном контакте с заготовкой и оказывают на нее постоянное давление.

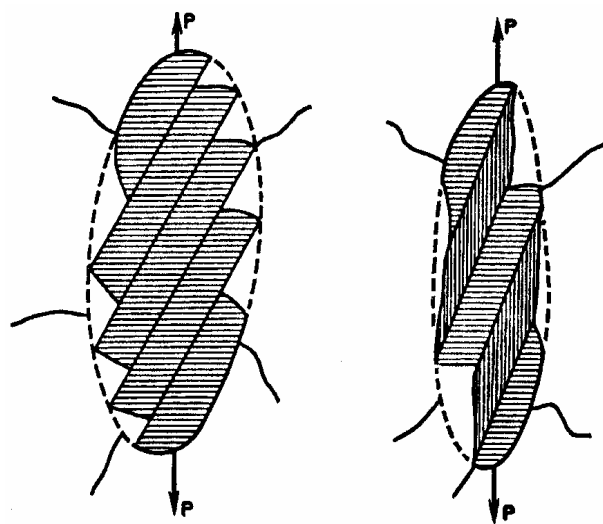


Рис. 3.3. Перемещение атомных слоев при пластическом деформировании материала: *а*) – скольжением; *б*) – двойникованием

Обкатывание крупных резьб на валах уменьшает до двух раз износ резьбовых пар на машинах, работающих в условиях большой запыленности. Долговечность бронзовых или чугунных гаек при работе с такими валами повышается на 35...40 %. Обкатывание роликами зубьев у их оснований повышает предел усталости на базе 2 млн циклов не менее чем на 40 %.

*Динамические* способы ППД включают ударные виды воздействия деформирующих элементов в виде сыпучего рабочего тела (металлической или стеклянной дроби) или специального инструмента на упрочняемую поверхность. Процессы применяют для упрочнения различных деталей: пружин, рессор, гребных винтов, нервюр и лонжеронов самолетов и др.

Сущность упрочняющей чеканки, например, заключается в том, что по упрочняемой поверхности наносят удары с помощью специального приспособления. При этом исходная твердость повышается на 30...50 %, а глубина наклепа доходит до 3 мм. Инструмент состоит из ударника с бойком с профильным радиусом 3...5 мм. Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Комбинированные способы упрочнения ППД объединяют статические или динамические способы с химическими или термическими воздействиями.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие причины обуславливают необходимость упрочнения элементов деталей? 2. Упрочнение чаще выражается повышением износостойкости и усталостной прочности восстанавливаемых элементов. Какие меры применяются для этой цели?

## **3.2. Электромеханическая обработка**

### **3.2.1. Содержание способа и область его применения**

Способ предложил Б.М. Аскинази в 1968 г.

Способ применяют при восстановлении размеров шеек валов (с нанесением или без нанесения покрытия), входящих в неподвижные соединения, и при подготовке заготовок с высокой поверхностной твердостью к напылению на них покрытий.

Сущность способа заключается в том, что через контакт вращающейся заготовки с надавливающим на нее инструментом пропускают ток большой силы, вследствие чего материал заготовки в месте ее контакта с инструментом нагревается и пластически деформируется. Между инструментом и заготовкой может подаваться присадочный материал.



От сети напряжения 220/380 В (рис. 3.4) ток проходит через понижающий трансформатор, а преобразованный ток через подводящий провод сечением  $\sim 300 \text{ мм}^2$  – в место контакта инструмента с заготовкой. На патроне токарного станка закреплен токосъемник в виде медного кольца и медно-графитовой щетки. Второй провод от трансформатора подводится к державке, закрепленной в резцедержателе суппорта и несущей инструмент с твердосплавной вдавливающей или сглаживающей пластинами. Державку изолируют от резцедержателя. Усилие надавливания инструментом создают с помощью механизма поперечной подачи. Продольная подача инструмента происходит от ходового валика. Передняя поверхность инструмента находится на высоте центров.

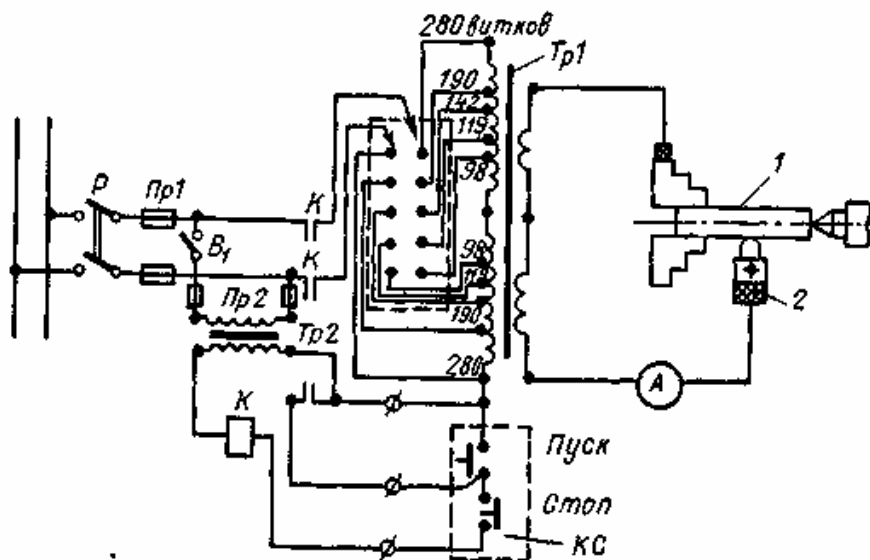


Рис. 3.4. Схема установки для электромеханической обработки: 1 – заготовка; 2 – инструмент; А – амперметр; КС – кнопочная станция; К – контакты и контактор; Tr1 и Tr2 – трансформаторы; Pr1 и Pr2 – предохранители; B<sub>1</sub> – выключатель; P – рубильник

Сила тока достигает 300...1500 А под напряжением 1...5 В, температура металла в месте контакта – 800...900 °С. Усилие прижатия инструмента к поверхности заготовки составляет 300...1200 Н. Рабочая часть выдавливающего инструмента представляет собой равнобокую трапецию, меньшее основание которой, обращенное к заготовке, равно 1 мм, а ее боковые стороны образуют угол 60...70 °. Радиус рабочей части выглаживающего инструмента равен 80...100 мм.

Количество выделившегося тепла  $Q$  определяют по формуле

$$Q = Q_1 + Q_2 = t(I^2R + P_z v), \text{ Дж}, \quad (3.6)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – количество тепла, выделяющегося от действия тока и от трения и деформирования металла, Дж;  $I$  – сила тока, А;  $R$  – электрическое сопротивление, Ом;  $t$  – время действия тока, с;  $P_z$  – сила трения, Н;  $v$  – окружная скорость поверхности заготовки, м/с.

На цилиндрической поверхности заготовки при электромеханической обработке выдавливается спиральный гребень (внешний диаметр гребней больше диаметра заготовки). Затем инструмент для вдавливания заменяют другим с твердосплавной сглаживающей пластиной. При последующем пропускании тока верхняя часть гребней разогревается, а сглаживающая пластина деформирует их на заданный размер (рис. 3.5).

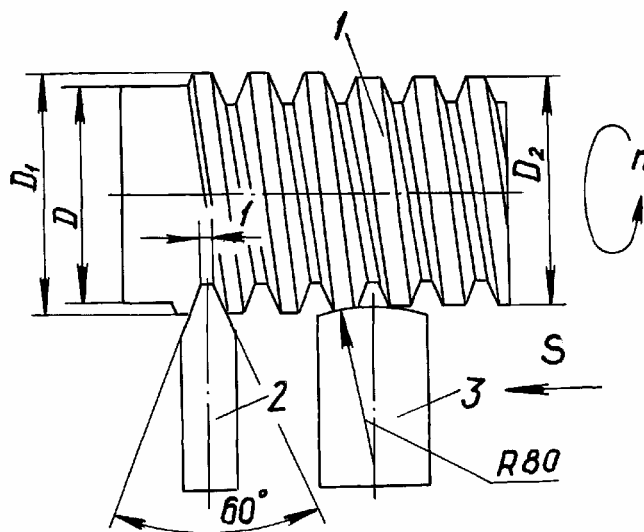


Рис. 3.5. Схема вдавливания и выглаживания заготовки: 1 – заготовка; 2 – вдавливающий инструмент; 3 – выглаживающий инструмент;  $n$  – угловая частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $S$  – подача инструментов, мм/об;  $D$  – диаметр исходной заготовки, мм;  $D_1$  и  $D_2$  – диаметры заготовки после ее вдавливания и выглаживания, соответственно, мм

При образовании спирального гребня, а затем при сглаживании его витков наблюдается нагрев небольших объемов металла с последующим быстрым их охлаждением за счет отвода тепла в глубь металла. При этом на поверхности заготовки образуется закаленный слой повышенной твердости на глубину 0,2...0,3 мм.

Режим выдавливания материала следующий: окружная скорость поверхности заготовки 2...8 м/мин (в зависимости от ее диаметра и твердости материала); усилие вдавливания инструмента 700...800 Н для заготовок из нетермообработанных сталей и 900...1200 Н для заготовок из закаленных сталей; сила тока 420...520 А; подача 1...2 мм/об; число ходов 2-3. Режим сглаживания: окружная скорость поверхности заготовки 5...8 м/мин;

усилие вдавливания 300...400 Н; сила тока 300...400 А; подача 0,4...1,5 мм/об; число ходов 1-2. В среднем увеличение диаметра заготовки после вдавливания инструмента составляет 0,4 мм, а после выглаживания – 0,2 мм.

Увеличение диаметра шейки вала после выдавливания материала равно

$$\Delta D_s = \frac{S \Delta D_c k}{S - 3,46 \Delta D_c}, \text{ мм}, \quad (3.7)$$

где  $S$  – подача инструмента при его вдавливании, мм/об;  $\Delta D_c$  – необходимое увеличение диаметра шейки вала после сглаживания, мм;  $k$  – коэффициент, учитывающий режимы обработки, равен 1,46 при  $\Delta D_s = 0,45$  мм и  $S = 2$  мм/об.

Естественно, что рассматриваемый способ не может обеспечить сплошного контакта шейки вала с поверхностью сопрягаемой детали. Чтобы сохранить прочность посадки, можно допустить увеличенные натяги (до 1,3 раза), не вызывающие недопустимой деформации охватываемой детали. Для восстановления сплошного контакта поверхностей используют два способа. Первый способ заключается в том, что образовавшиеся канавки спирального гребня после прохода выдавливающего инструмента заполняют припоем, композицией на основе эпоксидной смолы и др. При использовании второго способа в эти канавки наматывают очищенную стальную проволоку, которую деформируют и закрепляют с помощью электроконтактной приварки по следующему режиму: сила тока 1300...1500 А; усилие 400...500 Н; окружная скорость вращения заготовки 0,8...1,9 м/мин.

Электромеханическая обработка шеек валов по сравнению с их наплавкой исключает коробление, она более производительная и дешевая.

Электромеханическая обработка может быть рекомендована и для подготовки заготовок с высокой поверхностной твердостью к напылению, поскольку она незначительно снижает усталостную прочность деталей. Вершины спирального гребня после выдавливания материала деформируют, чтобы они были сплюснутыми.

### **3.2.2. Присадочные материалы**

При нанесении покрытий применяют материал в виде проволоки, ленты или порошка. Материал в виде проволоки широко применяют при восстановлении резьбы и шеек валов. Ленту применяют при восстановле-

нии шеек валов и поверхностей отверстий в корпусных деталях (например, гильзах и блоках цилиндров), а порошок – при восстановлении шеек валов и конических поверхностей клапанов.

Применяют проволоку диаметром 1,6...2,5 мм сплошного сечения Нп-35, Нп-40, Св-08, Св-06ГС, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, 65Г и порошковую (например, ПП-АН-10). Покрытие из проволоки характеризуется плотной упаковкой и сплавлением ее витков. Диаметр проволоки при восстановлении резьбы выбирают таким образом, чтобы проволока при нагреве и осадке полностью заполнила впадину между витками и обеспечила припуск на механическую обработку. Для этого необходимо, чтобы диаметр проволоки превышал шаг резьбы на 5...10 %. Зависимость между усилием сжатия  $Q$  и силой сварочного тока  $I$  (А) выражается формулой

$$Q = 6,4\sqrt{I}, \text{ Н.} \quad (3.8)$$

Приварка проволоки Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность деталей на 10...25 %.

Режимы приварки проволоки приведены в табл. 3.1. Длительность импульса составляет 0,02...0,04 с, а паузы – 0,06...0,08 с. Скорость приварки – 1,6...2,0 м/мин.

Таблица 3.1

Режимы электроконтактной приварки проволоки на наружные поверхности цилиндрических заготовок

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Давление на ролик, Н	Шаг приварки, мм/об
65Г	1,6	5...8	1100	1,6...1,8
	2,0	8...10	1300	2,0...2,2
Св-08	1,6	5...8	1000	1,6...1,8
	2,0	7...9	1300	2,0...2,2
	2,5	8...10	1500	2,5...2,8

Широко распространена электроконтактная приварка ленты толщиной 0,5...0,6 мм из углеродистых сталей 10, 20, 40, 50, У7, У8, 65Г и легированных сталей 40Х и 50ХФА. Для получения заготовок из ленты необходимо оборудование для ее мерной отрезки и предварительной гибки.

Прочность соединения покрытия из ленточного материала с основой при силе тока 7,72 кА, усилии на электроде 1,3 кН, длительности импульса тока 0,04 с и скорости наплавки 1,2...1,5 м/мин находится в пределах 300...400 МПа. Меньшее значение соответствует предварительной обработке точением до 3-го класса шероховатости, большее – дробеструйной обработке.

Режимы приварки металлической ленты на поверхности отверстий чугунных корпусных деталей и шеек стальных валов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

## Режимы приварки металлической ленты

Параметр	Детали	
	Корпусные	Валы
Сила сварочного тока, кА	7,8...8,0	16,1...18,1
Продолжительность сварочного цикла, с	0,12...0,80	0,10...0,12
Продолжительность паузы, с	0,08...0,10	0,04...0,08
Скорость сварки, м/мин	0,5	0,7...1,2
Подача электродов, мм/об	вручную	3...4
Сила сжатия электродов, кН	1,70...2,25	1,3...1,6
Ширина рабочей части электродов, мм	8	4
Диаметр электродов, мм	50	150...180
Марка стали ленты	20	40, 45, 50
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	0,5...1,0	1,5...2,0

Покрyтия на шейках валов шлифуют кругами ПП 23А СМ1-01 К6 из электрокорунда белого в следующем режиме: окружная скорость круга 35 м/с, заготовки 25...30 м/мин, поперечная подача круга 0,2...0,3 мм/мин. Обработку ведут при обильном охлаждении зоны шлифования 1,5...3,0 %-ным водным раствором кальцинированной соды. Выбор сравнительно невысоких режимов обработки обусловлен пониженной теплопроводностью переходной зоны «покрытие – основа». Применение жестких режимов обработки может привести к накоплению тепла в приваренном покрытии и его отслоению вследствие теплового расширения.

На твердость и прочность покрытия наибольшее влияние оказывает его материал (табл. 3.3). Мелкодисперсная структура покрытия способствует не только увеличению твердости, но и ударной вязкости металла, что в конечном итоге уменьшает интенсивность изнашивания.

Таблица 3.3

## Твердость приваренного покрытия из различных материалов

Марка стали	Твердость покрытия, HRC	Марка стали	Твердость покрытия, HRC
20	22...27	55	51...56
40	41...46	40X	51...61
45	46...51	65Г	61...66

Предел выносливости образцов диаметром 40 мм с покрытием из ленты в зависимости от ее марки снижается на 54...67 %. Поверхностное пластическое деформирование в виде обкатывания роликами повышает значение предела выносливости более чем в два раза. Применение сплошных и спеченных лент различного состава и твердости позволяет повысить износостойкость восстановленных элементов в 5...10 раз по сравнению с новыми деталями.

Износостойкость покрытий повышают до 10...15 раз, если перед электроконтактной приваркой под стальную ленту с содержанием углеро-

да не более 0,5 % толщиной 0,4 мм поместить зерна сплавов на основе карбидов вольфрама (ВК8, Т15К6 или релита) размером 0,3...0,5 мм.

Особенности этой технологии следующие. Обеспечивают нагрев участка до температуры 1350 °С, что приводит к плавлению эвтектики Fe-FeO. Создают удельное давление на покрытие роликовым электродом 50...75 МПа при плотности импульса тока до 700 А/мм<sup>2</sup>.

Шейки шлифуют алмазным кругом АПП 300×27×127×5 с зернами АСВ зернистостью 100/80 на металлической связке МВ<sub>1</sub>.

В покрытии из стали 50ФХА на промежуточном слое из порошка ПГ-СР2 после термоциклической обработки и шлифования до номинального размера растягивающие напряжения на 53...55 % меньше, чем в покрытии из такой же стали без использования промежуточного слоя.

Широкими технологическими возможностями обладает электроконтактная приварка *порошковых* материалов. Между движущимися друг относительно друга заготовкой и электродом помещают металлический порошок, через них пропускают электрический ток и прикладывают давление.

Используют порошки из сплавов ПГ-Х20Н80, СНГН, ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, ПГ-ХН80СР2, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-УС25, ПГ-С27, механические смеси KBX и ФБХ-6-2, а также различные композиции.

Вращающаяся или неподвижная заготовка является одним из электродов, второй медный электрод неподвижен или вращается. В зазор между этими электродами подают из бункера металлический порошок. Материал прижимают к восстанавливаемой поверхности заготовки под давлением 30...60 МПа. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 3.6. В результате на поверхности заготовки образуется покрытие, толщина которого определяется углом захвата порошка роликом.

Состав порошков определяет требуемые свойства покрытий. Высокое качество покрытия обеспечивает композиция из самофлюсующегося порошка ПГ-ХН80СР2, порошков сормита ПГ-С1 и железа ПЖ-3М в равных массовых частях с добавкой к ним меди и свинца (1,5...5,0 %). Для восстановления деталей типа «вал» целесообразно использовать следующие композиции: 20 % ФБХ-6-2 + 80 % ПЖ-5; 20 % KBX + 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 75 % ПЖ-5; 30 % ПГ-ХН80СР2 + 70 % ПГ-10Н-04; 20 % ПГ-10К-01 + 80 % ПГ-10Н-04. Покрытия из этих композиций можно точить, их износостойкость высокая.

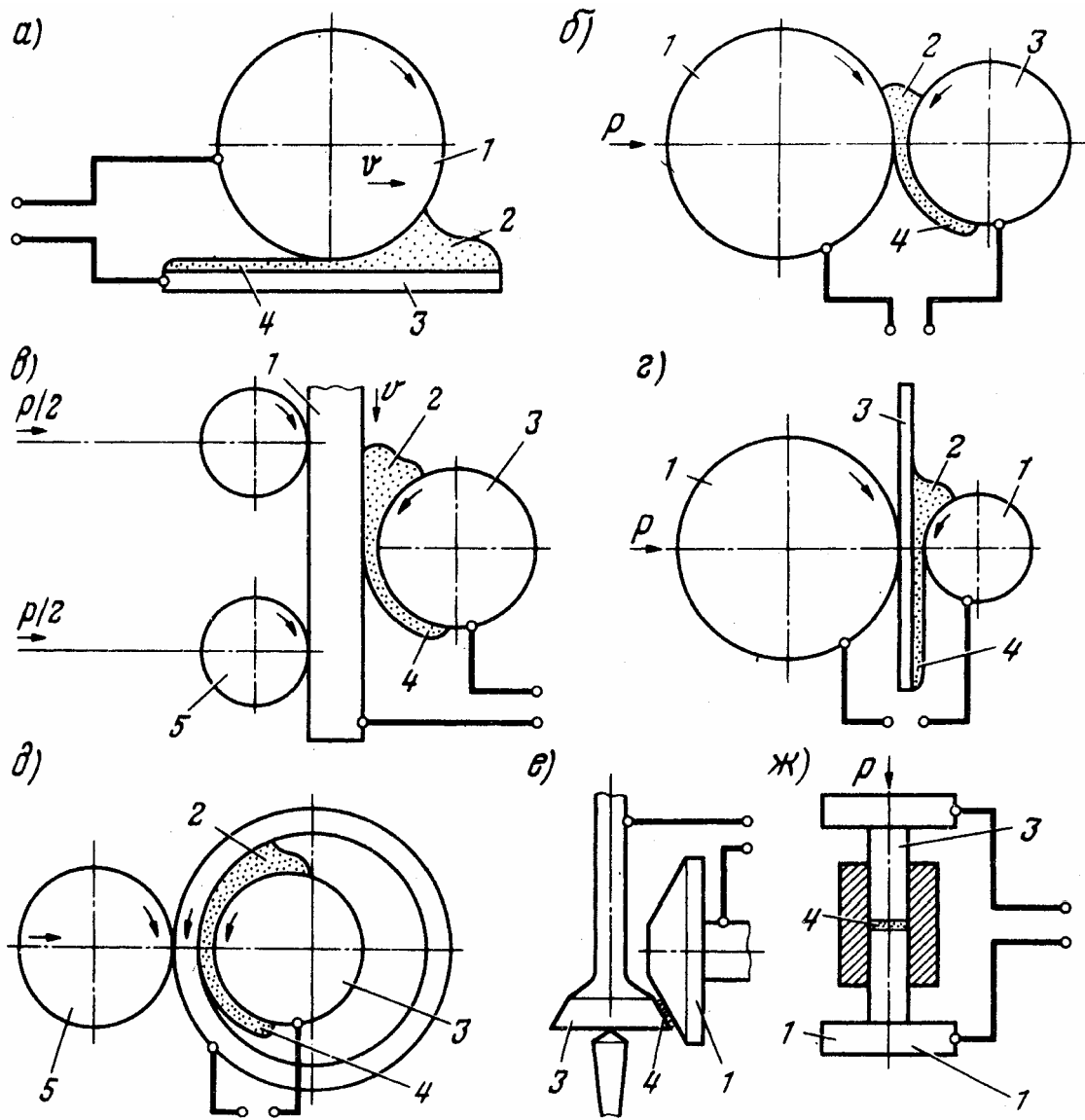


Рис. 3.6. Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности: *а* и *г* – плоские; *б*, *в* и *д* – цилиндрические; *е* – коническую; *ж* – торцовую. Обозначения: 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь; 4 – покрытие; 5 – ролик

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью находится в пределах 150...300 МПа. Пористость (12...25 %) и твердость (25...63 HRC) покрытий изменяются в широких пределах и зависят от составляющих покрытия. Наиболее высокая твердость наблюдается при нанесении покрытий состава ПГ-С1 + (60...70) % ФХ-80.

Предел усталости деталей с покрытиями из порошков снижается на 7...12 % по сравнению с этим показателем у новых деталей.

Покрытия обрабатывают лезвийным или абразивным инструментом. Лезвийную черновую обработку выполняют резцом из гексанита-Р при скорости резания 22...30 м/мин, подаче 0,15...0,20 мм/об и глубине резания 0,5...0,9 мм. Чистовую обработку таким ин-

струментом ведут при скорости резания 60...80 м/мин, подаче 0,02...0,20 мм/об и глубине резания 0,1...0,5 мм.

### 3.2.3. Оборудование

Применяют серийные контактные сварочные машины, например, МШ-1 или МШК-2002 (К-421М). Регулируемые импульсы сварочного тока получают с помощью прерывателей, а также конденсаторными источниками питания с зарядным напряжением 875...900 В и емкостью рабочих конденсаторов 2000...2300 мкФ. Специализированное оборудование для создания различных ремонтных заготовок разрабатывалось ВНИИТУВИД «Ремдеталь», ЧИМЭСХ, МГАУ им. В.П. Горячкина, Институтом механики и надежности машин НАН Беларуси. Применяют также передвижные посты ППКС-01-74. Electroды изготавливают из специальных медных сплавов типа БрХ, БрХК, БрНБТ и БрВНТ.

Оборудование блочно-модульного строения ВНИИТУВИД «Ремдеталь» создано на базе установки 011-1-00 для наплавки валов (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Оборудование для электроконтактной приварки металлического материала

Обозначение	Восстанавливаемые поверхности и детали
011-1-02	Наружные и внутренние поверхности тел вращения
011-1-04	Наружные поверхности (в т.ч. шлицы) тел вращения
011-1-05	Наружные поверхности (в т.ч. резьбы) тел вращения
011-1-06	Внутренние поверхности гильз цилиндров
011-1-07	Наружные поверхности гильз цилиндров
011-1-08	Внутренние поверхности отверстий шатунов
011-1-10	Внутренние поверхности стаканов подшипников
011-1-11	Внутренние поверхности отверстий корпусных деталей

Установка 011-1-02 предназначена для электроконтактной приварки ленты на наружные цилиндрические поверхности диаметром 15...250 мм и длиной до 1200 мм на предприятиях с большой производственной мощностью. Толщина привариваемого покрытия составляет 0,2...1,0 мм, производительность процесса достигает 100 см<sup>2</sup>/мин. С помощью установки 011-1-06 приваривают стальную ленту толщиной 0,4...0,6 мм к зеркалу гильзы цилиндра диаметром 100...300 мм. Установка 011-1-07 обеспечивает приварку стальной ленты толщиной 0,4...0,6 мм к наружным поясам гильз цилиндров диаметром до 180 мм. Установка 011-1-08 служит для нанесения покрытий толщиной 0,2...1,0 мм на рабочие поверхности нижних головок шатунов диаметром 55...150 мм. Производительность установок 011-1-06, 011-1-07 и 011-1-08 составляет 60 см<sup>2</sup>/мин. Установка 011-1-10 служит для нанесения покрытий на наружные поверхности диаметром 100...250 мм и



внутренние поверхности диаметром 60...180 мм стальных и чугунных деталей типа стаканов подшипников. Толщина привариваемой ленты 0,2...1,0 мм. Установка 011-1-11 служит для электроконтактной приварки ленты на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей, в том числе на поверхности коренных опор блоков цилиндров. Для электроконтактной приварки проволоки созданы установки УКН-5, -6, -8М, -9, -10, -11. Восстановление изношенных резьбовых поверхностей с шагом резьбы до 2 мм целесообразно проводить на установке 011-1-05. Покрытия на шейки и резьбовые поверхности на валах длиной до 2000 мм наносят на установке 01-11-022М. Производительность ее в 6...7 раз превышает производительность установки 011-1-05. На установке 01-08-005 наносят покрытия на клапанные гнезда блоков цилиндров двигателей с производительностью до 24 заготовок в час.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Изложите суть электромеханической обработки заготовок. 2. Для каких целей применяют процесс? 3. Изложите разновидности способа при восстановлении деталей. 4. Из каких частей состоит оборудование для электроконтактной приварки материала?

### **3.3. Электроискровая обработка**

Электроискровую обработку предложили Б.Р. и Н.И. Лазаренко в 1952 г.

#### **3.3.1. Сущность, содержание и область применения способа**

При *электроискровой* обработке металлических поверхностей используют энергию импульсных искровых разрядов между электродами в газовой или жидкой среде. Сущность нанесения покрытий и упрочнения поверхностей состоит в том (рис. 3.7), что искровой разряд разрушает материал инструмента (катода), а продукты его эрозии переносятся в газовой среде на заготовку (анод).

В зависимости от технологического назначения процесса длительность, мощность и пауза между разрядами изменяются в широких пределах и регламентируются генератором импульсов.

Преобразование постоянного тока в импульсный происходит следующим образом. Электрический заряд от источника питания накапливается в конденсаторе. По мере зарядки напряжение на конденсаторе повышается до величины, достаточной для пробоя межэлектродного промежутка А. Накопленная конденсатором энергия выделяется в виде импульсного разряда между электродом и деталью. Во время электрического разряда конденсатора напряжение становится ниже необходимого для поддержания промежутка в состоянии проводимости, и разряд прекращается. Эти явле-

ния протекают до тех пор, пока в результате эрозии электродов расстояние между ними не увеличится настолько, что напряжение источника тока окажется недостаточным для пробоя. При сближении электродов процесс снова возобновляется. Скорость зарядки конденсатора должна быть меньше скорости восстановления электрической проводимости межэлектродного промежутка, что достигается подбором значения сопротивления 2.

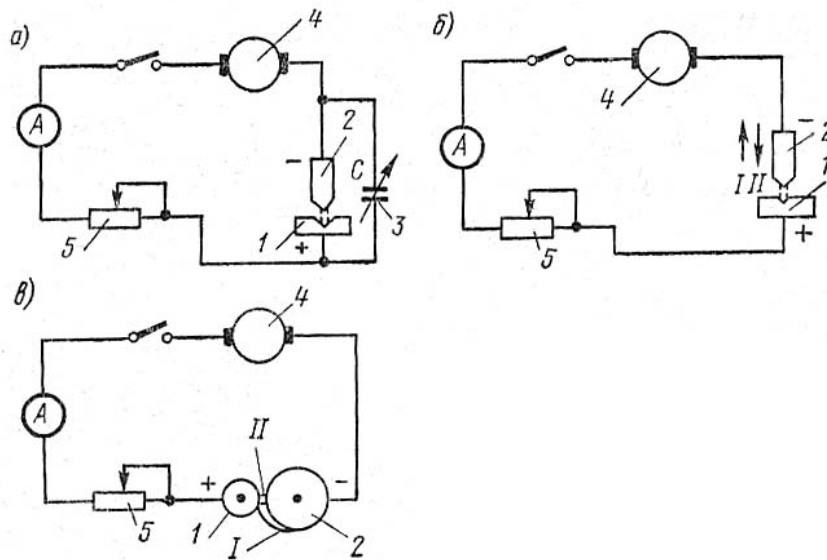


Рис. 3.7. Схемы установок для электроискровой обработки: а) – бесконтактной конденсаторной; б) – бесконденсаторной контактной; в) – бесконденсаторной бесконтактной; I и II – конец и начало разряда; 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – конденсаторная батарея; 4 – источник постоянного тока; 5 – переменное сопротивление

Для непрерывности процесса образования электрического разряда необходимо сохранять постоянство расстояния между электродами. С этой целью в электрическую схему генератора импульсов вводится электродвигатель постоянного тока 4 с независимым возбуждением. Обмотка возбуждения 3 генератора присоединяется непосредственно к зажимам источника питания постоянного тока через сопротивление и потенциометр 8. Обмотка якоря электродвигателя 4 соединена с ползунком сопротивления 2 и ползунком потенциометра. Электрод 5 получает поступательное перемещение от электродвигателя-регулятора посредством зубчатых колес 7 и 9 и передачи винт – гайка. Расстояние между электродами регулируется в зависимости от напряжения на них. При отсутствии электрического разряда, т.е. при большом расстоянии между электродами, направление тока будет таким, что якорь электродвигателя 4 начнет вращаться в направлении, обеспечивающем сближение электрода 5 с деталью 6. При соприкосновении электродов направление тока в обмотке якоря изменится, вследствие чего изменится и направление вращения якоря, а электрод 5 начнет подниматься.

Электрический ток при работе электроискрового станка непрерывно меняется как по величине, так и по направлению; якорь электродвигателя поддерживает некоторую среднюю величину межэлектродного расстояния. Регулятор настраивается на работу при различной величине пробивного напряжения, которое задается положением движка на потенциометре 8.

На скорость разрушения катода влияют теплофизические свойства его материала и режимы обработки. При постоянном режиме обработки электрод расходует равномерно.

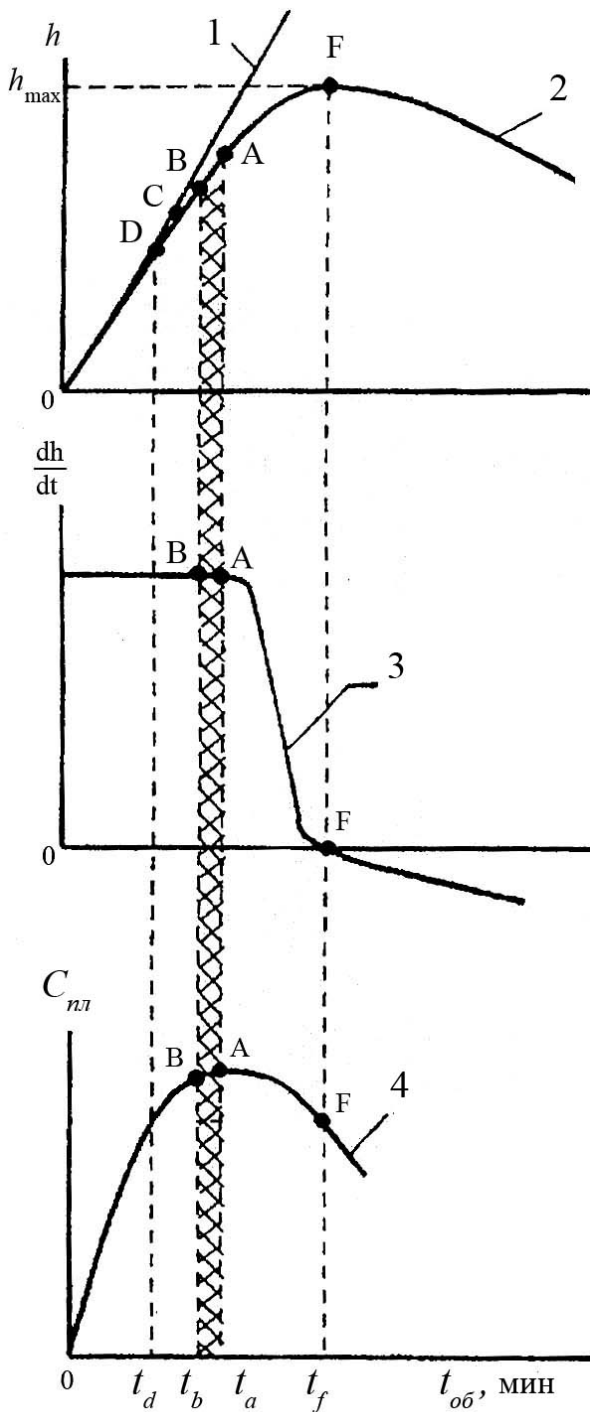
Импульсы разряда длятся до 10 мкс. Значение плотности тока в среде переноса электродного материала достигает  $10^4$  А/мм<sup>2</sup>. Температура среды в канале разряда составляет 5000...11000 °С, тепло вызывает плавление фрагментов электрода и их частичное испарение. Пары металла расширяются и сбрасывают с поверхности катода расплавленный металл, который попадает в газовую среду, осаждается на аноде и затвердевает. Нанесенный материал диффундирует в металл восстанавливаемого элемента детали и за счет быстрой кристаллизации жидкой фазы и локальной закалки образуются твердые растворы и мелкодисперсные карбиды. При определенных режимах обработки сверхскоростная закалка обеспечивает покрытие высокую твердость.

Перенос металла на поверхность заготовки формирует покрытие химического состава, близкого к составу материала электрода. Покрытие имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается диффузионными процессами при высокой температуре.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой (ближний к заготовке) – это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Перенесенный материал катода легирует материал заготовки и, соединяясь с атомарным азотом воздуха и углеродом материала заготовки, образует диффузионный износостойкий слой. В слое образуются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды. Второй нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Слой обладает высоким сопротивлением схватыванию и коррозии. Третий наружный слой подобен газотермическому покрытию, он образован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура его напоминает строение антифрикционного сплава – частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу.

Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале заготовки и энергии единичного импульса и достигает макси-

мального значения  $h_{max}$  при значении времени  $t_f$ . Чем ближе время обработки  $t_{об}$  ко времени насыщения  $h_f$  (рис. 3.8), тем хуже качество покрытия.



Растет шероховатость и уменьшается его сплошность, оно окисляется, становится темным, а дефектность структуры достигает предельного значения. Обработку заканчивают в моменты времени, соответствующие участку  $B-A$  графика.

Производительность процесса и качество обработанной поверхности зависят как от соотношения эрозионной стойкости материалов инструмента и заготовки, так и от режима обработки. Эрозионная стойкость металла выражается его массой, снимаемой в единицу времени или за определенное число циклов. Более стойкие к эрозии элементы располагаются ближе к концу ряда: олово, свинец, цинк, алюминий, железо, никель, серебро, медь, углерод, вольфрам.

Нанесение твердых износостойких покрытий толщиной до 0,1 мм относят к упрочнению, а любых покрытий большей толщины – к наплавке. При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а на поверхности неподвижных соединений – до 1,5 мм. Если требуется нанести покрытие большей толщины, то применяют катод из ма-

Рис. 3.8. Зависимость толщины электрода (1), толщины покрытия  $h$  (2), роста толщины  $dh/dt$  (3) и изменения сплошности покрытия  $C_{пл}$  (4) от времени обработки  $t_{об}$ .

Обозначения:  $OD$  – область линейных изменений характеристик покрытия;  $C$  – точка кривой толщины покрытия, определяющая нелинейные превращения;  $AB$  – область оптимальных значений характеристик покрытия;  $F$  – область, определяемая временем насыщения

териала с меньшей эрозионной стойкостью или повышают значения режима обработки.

Глубина зоны термического влияния в материале заготовки составляет 0,8...1,0 мм. Предел выносливости детали практически не изменяется.

Шероховатость и сплошность покрытий регулируются. На черновых режимах обработки получают шероховатость поверхности 3...4 классов, а на чистовых – 5...6 классов.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке также имеет особенности. Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать  $Rz$  10 мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц расплавленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные сферические впадины и выступы. Микро-рельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям вдоль поверхности. Однако с увеличением толщины покрытий средняя высота  $Rz$ , радиус закруглений и средний шаг неровностей растут.

При эксплуатации наплавленные поверхности показывают лучшие результаты по сравнению с исходными. Механическую обработку (полирование) наплавленного покрытия выполняют после его пластического поверхностного деформирования. Для достижения оптимальной площади опорной поверхности целесообразно назначать как толщину слоя покрытия, изменяющуюся при обкатывании или раскатывании (табл. 3.5), так и припуск на абразивную обработку в долях толщины покрытия.

Таблица 3.5

Доля толщины покрытия, участвующая в поверхностном пластическом деформировании при упрочнении и восстановлении деталей

Рабочие поверхности	Упрочненные	Восстановленные
Легконагруженные в неподвижных соединениях	0,05...0,10	0,1...0,2
Тяжелонагруженные в неподвижных соединениях	0,1...0,3	0,2...0,4
Легконагруженные при трении скольжения	0,2...0,4	0,2...0,5
Тяжелонагруженные при трении скольжения	0,4...0,6	0,3...0,7

Если обкатывание (раскатывание) роликами или шариками ведут при давлении 5...20 % от предела текучести материала, то остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате наплавки и снижающие усталостную прочность на 10...30 %, практически снимаются. Опорная поверхность после пластического деформирования увеличивается, а образовавшиеся каналы удерживают около 0,02 мм<sup>3</sup> масла на каждый 1 см<sup>2</sup>

площади покрытия. Угол их раскрытия такой, что за счет поверхностного натяжения масло выступает над поверхностью трения.

В ремонтных чертежах деталей указывают параметры шероховатости  $R_{max}$ ,  $Rz$  или  $S_m$ , радиус закругления вершин  $r$ , длину относительной опорной поверхности при различных уровнях профиля  $t_{20\%}$ ,  $t_{40\%}$  и  $t_{50\%}$ , базовую длину  $l_0$ , а также шероховатость поверхности  $Ra$  между масляными каналами.

Процесс применяют для наращивания и упрочнения поверхности с износом до 0,2 мм при высоких требованиях к твердости и износостойкости восстановленной поверхности и невысокими требованиями к сплошности покрытия.

С помощью электроискровой обработки восстанавливают изношенные детали и упрочняют режущие кромки инструментов (резцов, фрез, штампов и др.) нанесением твердых сплавов, а также изменяют свойства поверхностей деталей путем придания им антикоррозионных, жаростойких, фрикционных и антифрикционных качеств. Восстанавливают шейки валов и осей, поверхности отверстий под подшипники, упрочняют трущиеся поверхности вместо термообработки. Способ получил распространение при изготовлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15Х и имеющих твердость 56...63 НРС. Стойкость режущей части инструмента в результате упрочнения увеличивается до 2 раз. Износостойкость деталей после электроискрового упрочнения повышается в 3...8 раз.

В ряде случаев после электроискровой обработки при изготовлении подшипниковых узлов и восстановлении их поверхностей последующая механическая обработка не требуется.

### ***3.3.2. Материалы, режимы и оборудование***

Для электроискрового упрочнения применяют материалы (электроды): металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4, Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечения; медную проволоку; бронзу Бр.АЖ10-3, Бр.АЖМц10-3-1,5, Бр.АЖН10-4-4, ВБр.5М и др.; аналог рэлита ДКВ; алюминивно-оловянисто-медный сплав АОМ; сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-2М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ-15 и др. Применяют также сормайт, стеллит и вольфрам.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из раз-

личных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него медь, а затем олово.

Покрытия, нанесенные из металлокерамики ВК6-ОМ или стали 65Г, обладают такими свойствами. Микротвердость диффузионной зоны равна 6940...7270 МПа (45...50 HRC). Микротвердость покрытия из ВК6-ОМ равна 7990...8840 МПа (68 HRC), а из стали 65Г – 6760...7590 МПа (57...59 HRC). Толщина первого слоя (у поверхности) составляет 3...10 мкм, второго (белого) – 40 мкм для ВК6-ОМ и 100 мкм для стали 65Г, третьего (наружного) – примерно 43 мкм.

Покрытия наносят конденсаторными установками с электромагнитными вибраторами, обеспечивающими периодический контакт с инструментом заготовки. Напряжение в момент разряда конденсаторов достигает 100...150 В. Режимы нанесения покрытий приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Режимы электроискровой обработки

Режим	Сила тока, А	Сила тока короткого замыкания, А	Напряжение, В
Чистовой	0,5...0,7	2,5	15
	0,8...1,2	3,0	25
Средний	1,2...1,5	3,5	45
	1,6...2,0	4,5	75
Черновой	2,0...2,5	4,8	140
	2,6...3,0	5,0	200

Наибольшее распространение получили установки моделей ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Имеется семь моделей модернизированных мобильных установок типа «Элитрон» и две модели установок «Вестрон», с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и толщиной 0,4...1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Электроискровое наращивание и легирование на модернизированной установке «Элитрон-22БМ» ведут в безвибрационном режиме. Проведена модернизация оборудования для электроискрового легирования «Элитрон-22А», «Элитрон-22Б» и «Элитрон-52БМ» в соответствии с патентом России № 2119552. Установка «Элитрон-52БМ» работает в механизированном режиме с комплектом устройств КМП-50М.

В установках «Вестрон-005» и «Вестрон-006» совмещены транзисторно-тиристорный и резисторно-емкостной генераторы, использованы новые вибровозбудители с вращающимися электродами и повышена час-

тока импульсов тока со 100 до 800 Гц. Установки «Вестрон» позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм со сплошностью более 80 %.

Технологические перемещения инструмента выполняют как ручную, так и с применением средств механизации. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие имело максимальную сплошность, равномерную толщину и ровную поверхность, отражающую свет.

### Вопросы для самоконтроля

1. Изложите суть и приведите область применения электроискровой обработки.
2. Как устроено покрытие, нанесенное при электроискровой обработке заготовок?
3. Как изменяются свойства по толщине покрытия? 4. Какое применяют оборудование для нанесения покрытий?

### Лабораторная работа № 1

#### ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА

Электроэрозионная обработка наиболее эффективна при изготовлении из труднообрабатываемых металлических материалов деталей сложной формы: штампов, прессформ, форсунок, прецизионных деталей. Разновидностями электроэрозионной размерной обработки являются электроискровая, электроимпульсная, анодно-механическая и электроконтактная.

*Цель работы* – изучить технологию электроискровой обработки материалов.

*Материалы и оборудование:* станок прошивной электроэрозионный 4Г721М, станок электроискровой отрезной 4534, образцы из быстрорежущей стали Р6М5, твердосплавные пластины ВК6, набор электродов-инструментов различного диаметра, штангенциркуль, секундомер.

*Ход работы.* После выбора образца определяется диаметр отверстия, которое необходимо получить в ходе работы. Подбирается соответствующий электрод-инструмент. Определяются технологические параметры электроискровой и механической частей оборудования по справочнику (Шумов, Е.Г. Электроэрозионное шлифование: справочник / Е.Г. Шумов, Е.А. Деев. – М.: Машиностроение, 1977. – 60 с.).

Энергия импульса  $W$  (Дж) вычисляют по формуле

$$W = I_{cp} U_{cp} t, \quad (3.9)$$

где  $I_{cp}$  – среднее значение силы тока, А

$$I_{cp} = (0,5 \dots 0,75) I_o, \quad (3.10)$$



$I_o$  – сила тока короткого замыкания, измеряемая прибором станка;  $U_{cp}$  – среднее значение напряжения, В

$$U_{cp} = (0,5 \dots 0,75)U_o, \quad (3.11)$$

$U_o$  – напряжение холостого хода, измеряемое прибором станка;  $t$  – время получения отверстия, с.

Данные занести в таблицу 3.7.

Таблица 3.7

Данные технологических параметров обработки материала

Материал детали	Сила тока, А	Напряжение, В	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Время получения отверстия, с	Материал электрода

*Содержание* отчета: цель работы, краткие теоретические сведения, оборудование и материалы, результаты исследований, выводы по работе.

### 3.4. Электронно-лучевая обработка

#### 3.4.1. Содержание способа и применяемое оборудование

Электронно-лучевой нагрев металлов и сплавов применяют для плавления и соединения свариваемых металлов за счет кинетической энергии пучка электронов, движущихся под действием электрического поля в глубоком вакууме.

Работа  $A$ , затраченная электрическим полем на перемещение электрона из одной точки поля в другую, равна

$$A = eU, \text{ эВ}, \quad (3.12)$$

где  $U$  – разность потенциалов между точками, В;  $e$  – заряд электрона,  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Эта работа затрачивается на сообщение электрону кинетической энергии  $W$

$$W = \frac{m_e v^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (3.13)$$

где  $m_e$  – масса электрона,  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг;  $v$  – скорость электрона, м/с;

Приравняв правые части уравнений 3.11 и 3.12, получаем скорость движения электрона

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}, \text{ м/с}. \quad (3.14)$$

Например, при  $U = 10$  кВ скорость электрона составляет  $\sim 60000$  км/с. В ряде случаев эта скорость достигает  $0,05 \dots 0,70$  от скорости света.

Установки бывают низковольтные (до 30 кВ), среднего напряжения (40...60 кВ), высоковольтные (100...200 кВ) и с ускорителем электронов (до 1500 кВ).

При указанных скоростях электронов, даже при небольшой их массе, кинетическая энергия частиц достаточна для нагрева обрабатываемого металла до температуры плавления. Плотность энергии на поверхности заготовки достигает  $5 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, а диаметр фокального пятна составляет  $0,2 \dots 0,8$  мм. Давление среды в камере –  $0,13 \dots 1,3$  Па. Пучки электронов могут быть непрерывными и импульсными.

Устройство для получения пучка электронов (электронная пушка) и сварки заготовок приведено на рис. 3.9. Катод 1 изготовлен из материала, обладающего большой эмиссионной способностью (обычно из вольфрама). Катод нагревается электрической спиралью 2. Прикатодный электрод 3, к которому, как и к катоду, приложен отрицательный потенциал, предварительно фокусирует поток электронов, вылетающих из катода под разными углами.

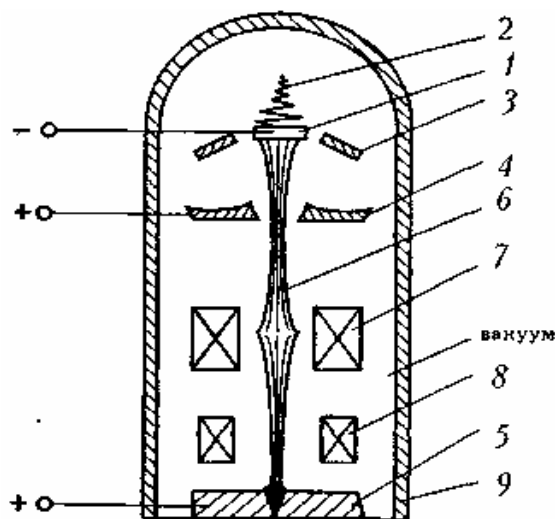


Рис. 3.9. Схема электронно-лучевой пушки: 1 – катод; 2 – электрический нагреватель катода; 3 – прикатодный электрод; 4 – ускоряющий электрод (анод); 5 – заготовка; 6 – электронный луч; 7 – фокусирующая система; 8 – отклоняющая система; 9 – вакуумная камера

Ускоряющий электрод (анод) 4 имеет отверстие, через которое пролетают электроны, двигаясь к свариваемому изделию 5, также подключенному к положительному полюсу источника питания. Вследствие отталкивания электронов друг от друга электронный луч 6 расширяется. Для его

сжатия служит фокусирующая система 7. Точное наведение электронного луча на свариваемый стык выполняет магнитная отклоняющая система 8.

Электронно-лучевую пушку и свариваемое изделие помещают в камеру 9, где создают вакуум, значение которого указано выше. Вакуум при сварке, во-первых, обеспечивает свободное движение электронов без столкновения с молекулами воздуха. Во-вторых, вакуум предотвращает дуговой разряд между катодом и анодом и выполняет химическую изоляцию катода, который в воздухе интенсивно окисляется. В-третьих, вакуум играет роль защиты расплавленного металла от окружающей атмосферы. Эта защита более эффективна, чем газовая или флюсовая. В-четвертых, в вакууме улучшается дегазация сварочной ванны, облегчается удаление оксидных пленок, что улучшает качество сварного соединения.

В странах СНГ выпускают следующие электронные пушки: У-146, У-530М, У-858, У-670 – до 120 кВ, У-777 – до 240 кВ, У-885, УЛ-108, УЛ-119, УЛ-141, ЭП-25, ПЛ-100, ПЛ-101, ПЛ-102, ПЛ-104, ПЛ-105, ПЛ-107, ПЛ-110, А.852.04, А.852.18, А.952.19, ЭЛУ-1, А.306.05, СП-30, работающие при ускоряющем напряжении до 25...30 кВ и мощности луча до 15 кВт, ЭЛА 60/15, ЭЛА 60/60 (ИЭС им. Е.О. Патона); ЭП-60, ЭП-60А, ЭП-60/2,5, ЭП-60/10М, ТЭП 60/60 (НИАТ), ПЭСК-60/15, ЦЭП-1, ЦЭП-5 – до 60 кВ (НПО ЦНИИТМАШ). Номинальный ток этих пушек, как правило, составляет 0,2...1,0 А, рабочее расстояние от нижнего среза пушки до поверхности изделия находится в пределах 290...510 мм. Для плавления металла необходимы мощность до 500 кВт (ускоряющее напряжение 30...40 кВ, сила тока в луче до 20 А, удельная мощность в фокальном пятне до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>).

Система питания электронных пушек представляет собой высоковольтный источник постоянного тока и блока управления.

Установки для сварки оснащаются форвакуумными насосами типа ВН или АВЗ, высоковакуумными агрегатами типа ВА и АВН, сорбционными и турбомолекулярными насосами и электродуговыми агрегатами.

### ***3.4.2. Область применения способа***

Одна из основных особенностей нагрева металла электронным лучом – это достижение на поверхности изделия высоких значений удельной мощности. По этому параметру электронный луч существенно превосходит электрическую дугу. Это обеспечивает «кинжальное» проплавление металла, при котором большая глубина проплавления сочетается с малой шириной шва.

Длина свободного пробега электрона в металле равна  $2,1 \cdot 10^{-12}$  см. Большая глубина проплавления металла достигается тем, что формирова-

ние соединения имеет свои особенности (рис. 3.10). Интенсивная электронная бомбардировка металла на передней стенке кратера сопровождается его разогревом. Вследствие температурного градиента создается давление  $P$ , обусловленное действием сил поверхностного натяжения и реакции испаряемого металла, под действием которых жидкий металл перемещается из зоны нагрева в зону кристаллизации. При этом оголяется нерасплавившийся металл сварочной ванны, который также расплавляется и перетекает в зону кристаллизации. Таким образом, электронный луч постепенно углубляется в металл, чем достигается большая глубина проплавления и высокой КПД сварки из-за внутреннего объемного нагрева металла, а не поверхностного, как при дуговой сварке.

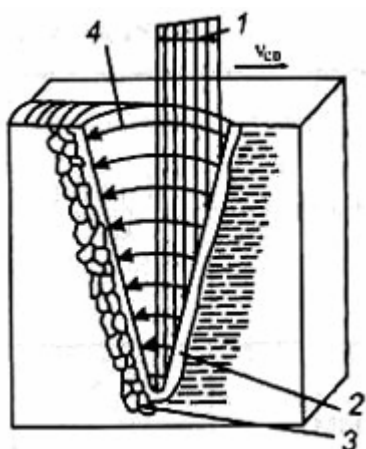


Рис. 3.10. Образование сварного соединения при электронно-лучевой сварке: 1 – электронный луч; 2 – передняя стенка кратера; 3 – зона кристаллизации; 4 – путь движения жидкого металла

10...50 кэВ). Во втором случае (при энергии более 100 кэВ) заряженные частицы проникают в вещество на глубину в десятки и сотни микрон.

Малый объем обрабатываемого металла и кратковременность теплового воздействия обеспечивают незначительные термические деформации соединяемых деталей. Размеры зоны термического влияния составляют около 0,2 мм.

Электронно-лучевая сварка за счет высокой концентрации энергии позволяет сваривать тугоплавкие металлы, а за счет вакуумной защиты – химически активные материалы. Возможно плавное изменение мощности луча за счет изменения его диаметра. Это позволяет производить предварительный нагрев кромок или последующую термическую обработку шва расфокусированным лучом.

Самостоятельные направления электронно-лучевой обработки следующие:

1. Рафинирование материала за счет оплавления и последующего затвердевания металла с небольшой скоростью продвижения фронта фазовых превращений. Применяют для очистки металла у поверхности заготовки от примесей и включений без дополнительного легирования металла. Такой нагрев применяют также для устранения (заваривания) поверхностных дефектов и формирования периодического рельефа на поверхности заготовки;

2. Закалка сплавов из твердого состояния со скоростями нагрева  $\sim 10^2 \dots 10^4$  °C/с. Способ заключается в быстром нагреве участка поверхности до температуры, превышающей начало аустенитного превращения за время до  $10^{-8}$  с. Скорость охлаждения достигает значения  $10^7$  °C/с. Поскольку растворимость углерода в матрице сталей возрастает с температурой экспоненциально, то идеальным вариантом проведения процесса является нагрев упрочняемого сплава за минимальный отрезок времени до температуры, близкой к температуре плавления. Для самозакалки нагретого слоя соотношение между толщинами этого слоя и детали должно быть не менее 1:4.

3. Поверхностное легирование введением в расплавленную металлическую основу растворимых и нерастворимых материалов, обработка предварительно нанесенных покрытий и нагрев слоев после ХТО. Соотношение между наплавкой и легированием зависит от соотношения толщин наносимого материала и диффузионной зоны. Если они примерно равны, то речь идет о наплавке. Упрочненные мелкозернистые слои имеют толщину 0,3...2,0 мм.

4. Наплавка покрытий. Применение новых промышленных ускорителей электронов с энергией 1,5 МэВ и более и мощностью 50 кВт позволяет производить наплавку углеродистых, легированных и жаропрочных сталей, серого чугуна и меди. Применяют наплавочные материалы в виде порошков: ПР-Н80Х13С2Р, ПР-Н73Х16С3Р3, ПР-Н67Х18С5Р4, ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-10Р6М5, ПГ-10Н-04, ФБХ-6-2 и др. Толщина насыпного слоя 1...5 мм, ширина слоя 8...40 мм, мощность электронного пучка 1,5...15 кВт, скорость наплавки 8...110 мм/с.

Покрытия, полученные электроннолучевой наплавкой, содержат небольшое количество кислорода и азота,  $(4...19) \cdot 10^{-3}$  % и  $(1...7) \cdot 10^{-3}$  % соответственно. Столь низкое содержание газов в металле, наплавленном без защиты, объясняется возникающим потоком в зоне облучения порошка, состоящем из активированных газов, паров металла и ультрадисперсных

частиц. Этот поток препятствует контакту расплавленного металла с воздухом и исключает поры в покрытии.

Электроннолучевая наплавка имеет высокую производительность и широкие технологические возможности. Например, по сравнению с индукционной ее производительность выше в 10...15 раз. Способ применим для наплавки любых материалов, он позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления основного металла, структуру основного и наплавленного металлов.

5. Сварка в труднодоступных местах по сложной траектории. Электронно-лучевую сварку целесообразно также применять для сварки тугоплавких, разнородных и химически активных материалов.

6. Оплавление слоев или покрытий со сравнительно высокими скоростями плавления и кристаллизации ( $10^2 \dots 10^5$  °C/c), обеспечивающими закалку сплавов из жидкого состояния, их гомогенизацию и уменьшение размера зерна.

Оплавление и затвердевание с высокими и сверхвысокими скоростями ( $10^3 \dots 10^7$  °C) приводит к аморфизации (стеклованию) тонкого поверхностного слоя материала.

В последние десятилетия внимание исследователей привлечено к изучению аморфного состояния поверхностных слоев металлических сплавов, в том числе получаемых при восстановлении деталей. Эти слои характеризуются отсутствием дальнего порядка во взаимном расположении атомов и называются *металлическими стеклами*.

Металлические стекла характеризуются уникальным сочетанием необычных электрических, магнитных, механических и химических свойств. Так, часть из них имеет удовлетворительную пластичность наряду с высокой твердостью и прочностью при растяжении, приближающейся к теоретической.

Например, твердость сплава  $Fe_{80}B_{20}$  составляет 1100 HV, а предел его прочности при растяжении 3130 МПа, для сплава  $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$  – 890 HV и 3330 МПа и для сплава  $Fe_{80}P_{13}C_7$  – 760 HV и 3040 МПа соответственно. В то же время эти сплавы имеют хорошую пластичность.

Металлические стекла имеют характеристики упругости (модули E и G) на 25...30 % более низкие по сравнению со свойствами сплавов в кристаллическом состоянии. Коэффициент теплового расширения части таких материалов близок к нулю. Еще одним достоинством металлических стекол является их уникальная коррозионная стойкость, в частности, устойчивость к питтингу в растворах кислот. Она объясняется наличием однородной пассивной пленки, образующейся на поверхности материала.

8. Ударное упрочнение, проводимое с еще более высокими скоростями за время  $10^{-6} \dots 10^{-8}$  с. Глубинное упрочнение материала происходит в результате действия распространяющихся в виде ударной волны упругих колебаний.

### **3.4.3. Преимущества и недостатки способа, область применения**

Преимущества способа: минимальное коробление изделий, отсутствие окисления и обезуглероживания, нет необходимости в применении горючих и закаливающих сред, высокий КПД (около 75 %), экологическая чистота.

Недостатки способа: сложность и высокая стоимость оборудования, использование высокого напряжения, трудоемкость создания вакуума.

Способ нашел применение при восстановлении и упрочнении дорожек качения подшипников, режущих кромок инструментов, седел и толкателей клапанов, канавок поршней, шеек и кулачков валов, шаровых опор и др.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как определяют скорость электронов при электронно-лучевой обработке?
2. Чем объясняется глубокое проплавление материала при электронно-лучевой сварке?
3. Перечислите основные случаи применения электронно-лучевой обработки.
4. Каковы преимущества электронно-лучевой обработки?

### **Лабораторная работа № 2**

#### **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА**

*Цель работы:* изучить технологию электронно-лучевой обработки материалов.

Основная часть электронно-лучевого оборудования – это энергетический комплекс, включающий аппаратуру для формирования сфокусированного пучка электронов, управления его параметрами и траекторией перемещения луча по обрабатываемому изделию (см. рис. 3.10). Электронно-оптическая система (электронная пушка) включает эмиттер электронов, системы формирования и ускорения (управляющий электрод, анод), системы юстировки, фокусировки, отклонения луча, аксиального наблюдения за пучком. Изготавливаются пушки с термо- и плазменным катодом, а также пушки с использованием высоковольтного тлеющего разряда с холодным катодом. Наиболее широкое распространение получил первый вид пушек. Основные типы термокатодов — проволочные, ленточные и массивные катоды прямого и косвенного нагрева, изготавливаемые обычно из вольфрама. В качестве непосредственного эмиттера электронов часто используются лантанборидные ( $\text{LaB}_6$ ) катоды с косвенным подогревом. Нагретый до высокой температуры катод эмиттирует электроны. Поток элект-

тронов формируется в пучок полем управляющего электрода. В дальнейшем пучок сжимается с помощью электромагнитного поля системы фокусировки для получения максимальной плотности энергии в фокальном пятне луча.

*Материалы и оборудование:* рабочее место ВУП4 на базе электронно-лучевой установки «Элион», измерительный инструмент, секундомер, установка для определения твердости по Роквеллу.

*Ход работы.* После получения образцов измеряются их геометрические параметры. Определяются технологические параметры оборудования. Проводится сварка образцов. Замеряются технологические и геометрические параметры шва. Данные заносятся в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Данные технологических параметров обработки материала

Материал детали	Толщина детали	Сила тока, мА	Ускоряющее напряжение, кВ	Скорость сварки, м/ч	Ширина шва, мм

*Содержание отчета:* цель работы, краткие теоретические сведения, оборудование и материалы, результаты исследований, выводы по работе.

### 3.5. Лазерная обработка

#### 3.5.1. Общие понятия

В качестве источника тепла используют луч лазера.

Лазер – аббревиатура английского названия Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – «усиление света с помощью индуцированного излучения».

*Лазер* – оптический квантовый генератор электромагнитного излучения. При создании лазера учитывались следующие явления:

– наряду со спонтанным излучением существует вынужденное. Этот вид излучения возможен тогда, когда фотон света встречается с возбужденным атомом. Если энергия возбужденного атома в точности равна энергии фотона, то фотон заставляет атом перейти на более низкий энергетический уровень с выделением нового фотона, который совпадает по фазе с первоначальным и движется в том же направлении;

– если систему излучающих атомов заключить в трубку, доньшки которой находятся на определенном расстоянии друг от друга и служат зеркалами для фотонов, то можно за счет движения фотонов туда и обратно постепенно собрать в этом сосуде множество фотонов, порожденных одинаково возбужденными атомами;

– стараются подольше удерживать атомы в возбужденном состоянии, а затем после такой накачки заставить все атомы выделить фотоны одновременно.



Размножение фотона и получение миллиардов тождественных не отличающихся по своим свойствам фотонов приводит к созданию луча огромной интенсивности. Такой луч размывается в ничтожной степени и на поперечное сечение луча приходится огромная энергия.

Луч лазера обладает рядом свойств, отличающих его от обычного светового луча. Такими свойствами являются направленность, монохроматичность и когерентность. По своей направленности лазерный луч в тысячи раз превышает, например, прожекторный луч. Это позволяет концентрировать энергию на относительно небольшом участке. В отличие от обычного белого луча, несущего набор различных частот электромагнитных колебаний, лазерный луч монохроматичен, т.е. обладает строго определенной длиной волны и частотой. Это позволяет хорошо его фокусировать различными оптическими линзами, так как угол преломления луча в линзе постоянен. Когерентность – это согласованное протекание во времени нескольких волновых процессов. Когерентные колебания вызывают оптический резонанс, который усиливает мощность излучения.

Лазеры различаются:

- способом создания в среде инверсионной заселенности, или способом «накачки» (оптическим излучением, электронным пучком, химической реакцией);
- лазерным веществом (газы, жидкости, твердые диэлектрики);
- конструкцией резонатора (плоский, кольцевой и др.);
- режимом работы (импульсный, непрерывный).

Лазеры характеризуются мощностью, КПД преобразования какого-либо вида энергии в энергию излучения, энергией в импульсе и другими параметрами.

### ***3.5.2. Лазерные установки***

В качестве элемента обратной связи используют систему зеркал, называемую *резонатором*. Простейший и наиболее часто применяемый резонатор – это две обращенные друг к другу поверхности, между ними находится активное вещество, в котором возникает процесс излучения.

Схема твердотельного лазера приведена на рис. 3.11. В качестве активного тела 1 используют стержни из рубина, алюмоиттриевого граната, стекла, активированного ионами ниодима, иттербия, эрбия, гольмия и других элементов. Они размещаются в осветительной камере 3. Для возбуждения атомов активного света применяют лампу накачки 2, создающую мощные вспышки света. По торцам активного тела размещены зеркала – отражающее и частично прозрачное. Луч лазера проходит, многократно

отражаясь и усиливаясь, внутри рубинового стержня и выходит через прозрачное зеркало. КПД твердотельных лазеров составляет 2...5 %, их характеристика приведена в табл. 3.9.

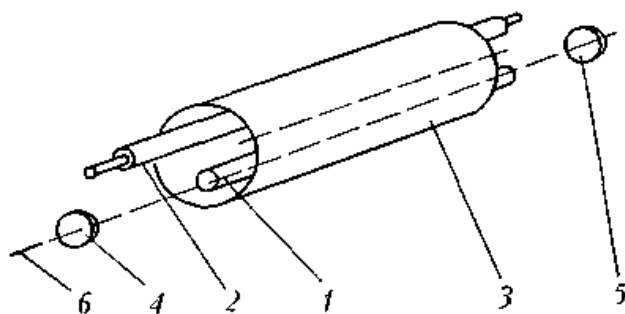


Рис. 3.11. Схема твердотельного лазера: 1 – активное тело; 2 – лампа накачки; 3 – осветительная камера; 4 – частично прозрачное зеркало; 5 – отражающее зеркало; 6 – луч лазера

Таблица 3.9

Характеристика твердотельных лазерных установок

Установка	Энергия излучения, Дж	Длительность импульса, мс	Частота импульсов, Гц	Диаметр светового луча, мм	Масса, кг	Потребляемая мощность, кВт
Квант-9М	8	0,5	2	До 2	200	2,5
Квант-12	3	1,5; 4	20	0,25; 1	600	6
Квант-10	15	4		0,4; 1,4	350	6
Квант-16	30	4...7	0,1...1	2...5	350	–
Квант-17	8	4	10	–	550	12
Двухлучевой Квант-18	10...130	8...10	1	–	–	5

Более мощными являются газовые лазеры, в которых в качестве активного тела используют смесь газов, обычно  $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$ . Расходимость луча в них составляет 1...2 мрад. Схема газового лазера с продольной прокачкой газа приведена на рис. 3.12. Газ из баллонов 6 прокачивается насосом 7 через газоразрядную трубку 1. Для энергетического возбуждения газа используют электрический разряд между электродами 2. По торцам газоразрядной трубки расположены зеркала 3 и 4. Электроды подключены к источнику питания 8. Лазер охлаждается водяной системой. Недостатком лазеров с продольной прокачкой газа являются их большие габаритные размеры. Более компактны лазерные установки с поперечной прокачкой. Их мощность достигает 20 кВт, что дает, например, возможность сваривать металлы толщиной до 20 мм со скоростью около 60 м/ч. Характеристика газовых лазерных установок приведена в табл. 3.10.

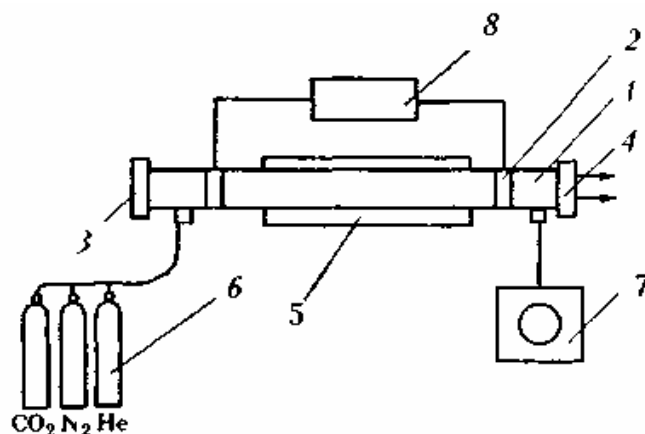


Рис. 3.12. Схема газового лазера с продольной прокачкой газа: 1 – газоразрядная трубка; 2 – электроды; 3 – отражающее зеркало; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – водяная рубашка охлаждения; 6 – баллоны с газом; 7 – насос для прокачки газов; 8 – источник питания

Таблица 3.10

Характеристика газовых лазерных установок

Установка	Мощность излучения, кВт	Диаметр луча, мм	Расходимость излучения, мрад	Потребляемая мощность, кВт	КПД, %	Масса, кг
ЛГН-702	0,8	45	2	18	5	1100
Гарпун-5000	0,5...5	40	2	70	5...6	3000
Катунь	0,8	45	2	18	12	690
Иглан	2,5	96	2	60	4	3650
ЛГ1-2	До 5	45	5	80...100	5...7	5500
ЛГУ1-2	1,2	80	2	40...60	3...4	2650

Наиболее мощными являются газодинамические лазеры. Для работы используют газы, нагретые до температуры 1000...3000 К. Газ вытекает со сверхзвуковой скоростью через сопло Лавалья, в результате чего происходит его адиабатическое расширение и охлаждение в зоне резонатора. При охлаждении возбужденных молекул  $\text{CO}_2$  происходит переход их на более низкий энергетический уровень с испусканием когерентного излучения. Для накачки может быть использован другой лазер или другие мощные источники энергии. Лазер мощностью 100 кВт позволяет сваривать сталь толщиной 35 мм со скоростью 200 м/с.

Преимущества:

- возможность очень точной дозировки энергии, что позволяет получить качественные соединения при изготовлении тонких деталей;
- возможность получения большей глубины проплавления при малой ширине шва, что позволяет уменьшить зону термического влияния, сократить сварочные деформации и напряжения;

– возможность расположения лазера на большом расстоянии от места сварки. Например, известна установка для лазерной сварки при ремонте трубопроводов, проложенных по дну водоема. Лазер находится у конца секции трубопровода, а внутри трубы перемещается тележка с вращающимся зеркалом;

– легкость управления лазерным лучом с помощью зеркал и волоконной оптики, что позволяет производить сварку стыков, не находящихся в пределах прямой видимости.

Лазеры используют в составе лазерных установок, технологическая часть которых служит для относительного перемещения луча и обрабатываемой заготовки. При обработке неподвижных тяжелых заготовок перемещается лазерный луч с помощью системы зеркал или применяют приспособления для перемещения малогабаритных заготовок.

Недостатком лазерной обработки является высокая сложность и стоимость оборудования и низкий КПД лазеров, однако по мере развития лазерной техники эти недостатки устраняются.

### ***3.5.3. Технологические процессы***

К процессам, в которых используют энергию лазерного луча, относят: сварку, резку, плавление и испарение материалов; нанесение покрытий, локальную термическую обработку, легирование, контроль качества изделий и др.

Эффективность лазерной обработки определяется коэффициентом поглощения лазерного излучения поверхностью деталей. Поглощающая способность обрабатываемой поверхности зависит от длины волны излучения, свойств и состояния поверхностей заготовок, условий лазерного нагрева и составляет 20...30 %. Одним из путей повышения коэффициента поглощения излучения является нанесение на поверхности заготовок поглощающих покрытий. Значение этого коэффициента должно составлять 0,8...0,9 и при воздействии излучения не должно оказывать влияние на структуру и свойства материала заготовки. Наиболее часто применяют оксидирование и нанесение покрытий из вольфрама, оксида меди или в виде красок. В ремонтном производстве используют покрытия из сажи.

Лазерным сфокусированным излучением можно нагревать материалы со сверхвысокими скоростями (до  $10^4 \dots 10^5$  °C/c) в малых объемах. При этом за счет теплоотвода в основу материала обеспечиваются и скорости их охлаждения такого же порядка. Это дает возможность фиксировать крайне неравновесные состояния материала, при которых не успевают произойти фазовые и структурные превращения. Необходимый темпера-

турный режим нагрева материала определяется плотностью поглощаемого им теплового потока. При плотности потока до  $10^7 \dots 10^8$  Вт/м<sup>2</sup> происходит нагрев материала без его плавления или испарения, при ее повышении до  $10^{10} \dots 10^{11}$  Вт/м<sup>2</sup> материал плавится, а при большей плотности теплового потока имеет место местное испарение поверхностного слоя материала.

В зависимости от плотности теплового потока и продолжительности воздействий организуют различные виды технологических процессов.

Схема лазерной сварки газовым лазером приведена на рис. 3.13. Здесь сварку ведут в атмосферных условиях без создания вакуума, поэтому необходима защита расплавленного металла от воздуха. Обычно для защиты используют газы, в частности, аргон. Особенностью сварки является то, что вследствие высокой тепловой мощности луча на поверхности свариваемого изделия происходит интенсивное испарение металла. Пары ионизируются, что приводит к рассеиванию и экранированию луча лазера. Поэтому в зону сварки необходимо подавать кроме защитного также плазмоподавляющий газ. В качестве последнего используют гелий, который значительно легче аргона и не рассеивает луч лазера. Также применяют смеси 50 % Ar и 50 % He, которые сдувают ионизирующий газ.

Формирование сварного соединения при лазерной сварке аналогично электронно-лучевой сварке. Луч постепенно углубляется в металл, оттесняя жидкий металл сварочной ванны на заднюю стенку кратера. Это позволяет получать «кинжальное» проплавление при большой глубине и малой ширине шва. Высокая концентрация энергии в лазерном луче позволяет достигать высоких скоростей сварки, обеспечивая одновременно благоприятный сварочный цикл и высокую прочность металла шва.

Лазерная закалка обладает рядом преимуществ по сравнению с закалкой других видов:

- при закалке без оплавления не изменяется шероховатость поверхности, поэтому такая закалка может быть финишной операцией;
- имеет место разогрев только тонкого поверхностного слоя материала, поэтому температура заготовки повышается незначительно, а температурные деформации тонкостенных и крупных заготовок отсутствуют;

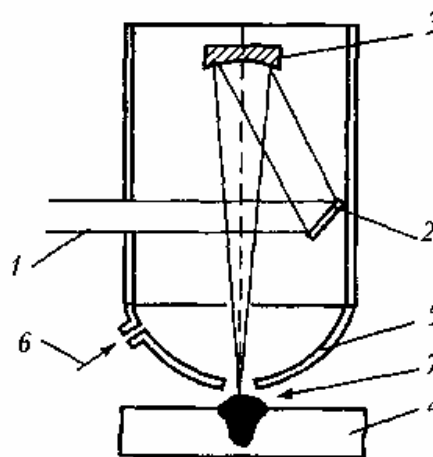


Рис. 3.13. Схема лазерной сварки: 1 – луч лазера; 2 – отражающее зеркало; 3 – фокусирующее зеркало; 4 – заготовка; 5 – сегментная перегородка; 6 – защитный газ; 7 – плазмоподавляющий газ

- значительная экономия энергии;
- возможность упрочнения заготовок сложной формы;
- сверхвысокие скорости нагрева и охлаждения материала при воздействии концентрированного лазерного излучения обеспечивают твердость поверхностного слоя до значений, не достижимых другими способами термической обработки.

Более широкое изменение физико-механических свойств поверхностного слоя материала заготовки происходит при лазерном *легировании*, которое позволяет получать слои с заданными свойствами. Его суть заключается в следующем. На поверхность заготовки наносят тонкое покрытие из легирующих элементов, затем производят совместное проплавление лазерным лучом покрытия и основы.

Легирующие покрытия наносят различными способами: напылением, намазыванием эмульсий, закреплением фольги, электрохимическим осаждением, электроискровой обработкой.

В результате совместного проплавления материала покрытия с основой образуется поверхностный слой нового химического состава. Однако трудности с выделением избыточных фаз по причине быстрого охлаждения с высокой скоростью могут привести к возникновению больших остаточных напряжений в слое и появлению в нем трещин. Толщина слоя зависит от мощности излучения и составляет 0,1...1,5 мм.

Обработка *диффузионных покрытий*. Диффузионное насыщение элементами, которые образуют в металлах и сплавах высокотвердые химические соединения (бориды, карбиды, нитриды), обеспечивает получение износостойких слоев детали. Однако они имеют малую толщину (до 100 мкм) и высокую хрупкость, для устранения которых необходима последующая лазерная обработка.

Широко применяют лазерную *наплавку*, в частности, газопорошковую. Газопорошковая лазерная наплавка происходит при подаче порошкового материала из бункера с помощью инжекторного устройства непосредственно в зону воздействия лазерного луча. На размеры и форму наплавленных валиков влияют энергетические параметры процесса, а также массовый расход порошка, расстояние между питателем и заготовкой, угол наклона оси питателя к лазерному лучу.

Лазерное *плакирование* – оплавление предварительно нанесенных покрытий. Способ заключается в расплавлении концентрированным лучом предварительно нанесенного на поверхность заготовки материала, который после быстрого охлаждения образует покрытие.

### 3.5.4. Примеры применения лазерной обработки

На зарубежных и отечественных предприятиях различных отраслей применяют лазерное упрочнение ряда деталей автомобилей и другой техники (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Быстроизнашивающиеся детали автомобиля, которые проходят лазерное упрочнение

Наименование детали	Материал	Глубина упрочнения, мм	Твердость, HRC	Мощность лазера, кВт
Гильза цилиндра	Серый чугун	0,25...0,35	60	5,0
Седло и втулка клапана	Высокохромистый чугун	0,25	60	0,4
Зубчатые колеса	Сталь	0,4...0,7	57...60	10,0
Кулачки распределительного вала	Высокопрочный чугун	1,25	60	6,0
Канавки поршней	Сталь	0,20...0,35	60...64	0,5

#### Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность лазерной обработки? 2. Чем отличается лазерный луч от светового? 3. Приведите примеры использования лазерной обработки. 4. Чем объясняется значительное повышение твердости поверхности стальных заготовок при лазерной закалке?

#### Лабораторная работа № 3

#### ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

*Цель работы:* изучить оборудование и технологию обработки материалов оптическими квантовыми генераторами.

Для придания деталям необходимых технологических свойств широко используется поверхностная термообработка. Ее сущность заключается в упрочнении только поверхностного слоя детали. Сердцевина при этом не испытывает фазовых превращений. Поверхностную закалку проводят либо нагревом только поверхностного слоя и последующей закалкой, либо нагревом всей детали и охлаждением только поверхностного слоя со скоростью, превышающей критическую.

Преимущества поверхностной термообработки заключаются в меньшей энергоемкости, меньших остаточных напряжениях, наличии сжимающих напряжений в поверхностном слое, высоком сопротивлении действию циклических нагрузок из-за наличия вязкой сердцевины.

Технология лазерной закалки имеет ряд особенностей. В первую очередь эффективность лазерной термообработки зависит от коэффициен-

та поглощения поверхностью упрочняемой детали лазерного излучения. Для того чтобы повысить КПД лазерного излучения, а также в целях безопасности на поверхность детали наносят специальные технологические покрытия (сажу, тушь, гуашь, фосфаты, оксиды металлов). Способы формирования упрочненных зон могут быть различными: пятнами, полосами и др.

Лазерная установка, предназначенная для поверхностного упрочнения металла, содержит в качестве основных элементов лазер с блоком питания, оптическую систему для транспортировки и фокусирования лазерного луча, систему позиционирования обрабатываемой детали, систему управления и контроля параметров обработки. Применяют электроразрядные CO<sub>2</sub>-лазеры и твердотельные Nd-лазеры.

Электроразрядные CO<sub>2</sub>-лазеры имеют большую длину волны излучения (10,6 мкм), электроразрядные возбуждения, прокачку газовой смеси (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He) по замкнутому контуру. Используются для непрерывной обработки. Мощность 1...25 кВт. Твердотельные Nd-лазеры работают от активного элемента в виде стержня или пластины. Могут работать в прерывистом и непрерывном режимах. Мощность до 3 кВт. Длина волны менее 10,6 мкм обеспечивает более высокое поглощение излучения металлом. Можно использовать транспортирование луча по световолокнам.

*Материалы и оборудование:* установка лазерной термообработки на базе непрерывного CO<sub>2</sub> лазера «Кипр-1», установка лазерной импульсной термообработки на базе импульсного неодимового лазера «Квант-16», микротвердомер ПМТ-3, микроскоп измерительный МПБ-2, образцы для проведения испытаний из углеродистой стали.

*Ход работы:*

- ознакомиться с устройством и порядком работы на установках «Кипр-1» и «Квант-16»;
- подготовить образцы для проведения исследований (нанести на поверхность образцов, предназначенных для лазерного термоупрочнения, технологическое покрытие);
- произвести обработку образцов непрерывным и импульсным режимом лазерного излучения;
- измерить глубину обработанного слоя при помощи микроскопа МПБ-2;
- измерить микротвердость закаленного слоя на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450;
- свести полученные данные в таблицу и сделать выводы по работе.

*Содержание отчета:* цель работы, краткие теоретические сведения, оборудование и материалы, зависимости и результаты расчетов, порядок проведения испытаний, итоговая таблица (табл. 3.12), выводы по работе.



Пример оформления результатов работы

Марка установки	Глубина модифицированного слоя, мм	Микротвердость, МПа	Особенности структуры
Лазер «Кипр-1»			
Лазер «Квант-16»			

### 3.6. Плазменная обработка

Считается, что толчком к разработке плазменных технологий послужило открытие Р. Гейджем в 1950 г. эффекта сжатия электрической дуги водоохлаждаемым анодом.

#### 3.6.1. Общие сведения о плазменной обработке

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

Плазменную струю получают перемещением газа через электрическую дугу и сжатием этой струи. Струю сжимают водоохлаждаемым соплом или магнитным полем. При этом резко возрастает температура среды и значительно повышается напряжение дуги.

Молекулы плазмообразующего газа при нагреве диссоциируют (распадаются на атомы), а атомы ионизируются (теряют электроны). Такой процесс (табл. 3.13) требует затрат энергии. При последующем охлаждении газа наблюдается обратный процесс рекомбинации молекул с выделением энергии, равной энергии их диссоциации и ионизации атомов. Совокупность этих процессов принципиально отличает плазменный нагрев от других видов нагрева. В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот, аммиак, водород и гелий. Двухатомные газы (например, азот) обладают большей энтальпией, чем одноатомные (например, аргон) при одинаковой температуре.

Таблица 3.13

Энергия диссоциации молекул и ионизации атомов различных газов

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

<sup>\*)</sup> В столбце I приведены значения энергии, необходимой для отрыва одного электрона, в столбце II – то же для отрыва двух электронов

Плазменную струю относят к мощным тепловым источникам, которые обеспечивают интенсивность ввода тепла, превосходящую скорость

отвода тепла. Плотность энергии в плазменной струе в среднем в 10...50 раз больше, чем в электрической дуге. При такой плотности энергии скорость ввода тепла в заготовку превышает скорость теплопередачи в ее массу, поэтому поверхность заготовки быстро расплавляется.

Высокая ионизация плазмы обуславливает высокую температуру среды, которая составляет 12...20 тыс. °С. Плазма обладает высокой электропроводностью и перемещается со скоростью, превышающей скорость звука.

Схема плазменного генератора, применяемого для наплавки металлов, приведена на рис. 3.14. Между вольфрамовым катодом и заготовкой возникает дуга, через которую продувают плазмообразующий газ (например, азот или аргон). Напряжение может быть приложено и к медному охлаждаемому водой аноду. Струя сжимается стенками анода и струями движущегося газа, что приводит к образованию плазмы.

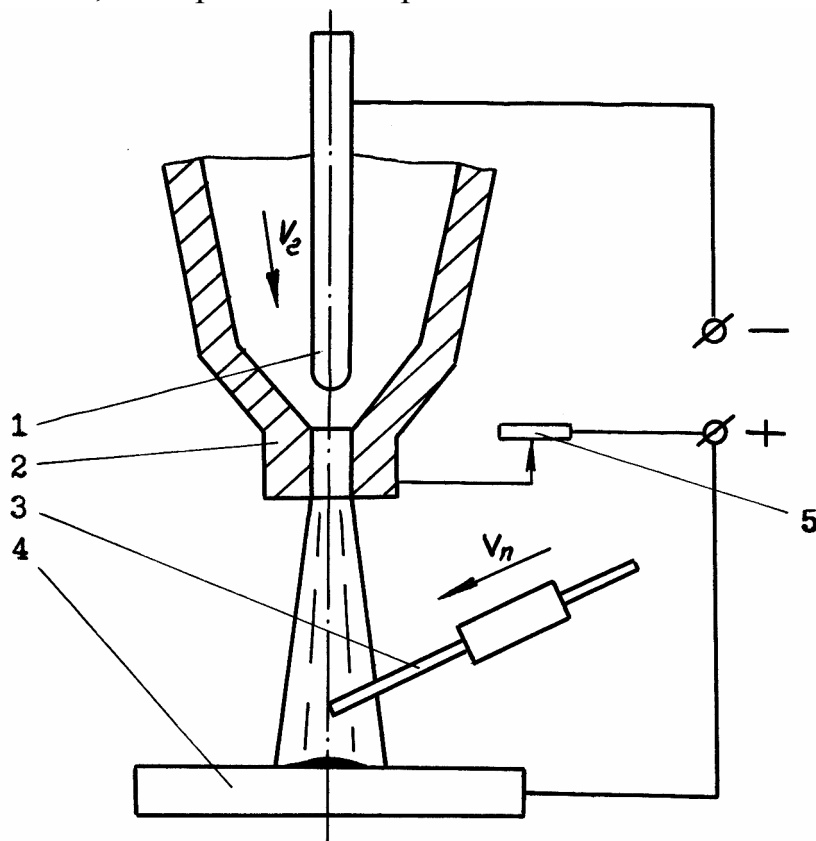


Рис. 3.14. Схема плазменного генератора: 1 – электрод-катод; 2 – сопло; 3 – волоочный или прутковый материал; 4 – восстанавливаемая деталь; 5 – сопротивление;  $v_2$  – скорость подачи газа;  $v_n$  – скорость подачи материала

Плазменный источник тепла применяют для сварки, наплавки, резки, пайки и термообработки как металлических, так и неметаллических (стекла, керамики и др.) материалов. Применение плазменного нагрева в раз-

личных процессах обусловлено использованием большой мощности дуги при небольшом количестве подаваемого материала или без него, например, в случае плазменного упрочнения – закалки.

Распределение удельного теплового потока  $q(r)$  по радиусу нагреваемой поверхности определяют по формуле

$$q(r) = q_{\max} \cdot \exp(-kr^2), \text{ Дж/см}^2 \cdot \text{с}, \quad (3.15)$$

где  $q_{\max}$  – наибольший удельный тепловой поток в центре пятна нагрева, Дж/см<sup>2</sup>·с;  $k$  – коэффициент сосредоточенности удельного потока тепла, см<sup>-2</sup>;  $r$  – расстояние от оси источника, см.

*Плазменная* наплавка – это процесс нанесения покрытий плазменной струей, при котором заготовка включена в цепь нагрузки.

Различают наплавку по винтовой линии с непрерывной подачей плазмотрона и широкослойную наплавку с его гармоническими колебаниями вдоль оси вращающейся заготовки. Для нанесения покрытий толщиной более 4 мм применяют многослойную наплавку.

При плазменной наплавке, в отличие от аргонодуговой, электрическая дуга сжимается стенками водоохлаждаемого сопла. Газ, продуваемый сквозь эту дугу, приобретает свойства плазмы – становится ионизированным и электропроводным. Слой газа, соприкасающийся со стенками сопла, интенсивно охлаждается, утрачивает электропроводность и выполняет функции электрической и тепловой изоляции, что приводит к уменьшению диаметра плазменной струи, который составляет 0,7 диаметра сопла.

В качестве плазмообразующего газа чаще применяют аргон. Наплавка с заменой аргона воздухом (до 90 %) значительно сокращает стоимость восстановления деталей. Для плазменной наплавки в воздушной среде разработаны порошковые сплавы на железной основе, в состав которых входят сильные раскислители и нитридообразующие элементы.

Процесс протекает с малым проплавлением заготовки. При плазменной наплавке получают покрытия толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1...45 мм. Если наносят легкоплавкий материал, то возможно нанесение покрытия с проплавлением очень тонких поверхностных слоев без оплавления поверхности.

Термический КПД наплавки в 2...3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса составляет 0,4...5,5 кг/ч. Производительность плазменно-порошковой наплавки аустенитных коррозионно-стойких сталей не уступает производительности электродуговой наплавки этих материалов.

Источники питания постоянного тока для плазменной наплавки имеют напряжение холостого хода не менее 120 В, силу тока до 600 А и круто падающую внешнюю характеристику.

Для плазменной наплавки применяют установки УД-417 (ИЭС им. Е.О. Патона), УПН-303 (завод «Электрик»), УПН-602 и др. Можно применять установки плазменной сварки УПС-301, УПС-403, УПС-804, а также установки для плазменного напыления УМП-5, УМП-6, УПУ-3, УПУ-5 после изменения электрической схемы и замены плазмотрона. Для плазменно-порошковой наплавки валов диаметром до 50 мм ВНИИТУ-ВИД «Ремдеталь» и ИЭС им. Е.О. Патона совместно разработали установку УД-609.09 с источником питания ВДУ-506.

### **3.6.2. Материалы**

Для плазменной наплавки применяют различные материалы: железоуглеродистые высоколегированные сплавы, калмонои, стеллиты, инструментальные (в т.ч. быстрорежущие) стали. Применяют прутки, проволоки, порошки и комбинации материалов.

Широко применяют порошки самофлюсующихся сплавов на основе никеля (ПР-Н73Х16С3Р3 или ПР-Н70Х17С4Р4). Порошковый материал ПР-Х4ГСР (ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД) обеспечивает твердость покрытия 58...60 НРС. Оптимальный размер частиц порошка составляет 60...100 мкм. Для плазменной наплавки перспективно применение смесей порошков.

Используют смеси порошков железа, быстрорежущего сплава и коррозионно-стойкой стали: ПЖВ-1 (60...75 %), ПР-М6Ф3 (15...30 %) и ПР-Х18Н9 (10 %). Химический состав составляющих порошков следующий: ПЖВ-1 (Fe – основа, С – 0,02%, Si – 0,08 %, Mn – 0,10 %, S – 0,015 %, P – 0,015 %, O – 0,15 %); ПР-М6Ф3 (Fe – основа, С – 1,15 %, Cr – 4,2 %, Mo – 6,2 %, V – 2,5 %); ПР-Х18Н9 (Fe – основа, С – 0,2 %, Cr – 18 %, Ni – 9,5 %, Si – 0,8 % макс.). Добавка в приведенную смесь 10 % коррозионно-стойкой стали ПР-Х18Н9 даже при малом содержании углерода обеспечивает мартенситную структуру сплава.

Применение порошков позволяет: изменять в широких пределах толщину покрытия (0,1...7 мм), скорость (0,5...25 м/мин) и производительность наплавки (0,6...15 кг/ч), ширину шва (1...45 мм) и состав покрытия за счет выбора применяемых материалов и режимов их нанесения; регулировать глубину проплавления материала детали независимо от подачи материала. Чтобы увеличить термический КПД наплавки и снизить вложение тепла в заготовку, наплавку ведут с малой подачей и большой скоростью. При этом частицы расплавляются в плазменной струе, перемещаются близко к ее оси и попадают на поверхность заготовки в жидком состоянии.

Тепловую мощность плазменно-порошковой наплавки регулируют независимо от расхода подаваемого порошка. Температура наплавленной поверхности заготовки изменяется под действием тепла предварительного подогрева, тепла от предыдущих валиков и тепла от валика, наносимого в

рассматриваемый момент времени. Спустя некоторое время количество подводимого тепла становится равным количеству отводимого тепла, что приводит к достижению материалом заготовки *теплового насыщения*. К повышению термического КПД наплавки и исключению перегрева заготовки приводит предварительный нагрев заготовки и ограничение примерно на 40 % мощности плазмотрона непосредственно в процессе наплавки.

### **3.6.3. Область применения и преимущества способа**

Плазменная наплавка нашла применение при нанесении тонкослойных покрытий на поверхности ответственных деталей: коленчатых, кулачковых и распределительных валов, валов турбокомпрессоров, осей, крестовин карданных шарниров, направляющих оборудования, щек и седел задвижек, шнеков экструдеров и др.

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения покрытий сводятся к следующему. Гладкая и ровная поверхность покрытий позволяет оставлять припуск на обработку 0,4...0,9 мм. Малая глубина проплавления (0,3...3,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3...6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии не более 5 %. Небольшое вложение тепла в заготовку обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы. При изготовлении детали обеспечивается высокая износостойкость наплавленных поверхностей. Наблюдается снижение усталостной прочности деталей на 10...15 %, что намного меньше, чем при использовании ряда других видов наплавки. Плазменная наплавка тонкослойных покрытий составляет конкуренцию нанесению электрохимических покрытий.

Плазменное *напыление* основано на использовании энергии плазменной струи как для нагрева металла, так и для переноса его частиц.

В качестве плазмообразующих газов используют гелий, аргон, азот, водород и их смеси. Гелий и водород в чистом виде практически не применяются по экономическим соображениям, а также вследствие разрушающего действия на электрод. Аргон и азот используют чаще, однако наилучшими показателями обладают газовые смеси, например, Ar+N<sub>2</sub> и Ar+H<sub>2</sub>. Вид плазмообразующего газа выбирают исходя из требуемых температуры, теплосодержания и скорости потока, степени инертности газа к распыляемому материалу и восстанавливаемой поверхности. Следует учитывать, что плазма из многоатомных газов по сравнению с плазмой из одноатомных содержит большее количество тепла при одинаковой температуре, потому что ее энтальпия определяется тепловым движением атомов, ионизацией и энергией диссоциации.

Плазменную струю получают в плазменной горелке, основные части которой (рис. 3.15) следующие: электрод-катод 1; водоохлаждаемое медное сопло-анод 4, стальной корпус 2, устройства для подвода воды 3, порошка 5 и газа 6. Части корпуса, которые взаимодействуют с катодом и анодом, изолированы друг от друга.

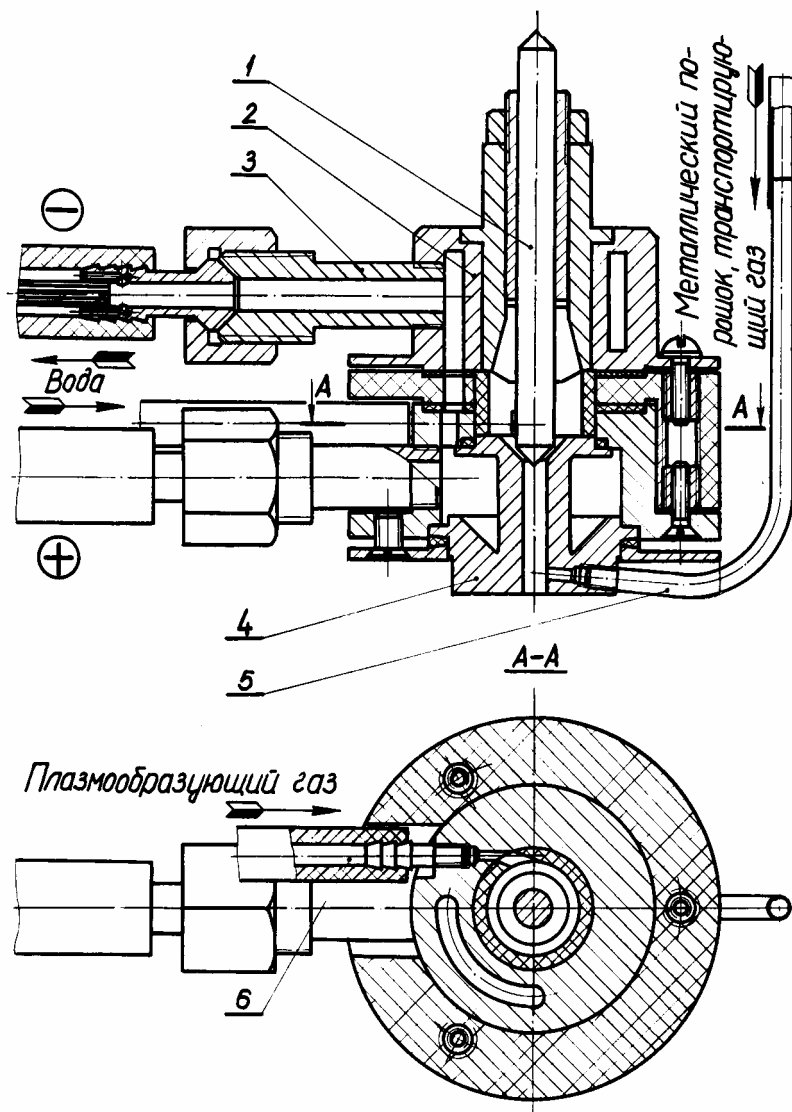


Рис. 3.15. Плазменная горелка для напыления порошкового материала: 1 – электрод-катод; 2 – корпус; 3 – подвод охлаждающей воды; 4 – сопло-анод; 5 – подвод порошка; 6 – подвод плазмообразующего газа

Порошки подают питателем с помощью транспортирующего газа. Возможен ввод порошка с плазмообразующим газом. Проволоку, шнур или их комбинации вводят в сопло плазменной горелки ниже анодного пятна или в плазменную струю вне сопла.

Порошки для плазменного напыления не должны создавать заторов в транспортных трубопроводах и должны равномерно подаваться в плазменную струю. Этим требованиям удовлетворяют частицы сферической формы диаметром 20...100 мкм.

В институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины разработаны порошковые проволоки серии АМОТЕК. Эти материалы предназначены для нанесения износ- и коррозионностойких покрытий способами газопламенного, электродугового и плазменного напыления. Особенностью материалов является наличие аморфной составляющей в структуре покрытий, которая обеспечивает комплекс повышенных служебных свойств (износ- и коррозионностойкости, прочности соединения с основой).

При напылении порошковых или шнуровых материалов электрическое напряжение прикладывают к электродам плазменной горелки. При напылении проволоочных материалов напряжение прикладывают к электродам горелки, дополнительно оно может быть приложено к напыляемому материалу, т.е. проволока может быть токоведущей или нет. Напыляемую деталь в цепь нагрузки не включают.

Плазменные покрытия обладают жаростойкостью и жаропрочностью, эрозионной прочностью, тепло- и электроизоляцией, противосхватываемостью, коррозионной стойкостью, защитой от кавитации, полупроводниковыми, магнитными и другими свойствами. Они широко применяются при изготовлении и восстановлении деталей.

Высокие температура и скорость струи позволяют наносить покрытия из любых материалов, не диссоциирующих при нагреве, без ограничений на температуру плавления. Плазменным напылением получают покрытия из металлов и сплавов, оксидов, карбидов, боридов, нитридов и композиционных материалов.

Нормативные физико-механические свойства покрытий обеспечиваются высокими температурой плазмы и скоростью ее истечения, применением инертных плазмообразующих газов, возможностью регулирования аэродинамических условий формирования металлоплазменной струи. В материале заготовки 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 покрытий), износостойкость покрытий высокая, возможна полная автоматизация процесса.

Для защиты частиц напыляемого материала от окисления, обезуглероживания и азотирования применяют газовые линзы (кольцевой поток инертного газа), являющиеся оболочкой плазменной струи, и специальные камеры с инертной средой, в которых происходит напыление.

Технологические режимы плазменного напыления определяются видом и дисперсностью материала, силой тока плазменной струи и его напряжением, видом и расходом плазмообразующего газа, диаметром сопла плазменной горелки и расстоянием от сопла до напыляемой поверхности.

Дисперсность частиц материала, ток плазменной струи и расход плазмообразующего газа определяют температуру нагрева частиц и их скорость перемещения, тем самым плотность и структуру покрытия.

Большая равномерность свойств покрытия обеспечивается при более высокой скорости перемещения плазмотрона относительно заготовки и меньшей толщине покрытия. Эта скорость незначительно влияет на коэффициент использования материала.

Расстояние от сопла до восстанавливаемой поверхности зависит от вида плазмообразующего газа, свойств напыляемого материала и изменяется в пределах 120...250 мм (чаще равно 120...150 мм). Угол между осью потока частиц и восстанавливаемой поверхностью должен приближаться к 90°.

Оптимальное сочетание теплосодержания потока плазмы, времени пребывания частиц в этом потоке и их скорости обеспечивает получение покрытий с высокими физико-механическими свойствами.

Наилучшей износостойкостью в нагруженных сопряжениях обладают покрытия из самофлюсующихся сплавов. Структура покрытия – высоколегированный твердый раствор с включениями дисперсных металлоподобных фаз (прежде всего боридных или карбидных) с размером частиц 1...10 мкм, равномерно распределенных в основе.

Область применения плазменных покрытий с последующим оплавлением – это упрочнение поверхностей деталей, работающих в условиях знакопеременных и контактных нагрузок.

Для плазменного напыления металлических и неметаллических покрытий (тугоплавких, износостойких, коррозионно-стойких) применяют установки УН-115, УН-120, УПМ-6, УПУ-3Д, УПС-301, АПР-403, УПРП-201.

Плазменное напыление применяют в различных процессах упрочнения деталей.

Освоено несколько видов восстановления коренных опор блоков цилиндров. Вначале использовали в качестве материала малоуглеродистую стальную проволоку Св-08 для обеспечения однородной мелкодисперсионной структуры покрытия и повышения прочности соединения его с основой. Позднее были рекомендованы порошки. Распространение получили композиционные порошки и порошки из бронзы, которые наносят на поверхности как чугуновых деталей, так и деталей из алюминиевого сплава. Предварительно должен быть нанесен терморреагирующий подслои Al-Ni.

При восстановлении коренных опор в чугуновых 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 мин<sup>-1</sup>; подача заготовки – 320 мм/мин, расход порошка – 7 кг/час.

Процесс нанесения плазменного покрытия на поверхности отверстий в деталях из алюминиевого сплава включает: сушку порошков при температуре 150...200 °С в течение 3 часов, предварительное растачивание отверстий до размера, превышающего на 1 мм номинальный размер отверстия, установку защитных экранов, обезжиривание напыляемых поверхностей ацетоном, нанесение покрытия в два перехода (в первом переходе наносят подслоя ПН-85Ю15, во втором – основной слой из медного порошка ПМС-Н), снятие защитных экранов. Режимы нанесения покрытий: сила тока – 220...280 А, расход азота – 20...25 л/мин при давлении 0,35 МПа, расстояние от сопла до заготовки – 100...120 мм, время нанесения покрытия – 15 мин. Покрытие наносят на стенде. Плазмообразующее оборудование состоит из источника питания ИПН 160/600 и установки УПУ-3Д или УПУ-8.

Применяют плазменное напыление при нанесении покрытий на плоскости головок цилиндров из силумина. Технология включает предварительное фрезерование изношенной поверхности, нанесение покрытия и последующую обработку. В качестве материала покрытия применяют порошок из алюминия и железа, содержание железа в котором достигает 40...48 %. Режим нанесения покрытия: сила тока – 280 А, расстояние от сопла до заготовки – 90 мм, расход плазмообразующего газа (азота) – 72 л/мин.

При упрочнении юбок поршней из алюминиевого сплава наносят покрытие из порошка бронзы ПР-Бр.АЖНМц 8,5-4-5-1,5 (Al – 8,5 %, Fe – 4 %, Ni – 4,8 %, Mn – 1,4 %, Cu – остальное). Используют установку УПУ-8. Режим нанесения: ток – 380 А, расстояние от сопла до заготовки – 120 мм, плазмообразующий газ – смесь аргона с азотом.

При упрочнении коленчатых валов из высокопрочного чугуна наносят плазменное покрытие из композиции порошков на термореагирующий подслоя из материала ПН-85Ю15. Состав композиции порошков: сплав Ni-Cr-B-Si – 50 %, железо ПЖ4 – 30 % и никель-алюминий ПН85Ю15 – 20 %. Режимы процесса: сила тока – 400 А, расстояние от сопла до заготовки – 150 мм, расход азота – 25 л/мин.

*Микроплазменное напыление* применяют при упрочнении участков деталей с размерами 5...10 мм. Используют плазмотроны малой мощности (2,0...2,5 кВт), генерирующие квазиламинарную плазменную струю при силе тока 10...60 А. В качестве плазмообразующего и защитного газов применяют аргон. При микроплазменном напылении удается получить диаметр металлоплазменной струи 1...5 мм. Процесс характерен низким уровнем шума (30...50 дБ) и небольшим количеством отработавших газов, что позволяет вести напыление в помещении без применения рабочей камеры. Создана установка микроплазменного напыления МПН-001.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите сущность и характеристику напыления материалов. 2. Какие Вы знаете виды напыления? 3. С какой скоростью перемещаются частицы материала при различных видах напыления? 4. В каких процессах упрочнения деталей применяется плазменное напыление?

## *Лабораторная работа № 4*

### ПЛАЗМЕННОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ

*Цель работы:* изучить оборудование и технологию обработки материалов низкотемпературной плазмой.

*Теоретические сведения.* Имеются следующие варианты плазменного поверхностного упрочнения:

- без оплавления и с оплавлением поверхности детали;
- с зазором между упрочненными зернами;
- с перекрытием упрочненных зон;
- химико-термическая плазменная обработка;
- плазменное упрочнение в сочетании с другими способами объемной или поверхностной термической обработки.

Плазменное упрочнение без оплавления поверхности является наиболее распространенным для стальных деталей, так как обеспечивает сохранение качества (величины шероховатости), достигнутого предшествующей механической обработкой.

Упрочнение с оплавлением поверхности стальных и чугунных деталей применяется, когда необходимо получить особые эксплуатационные свойства. Например, обработка валков черновой группы клетей станов горячей прокатки, к шероховатости рабочей поверхности которых не предъявляются высокие требования. При обработке чугунных деталей на поверхности образуется отдельный слой с высокой износостойкостью.

Плазменное упрочнение поверхностей деталей без перекрытия зон обработки приводит к получению равномерной твердости на поверхности, а с перекрытием – к появлению неравномерной твердости из-за возникновения зон отпуска в местах перекрытия.

Возможность реализации химико-термической обработки (например, азотирование) при плазменной обработке определяется родом газа, используемого в качестве плазмообразующего. Здесь в качестве плазмообразующего газа применяется смесь аргона с азотом.

Возможно применение технологии комплексного упрочнения, включающей предварительную или последующую обработку, объемную термическую обработку и плазменное упрочнение; закалку ТВЧ и плазменную обработку.

Для генерирования плазменного источника нагрева широко используются плазматроны с открытой дугой или прямого действия (положительный электрод на заготовке) и плазматроны с замкнутой дугой или косвенного действия (отрицательный и положительный электроды на катоде и

аноде плазматрона, соответственно). Для плазменного упрочнения используются дуговые плазматроны мощностью до 100 кВт.

Эффективность ведения технологического процесса зависит от стабильности параметров плазменного потока. Вначале плазматроны могут создавать значительные пульсации параметров плазменного потока, что приводит к неравномерному вводу тепла в упрочняемое изделие и, как следствие, неравномерному распределению твердости по длине и ширине упрочненной зоны.

Плазматроны классифицируются по ряду признаков.

По принципу работы плазматроны могут быть с внешней или вынесенной дугой (плазматроны прямого действия) и с внутренней дугой (плазматроны поверхностного действия). Наиболее широко применяются для упрочнения деталей сложной форма получили плазматроны косвенного действия.

По роду используемого тока различают плазматроны постоянного и переменного тока. Наибольшее распространение получили плазматроны первого вида, так как они проще и более эффективно преобразуют электрическую энергию в тепловую.

*Материалы и оборудование:* установка плазменной обработки УПНС-304, микротвердомер ПМТ-3, микроскоп измерительный МПБ-2, образцы из углеродистой стали для проведения испытаний.

*Ход работы:*

– ознакомиться с устройством и порядком работы на установке УПНС-304;

– подготовить образцы для проведения исследований (нанести на поверхность образцов, предназначенных для лазерной обработки, шликерное покрытие на основе металлоотходов);

– произвести обработку образцов непрерывным и импульсным режимом лазерного излучения;

– произвести закалку образцов;

– измерить толщину покрытия при помощи микроскопа МПБ-2.

– измерить микротвердость модифицированного слоя на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450.

– свести полученные данные в таблицу и сделать выводы по работе.

*Содержание отчета:* цель работы, краткие теоретические сведения, оборудование и материалы, зависимости и результаты расчетов, порядок проведения испытаний, итоговая таблица 3.14, выводы по работе.

Пример оформления результатов работы

Толщина слоя, мм	Микротвердость слоя, МПа	Особенности структуры

### 3.7. Ультразвуковая обработка

#### 3.7.1. Общие сведения об ультразвуковых колебаниях и их получении

*Ультразвук* – это упругие волны с частотой от  $2 \cdot 10^4$  до  $10^{14}$  Гц. Для генерирования ультразвуковых волн применяются механические и электромеханические излучатели.

Механические излучатели – сирены находят ограниченное применение.

Электромеханические излучатели ультразвука бывают пьезоэлектрические и магнитострикционные. Соответственно, для регистрации и анализа ультразвуков применяют магнитострикционные и пьезоэлектрические датчики.

*Пьезоэлектрические излучатели* генерируют волны с частотой до 50 МГц. Работа их основана на использовании обратного пьезоэлектрического эффекта, который заключается в изменении линейных размеров некоторых кристаллов (турмалина, сегнетовой соли, титаната бария, цинковой обманке и др.) под влиянием электрического тока. Изменение направления электрического поля вызывает изменение деформаций кристаллов на противоположное.

*Магнитострикционные излучатели* генерируют низкочастотные волны ( $\sim 20$  кГц). Их действие основано на явлении магнитострикции в переменном магнитном поле, которое заключается в изменении формы и объема ферромагнетика при его намагничивании. Простейшей мерой магнитострикционного эффекта является линейная магнитострикция  $\Delta l/l$ , где  $\Delta l$  – удлинение образца,  $l$  – его первоначальная длина. При этом наблюдается параллельная ориентация векторов намагниченности доменов в результате изменения условий равновесия между узлами кристаллической решетки. Домен – это микроскопическая область, поляризованная в одном направлении. Магнитострикционными колебаниями являются механические колебания, возникающие в ферромагнетиках при их намагничивании в периодически изменяющемся магнитном поле.

Работа *пьезоэлектрического датчика* основана на прямом пьезоэлектрическом эффекте, который заключается в том, что при механических деформациях ранее указанных кристаллов изменяются знаки зарядов на их

поверхностях на противоположные, что приводит к возникновению электрического тока в цепи.

Работа *магнитострикционного датчика* основана на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, который заключается в том, что в пластинке пьезоэлектрика, совершающей вынужденные колебания с деформированием его материала, наблюдается изменение его намагниченности.

Ультразвуковые волны, вследствие малости их длины, могут излучаться в виде узких направленных пучков подобно свету. Отражение и преломление ультразвуковых пучков на границе раздела двух сред происходит по законам геометрической оптики.

Для изменения направленности и фокусировки ультразвуковых лучей применяют зеркала различной формы, звуковые линзы, излучатели специальной формы и др. Зеркала должны по возможности полно отражать ультразвуковые волны, поэтому их изготавливают из веществ, акустическое сопротивление которых во много раз больше акустического сопротивления окружающей среды. Звуковые линзы изготавливают из веществ, акустические сопротивления которых близки к акустическому сопротивлению среды. Собирающие (рассеивающие) свойства звуковых линз и зеркал подчиняются тем же закономерностям, что и соответствующих оптических устройств.

Амплитуды скорости и ускорения колебательного движения среды, а также амплитуда звукового давления в ультразвуковых волнах во много раз больше соответствующих величин для волн слышимых звуков.

Ультразвуки весьма сильно поглощаются газами и во много раз слабее – жидкостями. Например, коэффициент поглощения ультразвука в воздухе приблизительно в 1000 раз больше, чем в воде. Одна из причин этого различия состоит в том, что кинематическая вязкость воды значительно меньше кинематической вязкости воздуха.

### **3.7.2. Применение ультразвука в технике**

Ультразвук применяют в технике для контрольно-измерительных целей (гидролокации, дефектоскопии, измерения толщины трубопроводов и слоя накипи и др.), очистки, сварки, упрочнения восстанавливаемых деталей, дегазации жидких металлов и повышения их качества, а также для ускорения различных технологических процессов.

Принцип *гидролокации* сходен с принципом радиолокации и состоит в определении расстояния до тела, находящегося в толще воды, по значению отрезка времени между посылками короткого ультразвукового сигнала и приемом эхосигнала, возникающего в результате рассеяния ультра-

звука телом. По изменению частоты эхосигнала, обусловленному эффектом Доплера, можно определить лучевую скорость тела, т.е. проекцию скорости движения тела относительно наблюдателя на соединяющую их прямую.

Ультразвуковая *дефектоскопия* – это обнаружение внутренних дефектов (трещин, раковин, неоднородностей структуры) в твердых телах с помощью ультразвука. Она основана на явлении рассеяния ультразвуковых волн от поверхности дефектных областей тела. Наибольшее применение нашли теневой и временной способ определения дефектов. *Теневой* способ учитывает уменьшение амплитуды волны, прошедшей сквозь дефект, или ее полное затухание. *Временной* способ основан на запаздывании импульса, вызванного огибанием дефекта волнами.

*Дробящее* действие ультразвука используют в различных технологических процессах: для образования эмульсий и суспензий, снятия пленок оксидов и обезжиривания поверхностей деталей, стерилизации жидкостей, размельчения зерен фотоэмульсии и др. Благодаря большой амплитуде звукового давления, создаваемого мощными ультразвуковыми излучателями, в жидкости возникает явление кавитации – в ней непрерывно появляются и исчезают внутренние разрывы сплошности. Исчезновение этих разрывов, имеющих вид мельчайших пузырьков, сопровождается кратковременным возрастанием давления до десятков МПа. Поэтому ультразвуки разрушают находящиеся в жидкости твердые тела, живые организмы, крупные молекулы и др.

Разрушающее действие кавитации жидкости на поверхность твердого тела заметно увеличивается при введении в нее мелких абразивных частиц. Это явление используют для ультразвукового шлифования и полирования, а также сверления отверстий различной формы в стекле, керамике, сверхтвердых сплавах и кристаллах.

Ультразвуковые диспергаторы предназначены для:

- очистки и обезжиривания изделий точной механики, оптики, посуды, медицинских инструментов, ювелирных изделий и др.;
- диспергирования, эмульгирования, интенсификации растворения и других физико-химических процессов;
- экстрагирования лекарственных веществ из сырья растительного и животного происхождения без его нагрева;
- бактерицидной обработки жидкости и погруженных в нее предметов.

Диспергатор состоит из ультразвукового транзисторного генератора и преобразователя с излучателем из титана. Генераторы имеют систему ав-

томатической поднастройки частоты, устройство защиты от короткого замыкания и индикатор амплитуды колебаний излучателя. Техническая характеристика ультразвуковых диспергаторов приведена в табл. 3.15.

Таблица 3.15

Техническая характеристика ультразвуковых диспергаторов

Параметры	Модели диспергаторов			
	УЗД1-0,1/22	УЗД1-0,4/22	УЗД1-1,0/22	УЗД1-1,6/22
Потребляемая мощность, ВА	120	850	2000	3200
Напряжение сети, В	220			
Частота сети, Гц	50			
Рабочая частота, кГц	22			
Объем озвучивания, л	0,5	3,0	5,0	8,0
Цена, у.е.	239	495	693	980

Ультразвуковые ванны УЗВ предназначены для быстрой и эффективной *очистки* изделий (хирургического инструмента, часовых механизмов, ювелирных изделий и др.). Они могут быть использованы для обработки химических и биохимических веществ, предпосевной обработки семян. Техническая характеристика ванн и других моечных устройств приведена в табл. 3.16.

Таблица 3.16

Техническая характеристика и цена ультразвуковых ванн и устройств

Модель	Габаритные размеры рабочего пространства, мм	Потребляемая мощность кВА / таймер	Объем / частота, л/кГц
УЗВ1-0,063/22	Ø72×39	0,1/-	0,1/22
УЗВ-100/44	195×120×60	0,1/+	1,0/44
УЗВ-103/44	240×120×120	0,1/+	3,0/44
УЗВ1-0,16/18	150×150×100	0,25/+	3,7/18
УЗВ2-0,16/18	170×210×120	0,25/-	5,0/18
УЗВ-110/44	300×240×200	0,15/+	10,0/44
УЗВ2-1,6/18	310×180×160	1,2/+	10,0/18
УЗВ3-1,6/18	400×400×360	3,2/-	35,0/18
УЗВ1-(1,6×2)/18	700×450×300	6,4/-	80/18
УЗВ1-(1,6×3)/18	1100×450×300	4,8/-	120/18
УЗВ1-(1,6×4)/18	1400×450×300	6,4/-	150/18
УЗМ1-4,0/16	500×400×400	7,0/-	80/16
УЗМ4-25/16	2000×1000×500	36/-	1000/16

Ванна выполнена в виде стакана, дном которого является излучающая накладка пьезокерамического преобразователя. Источник питания ванны – ультразвуковой генератор.

Ультразвуковые станки созданы на базе обрабатывающих устройств УЗОУ, которые являются источником механических колебаний малой

мощности с частотой 22 кГц. Устройство включает транзисторный генератор УЗГ13/22 и пьезоэлектрический преобразователь. Генератор состоит из источника питания, усилителя мощности, сетевого фильтра и платы авторегулирования. Станки предназначены для размерной обработки твердых и хрупких материалов (стекла, керамики, ферритов, природных и искусственных камней и др.).

С помощью станков возможно маркирование изделий (нанесение меток цифр и букв), получение сквозных и глухих отверстий с сечением любой конфигурации, а также объемных художественных изображений. Техническая характеристика оборудования для этих целей приведена в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Техническая характеристика и цена ультразвуковых станков

Модель	Мощность, кВА	Максимальная обрабатываемая поверхность, мм <sup>2</sup>	Цена (без НДС), у.е.
УЗОС1-0,1/22	0,2	20	235
УЗОС2-0,1/22	0,15	100	420
УЗОС1-0,4/22	0,8	700	780
УЗОС1-1,0/22	2,0	1200	980
УЗОС1-1,6/22	3,2	2000	1500

Область применения:

– электронная и электротехническая промышленность, например, при изготовлении керамических подложек полупроводниковых приборов, магнитопроводов из ферритов;

– ювелирная промышленность, например, при изготовлении бус, элементов шкатулок, подсвечников, брошей, кулонов и др.;

– местные ремесла, например, при изготовлении деталей зеркал, деталей из стекла и хрусталя (подвесок люстр и др.), элементов покрытий листовым стеклом;

– химическая и медицинская промышленность, например, при изготовлении стеклянной и химической посуды.

Ультразвуковая *сварка металлов* предназначена для точечной сварки тонких деталей с деталями любой толщины, выполненными из однородных или разнородных материалов, шовной сварки черных и цветных металлов. Нашла применение в автомобильной, авиационной, электронной, электротехнической промышленности, например, при изготовлении полупроводниковых приборов, алюминиевых электролитических конденсаторов, трансформаторов, дросселей, радиаторов, различной тары, игрушек (табл. 3.18).



Свариваемость металлов и сплавов между собой

Металлы и сплавы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	Алюминий	+	+	+	+							+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Белиллий		+																		+	
3	Латунь			+										+	+	+	+	+			+	
4	Медь				+									+	+	+	+				+	
5	Медно-никелевый сплав					+																
6	Германий						+							+								
7	Золото							+						+			+		+			
8	Свинец								+													
9	Магний									+												+
10	Молибден										+			+			+	+		+	+	
11	Никель											+		+		+	+			+		
12	Ниобий												+									
13	Палладий													+	+							
14	Платина														+							+
15	Серебро														+		+	+				+
16	Коррозионно-стойкая сталь															+	+					
17	Сталь																+			+	+	
18	Тантал																	+				+
19	Олово																		+			
20	Титан																				+	
21	Вольфрам																					+

Ультразвуковая сварка относится к процессам, в которых используют давление, нагрев и взаимное трение свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки, сжатые осевой силой  $P$ , механических колебаний с ультразвуковой частотой. Для получения механических колебаний высокой частоты используют магнитострикционный эффект, основанный на изменении размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля. Изменения размеров магнитострикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, в большинстве случаев сужающейся формы.

При ультразвуковой сварке (рис. 3.16) свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6. Наконечник 4 рабочего инструмента 3 соединен с магнитострикционным преобразователем 1 через трансформатор 2 продольных упругих колебаний, представляющих собой вместе с рабочим инструментом волновод. Нормальная сжимающая сила  $P$  создается моментом  $M$  в узле колебаний.

В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки.

Тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл в этих слоях немного размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстоянии действия межатомных сил между ними возникает прочная связь. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта

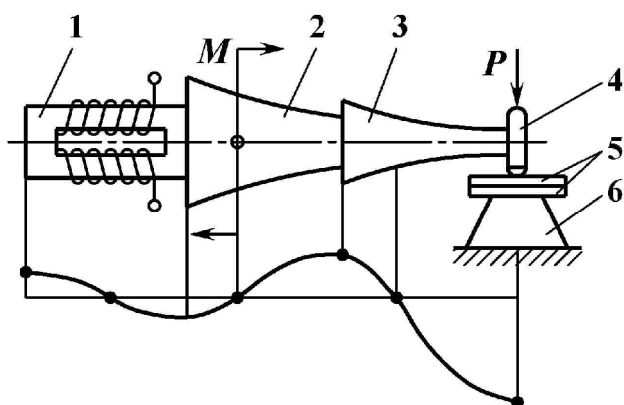


Рис. 3.16. Схема ультразвуковой сварки

не превышает  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а при сварке алюминия –  $200\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это особенно важно при сварке химически активных металлов.

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединения по замкнутому контуру. При сварке по контуру, например, по кольцу, в волновод вставляют конический штифт, имеющий форму трубки. При равномерном поджатии заготовок к свариваемому штифту получают герметичное соединение по всему контуру (рис. 3.17). Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до 0,001 мм, а также приваривать тонкие листы и фольгу к заготовкам неограниченной толщины. Снижение требований к качеству свариваемых поверхностей позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками. Этим способом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например, алюминий с медью, медь со сталью и др.

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединения по замкнутому контуру. При сварке по контуру, например, по кольцу, в волновод вставляют конический штифт, имеющий форму трубки. При равномерном поджатии заготовок к свариваемому штифту получают герметичное соединение по всему контуру (рис. 3.17). Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до 0,001 мм, а также приваривать тонкие листы и фольгу к заготовкам неограниченной толщины. Снижение требований к качеству свариваемых поверхностей позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками. Этим способом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например, алюминий с медью, медь со сталью и др.

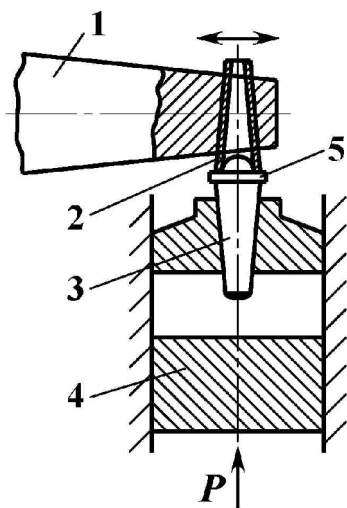


Рис. 3.17. Ультразвуковая сварка по контуру: 1 – волновод; 2 – сменный полый штифт; 3 – сменный прижимной штифт; 4 – прижимная опора; 5 – свариваемое изделие

Оборудование для ультразвуковой сварки полимерных материалов предназначено для сварки деталей из жестких пластмасс, рулонных синте-

тических нетканых материалов, пленок, запрессовки металлических изделий в термопластические материалы, развальцовки заклепок из термопластических материалов, тиснение узоров на элементах одежды, обуви, вырезки изделий из синтетических материалов, интенсификации процессов полимеризации клеев. В отличие от сварки металлов к пластмассовым заготовкам подводят поперечные ультразвуковые колебания.

Преимущества процесса по сравнению с традиционной сваркой полимеров:

- возможность соединять детали из твердых материалов на расстоянии от места контакта деталей и сварочного наконечника;
- возможность отказаться от вредных для человека органических растворителей;
- исключение расхода клеев и ниток, используемых для соединения деталей традиционными способами;
- повышение производительности труда.

Выпускают сварочные машины мощностью 0,1; 0,4; 1,0; 1,6; 2,5 и 4,0 кВт.

Сущность *ультразвуковой* обработки при упрочнении деталей заключается в воздействии на упрочняемую поверхность стальным или твердосплавным шаром, прижатым к ней и вибрирующем с частотой  $\sim 20$  кГц. Ультразвуковой инструмент многократно пластически деформирует поверхность незначительной статической силой в условиях трения скольжения. Среднее давление, создаваемое в поверхностном слое детали, в 3...9 раз меньше, чем при обкатывании шариком, но большая доля энергии затрачивается непосредственно на искажение кристаллической решетки. Ультразвуковая обработка по сравнению с другими способами пластического деформирования дает наибольшее изменение свойств поверхностного слоя: улучшение шероховатости с  $Rz 20...6,3$  мкм до  $Rz 0,8...0,4$  мкм и формирование остаточных напряжений сжатия до 1100...1200 МПа.

Ультразвуковая *обработка расплавов* уменьшает количество растворенных газов, уменьшает размер зерна и снижает внутренние напряжения в отливке.

Ультразвуки *ускоряют* протекание процессов диффузии, растворения и химических реакций. Влияние ультразвука на ход химических реакций главным образом обусловлено тем, что при кавитации в жидкости образуются свободные ионы. Ультразвук используют для газоочистки, так как он вызывает коагуляцию содержащихся в газах мельчайших твердых частиц и капелек жидкости.

### Вопросы для самоконтроля

1. Изложите принцип работы пьезо- и магнитострикторов. 2. Каковы основные свойства ультразвуков? 3. Приведите области применения ультразвуковой обработки в технике. 4. Как устроено оборудование для ультразвуковой очистки заготовок?

## 3.8. Пластическое деформирование материала

### 3.8.1. Общие сведения о деформировании материала

*Пластичность* – это свойство твердых тел изменять свою форму и размеры без разрушения под действием внешних сил и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия приложенной нагрузки. Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям скольжения под действием внешних сил. Чем больше плоскостей сдвига образуется в объеме материала, тем более он пластичен, тем при меньших напряжениях происходит деформирование заготовки.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и структуры, температуры нагрева, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

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. Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. Размер зерна влияет на пластичность при холодном деформировании и не сказывается при горячем деформировании.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве. Различают холодное и горячее деформирование в зависимости от соотношения температур процесса и рекристаллизации. При холодном деформировании температура обработки меньше температуры рекристаллизации, а при горячем деформировании – наоборот.

Нагрев до температурыковки уменьшает в 10...15 раз сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев заготовок из углеродистых сталей до 350 °С не увеличивает, а снижает пластичность, а нагрев свыше 700 °С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких заготовок целесообразен в указанном отрезке температур.

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 заготовок, усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на учете следующих положений:

– пластическая деформация наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале заготовки превышают предел его текучести. Используя это положение, можно определить усилие деформирования;

– пластическая деформация заготовки сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры заготовки в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки. Это положение необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали;

– объем заготовки до пластического деформирования равен 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 заготовки в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, где нет внешних препятствий.

*Область применения пластического деформирования* распространяется на восстановление геометрических параметров деталей, а также их жесткости, усталостной прочности и износостойкости. Способ обеспечивает экономичность и высокое качество восстановления деталей.

### **3.8.2. Восстановление размеров деталей**

Пластическое деформирование позволяет получить ремонтные заготовки, которые будут обработаны под номинальные размеры. При этом материал перемещают из неизнашиваемого объема в зону износа. Процесс включает термическую обработку, технологический нагрев (при необходимости) и приложение деформирующего усилия.

Термическая обработка перед деформированием представляет собой отжиг или высокий отпуск. В ряде случаев непосредственно перед деформированием заготовку нагревают до температурыковки. Последнюю операцию не проводят для стальных заготовок с твердостью менее 25...30 HRC, а также для заготовок из цветных металлов.

Процессы пластического деформирования материала разделяют на виды в зависимости от соотношения направления внешних сил и деформаций и применяемой энергии.

В зависимости от соотношения направлений внешних сил и деформаций различают основные способы создания ремонтных заготовок: осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание (рис. 3.18).

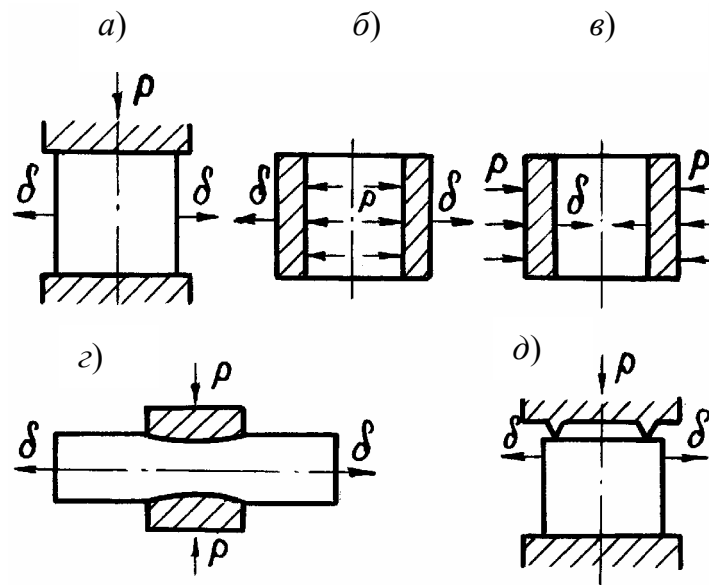


Рис. 3.18. Схемы процессов для восстановления размеров деталей: а – осадка; б – раздача; в – обжатие; г – вытяжка; д – вдавливание

*Осадка* применяется для увеличения наружного размера сплошных деталей. При осадке действие силы  $P$  перпендикулярно направлению деформации  $\delta$ . В результате воздействия площадь поперечного сечения заготовки увеличивается вследствие уменьшения ее высоты. Способ применяют при восстановлении пальцев, коротких осей и др. деталей. Для осадки применяют гидравлические прессы. Величину удельного давления  $p$  при осадке определяют по формуле

$$p = \sigma_m(1 + d/6h), \text{ МПа}, \quad (3.16)$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести материала при температуре его обработки, МПа;  $d$  и  $h$  – диаметр и длина заготовки, м.

Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 8 %, а для остальных деталей – до 15 %. Область применения осадки – восстановление наружной и внутренней поверхностей детали при нежестких требованиях к ее длине.

Муфты синхронизаторов восстанавливают осадкой в подкладном штампе с разъемной матрицей с производительностью до 100 заготовок в час. Процесс включает: нагрев заготовок в камерной печи до температуры 960...980 °С в атмосфере эндогаза; установку двух технологических полуколец, препятствующих деформированию паза; установку собранного изделия на оправку; штамповку на фрикционном прессе; выпрессовывание оправки и снятие полуколец; отжиг; точение кольцевой канавки; протягивание и калибрование эвольвентных шлицев; закругление зубьев; термическую обработку.

Направления действующих сил и деформаций при *раздаче* совпадают и направлены изнутри заготовки. Раздачу применяют при восстановлении наружных поверхностей поршневых пальцев, чашек дифференциала, втулок и других деталей. Механическую раздачу выполняют сферическими или цилиндрическими прошивками (дорнами). Величину удельного давления при раздаче определяют по формуле

$$p = 1,15 \sigma_m \ln(D/d), \text{ МПа}, \quad (3.17)$$

где  $D$  и  $d$  – наружный и внутренний диаметры заготовки, м.

Раздачу применяют при восстановлении наружных поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями ко внутренним размерам.

При *обжатии* направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь заготовки. Способ применяют при восстановлении внутренней поверхности детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Обжатием создают ремонтные заготовки гильз и втулок, например, путем проталкивания их сквозь втулку-инструмент. Диаметр калибрующего пояса инструмента принимают из расчета уменьшения внутреннего диаметра на величину износа и припуска на механическую обработку.

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

Вытяжку применяют при восстановлении длины сплошной детали с нежесткими требованиями к наружным размерам. Раздача с одновременной вытяжкой наружных поверхностей длинных полых заготовок с нежесткими требованиями к внутреннему размеру производится специальным деформирующим инструментом.

*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. Процесс ведут при высокой температуре нагрева (сталь – 680...920 °С) в штампах.

Частным случаем вдавливания является *накатка* (рис. 3.19). Ее часто применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего раз-

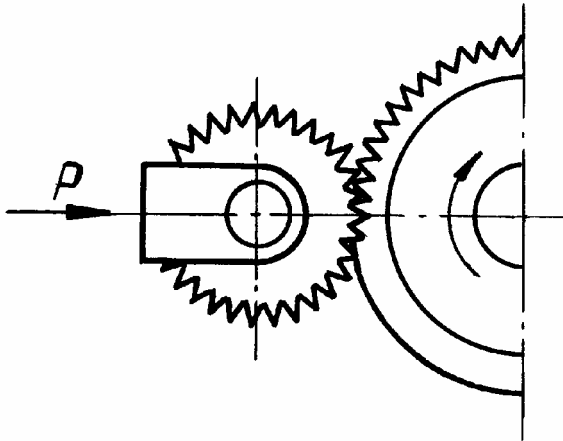


Рис. 3.19. Накатка поверхности

меров деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Накатку применяют при восстановлении размеров шеек и отверстий под подшипники, а также при восстановлении подшипников, залитых свинцовистой бронзой. В последнем случае образовавшиеся лунки заливают баббитом для восстановления несущей способности антифрикционного слоя.

Поверхности накатывают специальным инструментом – зубчатым роликом (накатником) с прямыми или косыми зубьями.

Накатывают детали, которые воспринимают контактные напряжения не более 7 МПа. Заготовки, имеющие твердость HRC < 32, можно накатывать в холодном состоянии при обильной подаче индустриального масла. Подъем гребешков металла после накатки составляет около половины высоты зуба накатника, он зависит также от шага накатки (1,2...3,0 мм).

Скорость накатки среднеуглеродистых сталей равна 10...15 м/мин, продольная подача 0,4...0,6 мм/об, угол заострения зуба накатника 60...70°. Накатку выполняют так, чтобы гребешки поднятого металла имели в поперечном сечении форму трапеции, а не треугольника. Поверхность после накатывания шлифуют.

Зубчатые профили шестерен и звездочек восстанавливают накаткой на стенде ОР-6400-01. Рабочий профиль инструмента соответствует профилю и размерам восстановленных зубьев.

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

Примеры *механического деформирования* заготовок рассмотрены выше. Деформирующее усилие создают молотами или прессами, заготовку при этом устанавливают в приспособление.

*Термопластическое деформирование* применяют при восстановлении деталей «тел вращения» – гильз цилиндров, поршневых пальцев, поршней и др.



Имеется два варианта термопластического обжатия заготовки типа гильзы. Первый вариант состоит в нагреве заготовки, установленной в жесткий охватывающий цилиндр, и последующем охлаждении. Второй вариант заключается в том, что внутри заготовки равномерно перемещают нагревающе-охлаждающий узел в виде индуктора с жидкостным спрейером. При этом создают квазистационарное тепловое поле в материале гильзы и значительный осевой температурный градиент. Последний формирует внутренние напряжения, под действием которых происходит равномерное пластическое обжатие заготовки. Длительность процесса 5...6 мин. Величина обжатия составляет 0,9...1,0 мм.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что заготовку нагревают снаружи до температуры выше  $A_{c3}$  и охлаждают изнутри потоком жидкости. Внутренние кольцевые слои материала, охлаждаясь, стремятся уменьшиться в диаметре, но им препятствуют нагретые наружные слои, поэтому внутренние слои пластически растягиваются и увеличиваются в диаметре по сравнению с первоначальным размером в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую «оправку», которая препятствует уменьшению диаметров наружных слоев.

Процесс протекает с одновременной закалкой материала. Приращение диаметра поршневых пальцев дизельных двигателей составляет 0,1...0,3 мм. Рассмотренный способ позволяет 4...6-кратное восстановление деталей. Однако способ недостаточно применим к деталям карбюраторных двигателей. Малая толщина стенок этих деталей (4...5 мм по сравнению с 8...10 мм у дизелей) не дает большого приращения диаметра.

*Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев карбюраторных двигателей основана на эффекте Л.А. Юткина (авторское свидетельство СССР № 105011). Сущность эффекта заключается в инициировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость заготовки, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала заготовки и обеспечивает припуск на абразивную обработку.*

Устройство для электрогидравлической раздачи приведено на рис. 3.20. Технологическая жидкость, заполняющая внутреннюю полость заготовки, – вода. Напряжение разряда контура 37 кВ, емкость батареи конденсаторов 6 мкф. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ-500, а иницирующий проводник – из алюминиевой проволоки диаметром 0,7 мм. При указанных режимах раздачи наблюдается увеличение диаметра поршневых пальцев, выполненных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

После деформирования необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров. Число ходов при шлифовании заготовки поршневого пальца в 1,5...2,0 раза больше, чем при обработке заготовки с нанесенным хромовым покрытием.

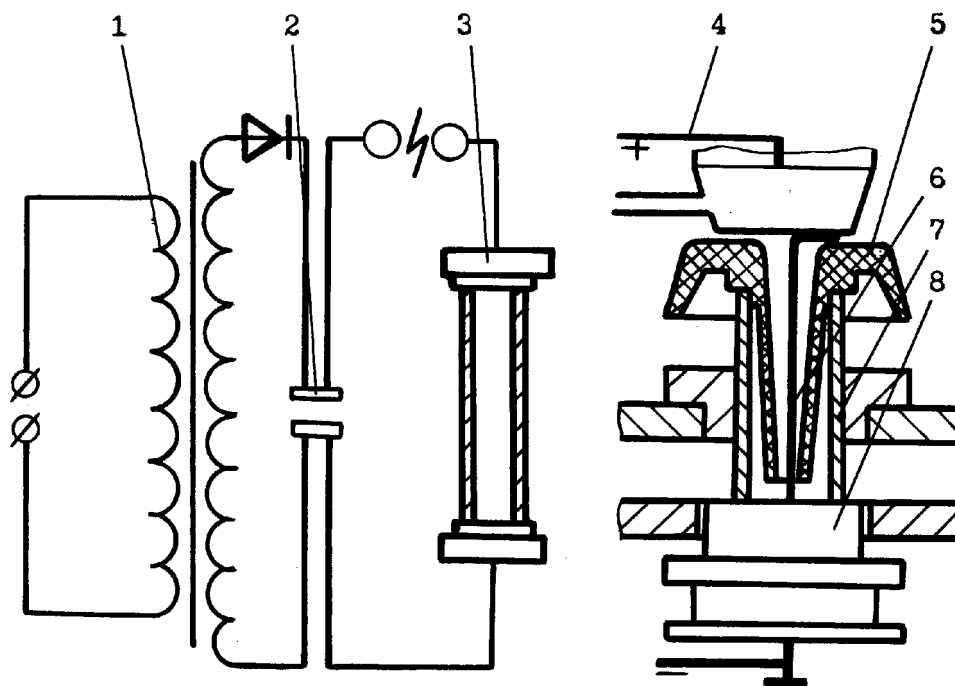


Рис. 3.20. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев: 1 – источник энергии; 2 – накопитель энергии; 3 – технологический узел; 4 – положительный электрод; 5 – пластмассовый патрон; 6 – проводник; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – отрицательный электрод

### 3.8.3. Восстановление формы

Форму изогнутой или скрученной детали восстанавливают *правкой*. Направление действующей силы при этом противоположно устраняемой деформации и в большинстве случаев перпендикулярно оси детали. Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, кронштейны и другие детали. При правке деформируют всю деталь или ее элемент, создают статическую или динамическую нагрузку, процесс ведут без нагрева или с нагревом.

Для *холодной* правки детали характерны неоднородность деформаций по сечению, а, следовательно, и 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. Усилие холодной правки  $P$  определяют по формуле

$$P = 0,0068 \sigma_m d^3 / l, \text{ МН}, \quad (3.18)$$

где  $d$  и  $l$  – диаметр и длина детали, м.

Для повышения стабильности результата применяют *двойную* правку с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500 °С, выдержкой в течение 1 часа и охлаждением в кон-

тейнере. Такая термическая обработка восстанавливает до 90 % несущей способности деталей.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют *горячую* правку. Перед правкой нагревают всю деталь или ее часть до температуры 600...800 °С. Такая правка завершается отпуском.

Правку выполняют однократным приложением нагрузки, рассчитанной по формуле (3.18), или многократным приложением половинной нагрузки. Последняя технология реализована в оборудовании для правки деталей итальянской фирмы Galdobini. Оборудование этой фирмы применяют, например, на заводах по изготовлению автомобильных двигателей.

Для коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна, применяют *поэлементную* правку без нагрева в объеме одной шатунной шейки путем создания преимущественно сжимающих напряжений с медленным нарастанием и снятием нагрузки.

Высокое качество обеспечивает правка *наклепом*. Несоосность шеек валов при этом достигает 0,02 мм, наблюдается стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком путем нанесения ударов по нетрущимся поверхностям детали.

#### **3.8.4. Упрочнение поверхностей**

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно *наклепом* поверхностного слоя детали или всего ее объема. Явление заключается в изменении структуры металла, которое вызвано пластическим деформированием. При восстановлении усталостной прочности в поверхностном слое создают сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения электрохимических покрытий.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), чеканку, дробеструйную или центробежную обработку, калибрование, выглаживание и др.

Наибольшее применение получило *обкатывание* роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механическую подачу (продольную и поперечную). Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) прижимается к заготовке усилием поперечной подачи.

Галтели коленчатых валах упрочняют обкатыванием профильными роликами из твердого сплава, которые при работе касаются галтельных переходов детали под действием приложенной силы.

Внутренние поверхности гильз цилиндров, головок шатунов и других деталей упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 3.21). 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.

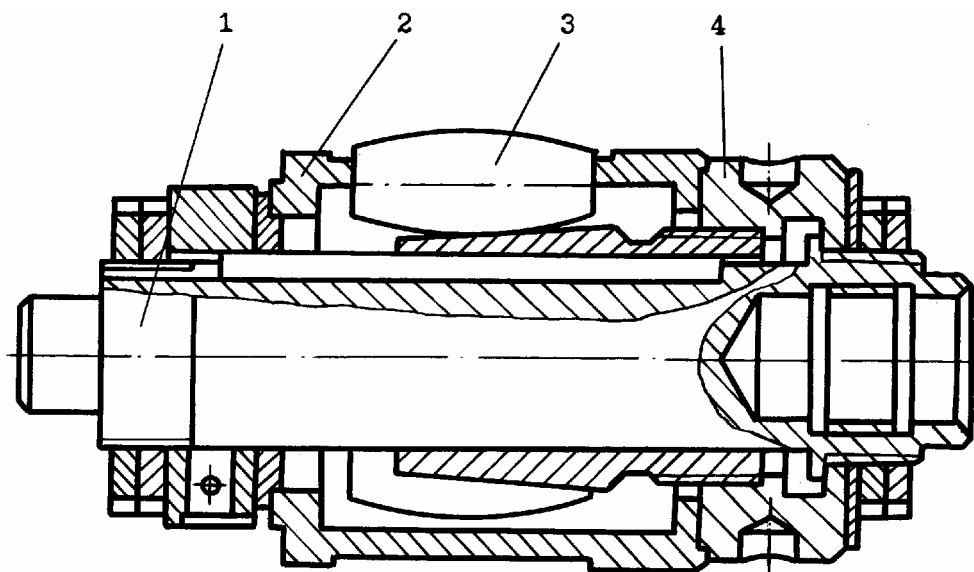


Рис. 3.21. Устройство для раскатывания отверстий: 1 – вал; 2 – корпус; 3 – ролик; 4 – гайка

Обкатывание и раскатывание улучшают шероховатость поверхности на 1...2 класса.

Более эффективным способом упрочнения поверхностей деталей является их *чеканка*. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Толщина наклепанного слоя при чеканке в несколько раз больше, чем при обкатывании. Чеканкой упрочняют также сварные швы. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Чеканочный инструмент представляет собой боек с профильным радиусом 3...5 мм. Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Энергия удара пневматических инструментов составляет 30...50 Дж, электромеханических – 20 Дж. Чеканочные приспособления для обработки деталей – тел вращения устанавливают на токар-

ных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволок диаметром 2...3 мм.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для восстановления исходной шероховатости детали шлифуют.

*Дробеструйную обработку* применяют как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности деталей (шатунных коромысел). В качестве оборудования для обработки дробью применяют механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2,0 мм. Время наклепа – 3...10 мин, а его глубина не превышает 1 мм.

Дробеструйная обработка ухудшает шероховатость поверхности на 1...2 класса, на этот параметр оказывают влияние частота вращения ротора, диаметр дроби и продолжительность обработки.

Наклеп *ротационным упрочнителем* выполняют с помощью приспособления (рис. 3.22), установленного на суппорте токарного станка. Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые установлены 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 применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Размер детали практически не изменяется, шероховатость поверхности улучшается на 1...2 класса, твердость увеличивается на 25...45 % для стали и на 30...60 % для чугуна. Способ отличается высокой производительностью.

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 %. Тер-

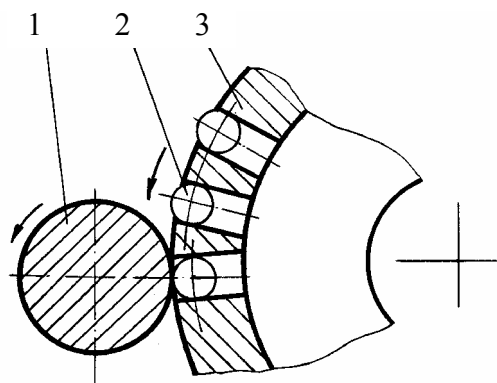


Рис. 3.22. Схема устройства для ротационного упрочнения: 1 – деталь; 2 – шарики; 3 – корпус

мически обработанные стали, имеющие твердость HRC 40...45, в процессе наклепа увеличивают ее всего на 5...10 %.

Пластическое деформирование применяют так же, как отделочно-чистовую обработку в виде калибрования отверстий или выглаживания.

Отверстия *калибруют* перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ.

Сущность *выглаживания* заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, при выглаживании используют трение скольжения.

В качестве материала для выглаживающего инструмента применяют твердые сплавы, минералокерамику и синтетические алмазы. Характер изменения размера и шероховатости поверхностей с различными покрытиями показан на рис. 3.23. Наилучшие результаты показывает инструмент из синтетического алмаза, представляющий собой оправку с алмазным наконечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка. Выглаживают только сплошные поверхности.

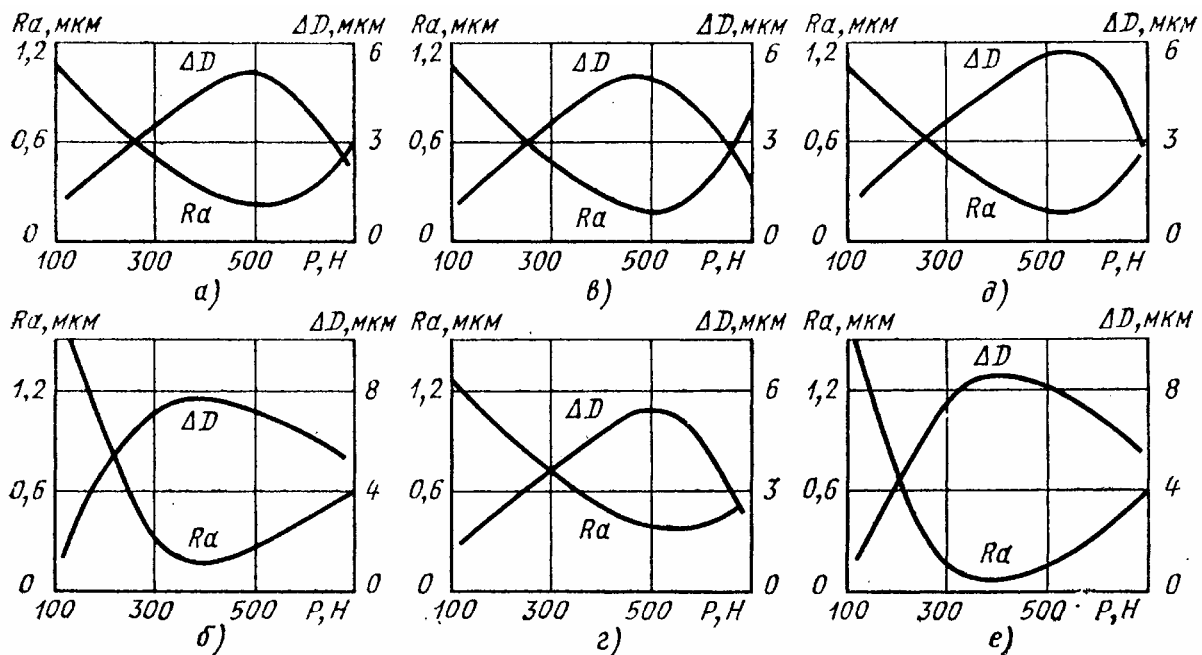


Рис. 3.23. Изменение шероховатости  $R_a$  и диаметра  $\Delta D$  выглаживаемых поверхностей под действием силы  $P$ : а – вибродуговая наплавка проволокой Нп-65Г; б – вибродуговая наплавка проволокой Св-08; в – наплавка под слоем плавленного флюса АН-348А; г – наплавка под слоем керамического флюса АНК-18; д – железнение (HV 5,2...5,6 ГПа); е – железнение (HV 2,9...3,3 ГПа)

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. 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 радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью. Рабочая часть иглы выполнена в виде сферы радиусом 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, в поверхностном слое образуются напряжения сжатия.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям также высокие износостойкость и усталостную прочность. Этот вид обработки рекомендуют для упрочнения наплавленных и электрохимических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в два раза.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. В чем суть и преимущества пластического деформирования материала перед другими способами? 2. Какие свойства деталей восстанавливают пластическим деформированием материала? 3. Как восстанавливают форму детали? 4. В чем заключается упрочняющий эффект пластического деформирования материала?

### **ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ**

1. Современные представления об обеспечении износостойкости трущихся элементов деталей.
2. Совершенствование процессов обеспечения усталостной прочности деталей.
3. Новые материалы, применяемые для упрочнения деталей.
4. Электроконтактная приварка материала в процессах создания ремонтных заготовок.
5. Электроискровая обработка в процессах изготовления деталей.
6. Применение электронно-лучевой обработки для повышения долговечности деталей.
7. Место лазерной обработки в процессах упрочнения деталей.
8. Температура и скорость частиц при напылении материалов и их влияние на качество покрытий.
9. Место пластического деформирования в процессах упрочнения деталей.
10. Повышение производительности и снижение энергоемкости процессов упрочнения деталей.

## **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ**

*Студент должен знать:*

– основные способы упрочнения деталей при их изготовлении и соответствующее оборудование.

*Студент должен уметь:*

- применять современные способы и средства упрочнения деталей;
- обеспечивать условия высокой износостойкости восстанавливаемых поверхностей деталей за счет выбора материала и вида обработки;
- выбирать вид и назначать режимы различных видов упрочнения деталей;
- определять рациональные области применения различных способов упрочнения деталей;
- давать технико-экономическую оценку различных способов упрочнения деталей.

## **РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ**

Знания материала третьей главы оцениваются по результатам выполнения лабораторных работ и ответов студентов на вопросы, поставленных в конце изучаемых тем.

Высокой оценки заслуживают те студенты, которые демонстрируют знания:

- необходимости процесса упрочнения деталей и различных его видов;
- классификации и характеристики способов упрочнения деталей;
- материалов, необходимых для нанесения покрытий;
- оборудования, применяемого для упрочнения деталей;
- основных процессов нанесения упрочняющих покрытий;
- основных параметров, характеризующих качество упрочнения деталей, и способов их обеспечения.



## 4. СБОРКА АГРЕГАТОВ И МАШИН

### 4.1. Сборочные комплекты агрегатов

#### *4.1.1. Назначение процесса комплектования агрегата*

*Сборочный комплект* (согласно ГОСТ 3.1109-82) – множество составных частей агрегата, которые необходимо подать на рабочее место для его сборки.

Составными частями агрегата служат материалы и детали. Материалы (клеи, герметики, набивку, шплинтовочную проволоку и др.) включают в сборочный комплект с учетом их норм расхода. Детали сборочного комплекта удовлетворяют требованиям номенклатурного, размерного и массового подбора.

*Комплектование агрегата* составными частями – это получение его сборочного комплекта.

На участок сборки агрегатов поступают изготовленные детали с соответствующих участков, а также материалы и запасные изделия со склада. На пути их следования располагают комплектовочный участок, который примыкает к сборочному. Здесь накапливают, учитывают и непрерывно пополняют трехсменный запас деталей и материалов. Запас деталей на комплектовочном участке разрешает противоречие между вероятностным характером поступления их на сборку и требованиями непрерывности и ритмичности производства.

Комплектование агрегатов деталями и сборочными единицами является вспомогательным процессом сборки агрегатов. Он высвобождает сборщиков от несвойственных им функций, повышает производительность и качество сборки.

Размеры деталей сборочного комплекта должны обеспечить нормативные зазоры, натяги или перекосы в их соединениях. Подбор по массе деталей, движущихся при работе поступательно, частично обеспечивает уравновешенность собранных агрегатов.

#### *4.1.2. Точность замыкающих размеров*

Основное условие вхождения деталей в сборочный комплект состоит в обеспечении нормативных значений замыкающих размеров в соединениях этих деталей.

*Сборочная размерная цепь* представляет собой замкнутый контур взаимосвязанных составляющих и замыкающего (линейных или угловых) размеров, которые имеют численные значения и допуски.

*Составляющие* размеры – звенья размерной цепи, которые вызывают изменение замыкающего размера. Составляющие размеры по характеру воздействия их на замыкающий размер могут быть увеличивающими или уменьшающими, т.е. при их увеличении замыкающий размер увеличивается или уменьшается соответственно.

*Замыкающий* размер – зазор или натяг в соединении или перекос осей деталей, которые определяются значениями составляющих размеров.

*Точность* замыкающего размера определяется степенью совпадения его фактического значения с нормативным.

Требуемая точность замыкающего размера достигается пятью способами: полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, регулированием и пригонкой.

При *полной* взаимозаменяемости составляющих звеньев необходимая точность замыкающего размера обеспечивается включением в размерную цепь любого звена без подбора, выбора или изменения его размера. Решают прямую задачу взаимозаменяемости – назначают допуски составляющих размеров из расчета, чтобы их сумма не превышала нормативный допуск замыкающего размера

$$\sum_{i=1}^{m-1} \delta_{A_i} \leq [\delta_{A_\Delta}], \text{ мм}, \quad (4.1)$$

где  $[\delta_{A_\Delta}]$  – нормативный допуск замыкающего размера, мм;  $i$  – номер звена размерной цепи;  $m$  – число звеньев размерной цепи;  $\delta_{A_i}$  – допуск  $i$ -того составляющего звена, мм.

Полная взаимозаменяемость составляющих звеньев при образовании соединения из них требует высокой точности обработки деталей. Этот способ применяют при сборке распространенных ответственных соединений: вкладыш – шейка, вкладыш – опора, клапан – втулка и др.

*Неполная* взаимозаменяемость составляющих звеньев предусматривает достижение нормативной точности замыкающего звена не у всех соединений, а у обусловленной их части при включении в размерную цепь любого звена без подбора, выбора или изменения его размера. Условие такого вида взаимозаменяемости рассчитывается вероятностным методом:

$$t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 \delta_{A_i}^2} \leq [\delta_{A_\Delta}], \text{ мм}, \quad (4.2)$$

где  $t$  – коэффициент, который определяется в зависимости от принятого процента риска  $P$  (табл. 4.1);  $\lambda_i$  – коэффициент относительного рассеяния (для нормального закона распределения  $\lambda_i = 1/3$ ).

Таблица 4.1

Зависимость коэффициента  $t$  от процента риска  $P$  при распределении случайной величины по закону Гаусса

$P$	0,10	0,20	0,27	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	10,00	32,00
$t$	3,29	3,12	3,00	2,80	2,57	2,33	2,17	2,06	1,96	1,65	1,00

При увеличении допусков на составляющие размеры в 1,5...2,0 раза по сравнению с допусками, обеспечивающими полную взаимозаменяемость, процент риска, определяющий долю соединений, замыкающие размеры которых выходят за нормативные пределы, примерно равен единице. Это объясняется тем, что значения размеров тяготеют к центру группирования (пик кривой нормального распределения случайной величины приходится над этим центром).

При *групповой* взаимозаменяемости составляющих звеньев установленная точность замыкающего размера соединения достигается включением в размерную цепь звеньев, принадлежащих к одной из размерных групп, на которые звенья предварительно рассортированы. Так собирают поршни с гильзами цилиндров, поршни с поршневыми пальцами, поршневые пальцы с шатунами и другие двухзвенные соединения. Нормативный допуск замыкающего звена соединения  $[\delta'_{A\Delta}]$  при этом равен

$$[\delta'_{A\Delta}] = \frac{\delta_A + \delta_B}{n}, \text{ мм}, \quad (4.3)$$

где  $\delta_A$  и  $\delta_B$  – допуски на размер отверстия и вала соответственно, мм;  $n$  – число размерных групп.

Групповую взаимозаменяемость составляющих звеньев соединения назначают в том случае, когда или невозможно, или экономически нецелесообразно обеспечить эту взаимозаменяемость первыми двумя способами. В этом случае трудности обработки превращаются в сложности сборки. Однако групповая взаимозаменяемость обуславливает высокие требования к форме элементов деталей, образующих соединения. Погрешности формы в этом случае составляют долю допуска на размер детали, входящей в размерную группу, а не долю допуска на изготовление детали.

Детали с отверстиями после их обработки быстро сортируют на размерные группы с помощью пневматического измерительного стенда (рис. 4.1). Работа стенда основана на использовании зависимости между расходом сжатого воздуха и значениями зазора между деталью и калибром, через который воздух выходит в атмосферу.

Стенд снабжен вертикальной стеклянной конической трубкой 6 (широким концом вверх) с поплавком 5, который находится во взвешенном

состоянии в струе сжатого воздуха, подаваемого к стенду под установленным давлением в пределах 0,3...0,5 МПа. Высота, на которую поднимается поплавков, зависит от расхода сжатого воздуха, который, в свою очередь, зависит от измеряемого размера. Верхняя плоскость поплавка служит указателем при считывании размера. Цена деления шкалы 6 составляет 0,2...2,0 мкм. Постоянство давления подаваемого сжатого воздуха обеспечивает стабилизатор 1.

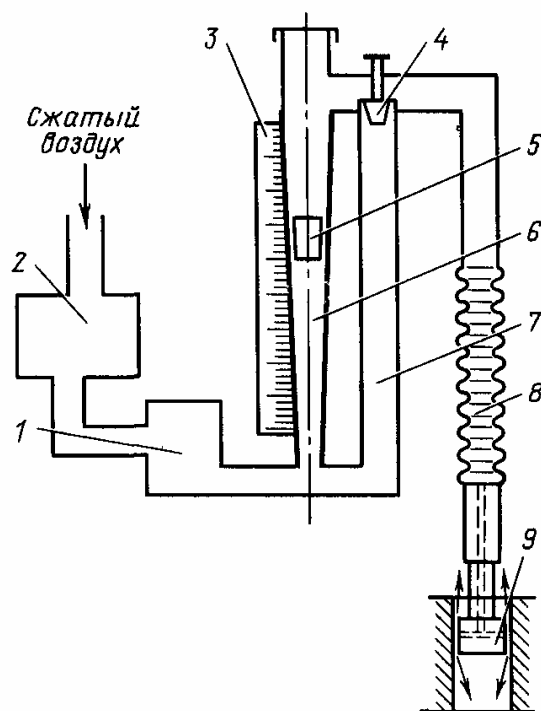


Рис. 4.1. Схема пневматического измерительного стенда: 1 – стабилизатор давления; 2 – влагоотделитель; 3 – шкала; 4 – кран; 5 – поплавок; 6 – стеклянная коническая трубка; 7 – обводная трубка; 8 – гофрированный шланг; 9 – пневматический калибр

С помощью стендов такого типа можно измерять диаметры шеек валов и параметры формы и расположения поверхностей, а также несколько параметров одновременно.

Способ *регулирования* предусматривает достижение точности замыкающего размера без снятия слоя металла путем вращения резьбовых деталей или изменения числа стальных прокладок в размерной цепи. В первом случае, например, получают нормативный зазор между клапанами и толкателями, концами оттяжных рычагов сцепления и выжимным подшипником вращением резьбовых деталей. Во втором случае, например, при достижении нормативного зазора в радиально-осевых подшипниках или осевого зазора в зубчатом зацеплении в размерную цепь включают

нужное число прокладок. Число прокладок определяют после пробной сборки соединения и измерения полученного замыкающего размера. В наборе прокладок как минимум одна из них должна иметь толщину, не превышающую допуск замыкающего размера, а толщина остальных прокладок, имеющих большую толщину, должна быть кратной толщине тонкой прокладки. Толщина набора прокладок должна соответствовать максимальному значению замыкающего размера.

*Пригонка* – способ достижения точности замыкающего звена путем изменения толщины компенсирующего звена за счет снятия слоя металла, например, для достижения необходимого температурного зазора в стыке поршневого кольца.

#### **4.1.3. Содержание комплектовочных работ**

Комплектовочные работы включают:

– номенклатурный подбор деталей и сборочных единиц, входящих в агрегат, и материалов (мастик, герметиков и др.) с разбивкой их для каждого рабочего места (позиции) сборки;

– подбор деталей, входящих в соединения, по ремонтным размерам (поршень – цилиндр, коленчатый вал – вкладыши, распределительный вал – втулки и др.);

– подбор деталей, входящих в соединения, по размерным группам (поршень – цилиндр, поршень – поршневой палец, поршневой палец – шатун и др.);

– подбор деталей по массе (шатуну, поршневые комплекты);

– подбор зубчатых колес, составляющих пару, по зазору в зацеплении;

– выполнение пригоночных работ (например, поршневых колец к цилиндру);

– подготовку соединений к сборке (ослабляют затяжку регулировочных винтов и болтов коромысел и толкателей, разбирают шатуны с крышками и др.).

Состав сборочного комплекта агрегата удовлетворяет таким условиям:

1. Количество деталей и масса материалов необходимы и достаточны для сборки агрегата.

2. Одноименные соединения состоят из деталей одинаковых ремонтных размеров (если такие предусмотрены).

3. Соединения, формируемые на принципах групповой взаимозаменяемости, состоят из деталей одних размерных групп.

4. Разброс масс поступательно движущихся деталей не превышает нормативных значений.

5. Межосевые расстояния отверстий в корпусных деталях для установки валов превышают беззазорные межосевые расстояния соответствующих зубчатых колес на величину нормативного радиального зазора в зацеплении.

Пример комплектования деталями собираемого двигателя внутреннего сгорания приведен в табл. 4.2. В таблицу включены детали, которые подбирают друг к другу по размерам или массе. Остальные детали входят в сборочный комплект по наименованию и количеству без подбора.

Таблица 4.2

Основные детали сборочного комплекта двигателя

Деталь комплекта	Сопрягаемые детали	Комплектовочные параметры				
		Ремонтный размер	Размерная группа	Величина выпукания	Межосевое расстояние	Массовая группа
1	2	3	4	5	6	7
Блок цилиндров с крышками коренных опор и втулками распределительного вала	Распределительный вал Толкатели Шатуны	Диаметры отверстия во втулках распределительного вала и под толкатели	Расстояние между осью коренных опор и плоскостью под головку цилиндров	–	–	–
Гильза цилиндра	Поршень Блок цилиндров	Диаметр отверстия	Диаметр отверстия	Высота	–	–
Головка цилиндров с втулками клапанов	Клапаны	Диаметр отверстий во втулках	–	–	–	–
Поршень	Гильза цилиндра Поршневой палец	Диаметр юбки	Диаметр юбки Диаметр отверстия под поршневой палец	–	–	Масса поршня
Поршневой палец	Поршень Шатун со втулкой	–	Диаметр наружный	–	–	Масса пальца
Шатун со втулкой	Поршневой палец Блок цилиндров	–	Диаметр отверстия во втулке	–	Расстояние между осями отверстий	Масса головок

1	2	3	4	5	6	7
Коленчатый вал	Вкладыши коренные и шатунные	Диаметр коренных и шатунных шеек	–	–	–	–
Шайба упорная	Блок цилиндров Коленчатый вал	Высота	–	–	–	–
Вкладыши коренные и шатунные	Коленчатый вал	Диаметр отверстия	–	–	–	–
Распределительный вал	Блок цилиндров	Диаметр шеек	–	–	–	–
Шайба распределительного вала	Фланец распределительного вала	Высота	–	–	–	–
Фланец распределительного вала	Распределительный вал	Высота	–	–	–	–
Клапан	Головка цилиндров с втулками клапанов	Диаметр стержня	–	–	–	–
Толкатель	Блок цилиндров	Диаметр наружный	–	–	–	–
Шестерни коленчатого и распределительного валов	Блок цилиндров	–	–	–	Беззазорное межосевое расстояние	–

#### 4.1.4. Способы комплектования

Сборочный комплект деталей агрегата состоит из трех частей. Первая часть включает материалы и многочисленные крепежные детали. Вторая часть комплекта включает детали, которые обрабатывали под ремонтные размеры или которые входят в соединения, составляющие размерные группы, или подобранные по массе. Третью часть комплекта образуют остальные детали.

Первую часть деталей и материалов комплекта в сменном объеме доставляют в начале смены на рабочие места сборщиков и помещают в соответствующие ячейки. Вторую и третью части комплектов формируют на комплекточном участке и выдают из расчета возможности сборки отдельных

агрегатов. Количество деталей, образующих первую и третью части сборочного комплекта, должно быть достаточным для сборки агрегата.

Наибольшие трудности представляет формирование второй части комплекта деталей. На рабочих местах комплектовочного участка имеются детали различных ремонтных размеров, размерных и массовых групп. Корпусная деталь входит в различные размерные цепи, поэтому с нее начинают комплектование. К базовой детали агрегата добавляют детали, образующие с ней размерные цепи. Добавляемые одноименные детали, образующие сборочные единицы, должны быть одного ремонтного размера (условия 1 и 2). Далее в комплект добавляют детали, образующие размерные цепи с предыдущими деталями, при этом добиваются обеспечения условий 1...4, т. е. число добавляемых деталей соответствует комплектовочной ведомости, все они одного ремонтного размера и одной массовой группы, детали в каждом соединении одной размерной группы. Так же последовательно добавляют в сборочный комплект детали, образующие каждый раз с предыдущими деталями размерные цепи до тех пор, пока все эти цепи не будут составлены.

Условие 5 обеспечивают во время сборки агрегата следующим образом. После того как в агрегат установлены валы, на которых будут закреплены зубчатые колеса, измеряют расстояния между осями этих валов. От этого расстояния отнимают нормативный зазор в зацеплении. Полученное значение равно беззазорному расстоянию между осями зубчатых колес. Последнее расстояние, измеренное при определении технического состояния пары колес ремонтного фонда или при составлении пары новых колес, указано на их связке.

Комплектовочный участок оснащают оборудованием для разборки сборочных единиц, ранее обработанных в сборе, верстаками, столами, рольгангами, измерительно-сортировочными средствами и шкафами для них, тарой, стеллажами и подъемно-транспортными средствами. В помещении участка сосредоточены значительные материальные ценности, поэтому оно имеет прочные стены, потолок и ворота, а также оснащено охранной сигнализацией.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие цели преследуют при образовании сборочных комплектов? 2. Какими способами добиваются нормативной точности замыкающих размеров в соединениях? 3. В чем заключается суть групповой взаимозаменяемости? 4. Каким образом повышают производительность сортировки деталей на размерные группы? 5. Приведите правила и порядок образования сборочного комплекта деталей агрегата.



## 4.2. Уравновешивание агрегатов

Агрегат считается *уравновешенным*, если при его работе равнодействующая всех сил, действующих на опоры, не изменяет значение и направление.

Динамические нагрузки на опоры работающего агрегата обусловлены поступательным и вращательным движением деталей. Агрегат будет уравновешенным в том случае, если он собран из одноименных деталей, движущихся поступательно, одинаковой массы и вращающихся деталей, прошедших балансировку.

Движущиеся детали изменяют свою массу или становятся при эксплуатации неуравновешенными в результате накопления загрязнений на их поверхностях, неравномерного изнашивания и деформирования. Это приводит к дополнительным нагрузкам в кинематических парах и накоплению усталостных повреждений в шейках валов, что, в свою очередь, снижает долговечность агрегатов.

### 4.2.1. Точность массы деталей

Многоцилиндровые двигатели, компрессоры, насосы и др. агрегаты устроены таким образом, что их поршни и штоки при работе движутся поступательно в противофазе по отношению друг к другу. Если массы этих деталей одинаковы, то инерционные нагрузки от них уравновешиваются.

Поступательно движущиеся детали с большой массой создают большие инерционные нагрузки на корпус агрегата, а детали с малой массой непрочные. Для деталей одного наименования, прошедших восстановление, устанавливают наибольшее  $m_{max}$  и наименьшее  $m_{min}$  значение их массы, допуск которой  $\Delta m_{\partial}$  равен

$$\Delta m_{\partial} = m_{max} - m_{min}, \text{ Г.} \quad (4.4)$$

Если масса детали оказывается за пределами допуска (4.1), то прибегают к срезанию лишнего металла или к закреплению недостающего. Первый вариант применяют чаще. Эти работы выполняют на участках восстановления соответствующих деталей.

Имеются детали типа шатунов, части которых участвуют в двух движениях, одно из которых поступательное, поэтому отдельно ограничивают массы указанных частей. При этом верхнюю и нижнюю головки шатуна одновременно взвешивают на двух весах. Лишний металл фрезеруют с приливов на головках.

Однако детали одного агрегата должны обладать существенно меньшим допуском их массы  $\Delta m_{\partial k}$  по сравнению с условием (4.4)

$$\Delta m_{\partial k} \approx (0,1 \dots 0,2) \Delta m_{\partial}, \text{ г.} \quad (4.5)$$

Значения, например, массы деталей поршневой группы (поршня, поршневого пальца, поршневых и стопорных колец), входящих в сборочный комплект двигателя внутреннего сгорания, должны отличаться друг от друга не более чем на 2...4 г. Эти сборочные единицы взвешивают, например, на весах НПВ-1-2.

На комплектовочном участке детали сортируют на массовые *группы*, число  $n_m$  которых равно

$$n_m = \Delta m_{\partial} / \Delta m_{\partial к}. \quad (4.6)$$

#### 4.2.2. Балансировка деталей и сборочных единиц

*Балансировка* (франц. balancier – качать, уравновешивать) – это уравновешивание сил инерции вращающихся деталей и сборочных единиц путем совмещения их осей инерции и вращения с помощью противовесов.

Вращающаяся деталь или сборочная единица является полностью *уравновешенной*, если результирующая сила и момент инерции равны нулю. Условия полной уравновешенности изделия следующие:

$$Mr_s = \sum_{i=1}^{i=k} m_i r_i = 0 \text{ (г·см)} \quad (4.7)$$

или  $r_s = 0$ ;

$$J_{lr} = \sum_{i=1}^{i=k} m_i l_i r_i = 0, \text{ г·см}^2, \quad (4.8)$$

где  $M$  – масса изделия, г;  $r_s$  – расстояние от центра масс изделия до оси его вращения, см;  $J_{lr}$  – центробежный момент инерции, г·см<sup>2</sup>;  $m_i$ ,  $r_i$  и  $l_i$  – соответственно масса (г) элемента детали, расстояние (см) от центра его масс до оси вращения изделия и плечо (см) действия центробежной силы элемента относительно оси, проходящей через центр масс изделия;  $i = 1 \dots k$  – число конструктивных элементов изделия.

Первое условие соблюдается, если центр масс изделия находится на оси вращения. Второе условие выполняется, когда ось вращения изделия совпадает с одной из главных его осей инерции. Первое и второе условия соблюдаются одновременно, если ось вращения изделия совпадает с одной из его главных центральных осей инерции, т.е. главной осью инерции, проходящей через центр масс. Изделие является уравновешенным статически, если выполняется первое условие, и уравновешенным динамически, если выполняется второе условие.

В реальных условиях различают статическую, динамическую и смешанную неуравновешенность вращающихся деталей или сборочных единиц.

Статическая неуравновешенность (рис. 4.2, а) наблюдается у дискообразных деталей малой высоты (маховиков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, чугунных шкивов и др.), когда имеется только неуравновешенная сила. Способы статической балансировки состоят в совмещении центра масс детали с осью ее вращения путем снятия или добавления металла. При этом определяют направление дисбаланса – линию, которая проходит через ось вращения детали перпендикулярно ей и центр неуравновешенной массы. Затем излишний металл снимают в удобном на этой линии месте по одну сторону с неуравновешенной массой от оси вращения или добавляют металл, если неуравновешенная масса находится по другую сторону от оси вращения детали. Массу  $m$  снимаемого (добавляемого) металла определяют по формуле

$$m = Mr_s/R, \text{ г}, \quad (4.9)$$

где  $R$  – расстояние от оси вращения до центра масс снимаемого (добавляемого) металла, см.

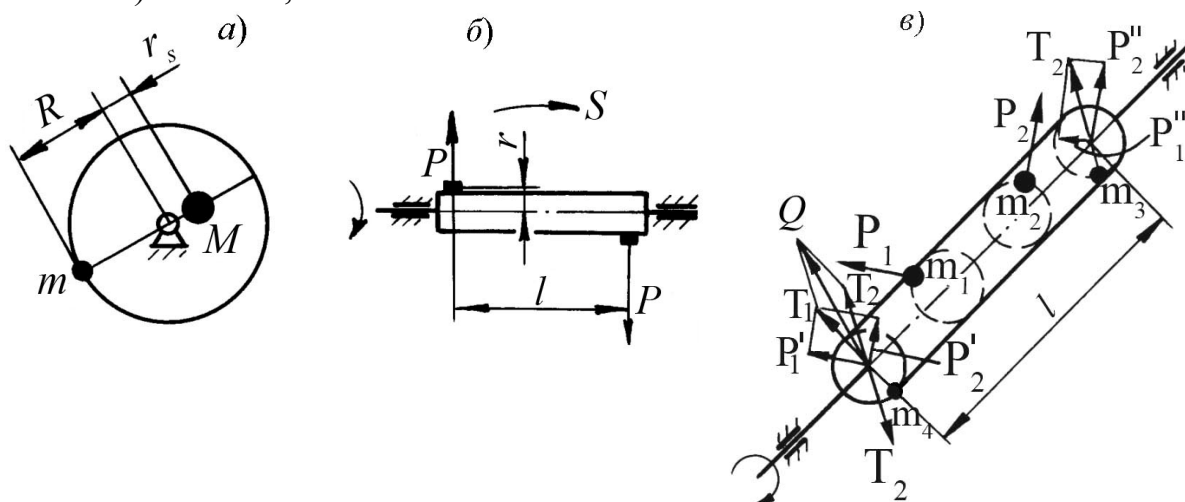


Рис. 4.2. Виды неуравновешенности деталей: а – статическая; б – динамическая; в – смешанная

Балансировку ведут на роликах, горизонтальных призмах, качающихся дисках и на станках.

Устройства для статической балансировки деталей на роликах и горизонтальных призмах приведены на рис. 4.3. Деталь 1 устанавливают без зазора на оправку 2, которую, в свою очередь, устанавливают на ролики или призмы. Неуравновешенная деталь повернется вокруг своей оси, при этом ее «тяжелая» часть окажется внизу. Балансировка на призмах дает более точные результаты, однако в этом случае требуется, чтобы их рабочие поверхности располагались горизонтально. Эти устройства показыва-

ют только направления дисбаланса, определение его значения затруднено и требует практического навыка.

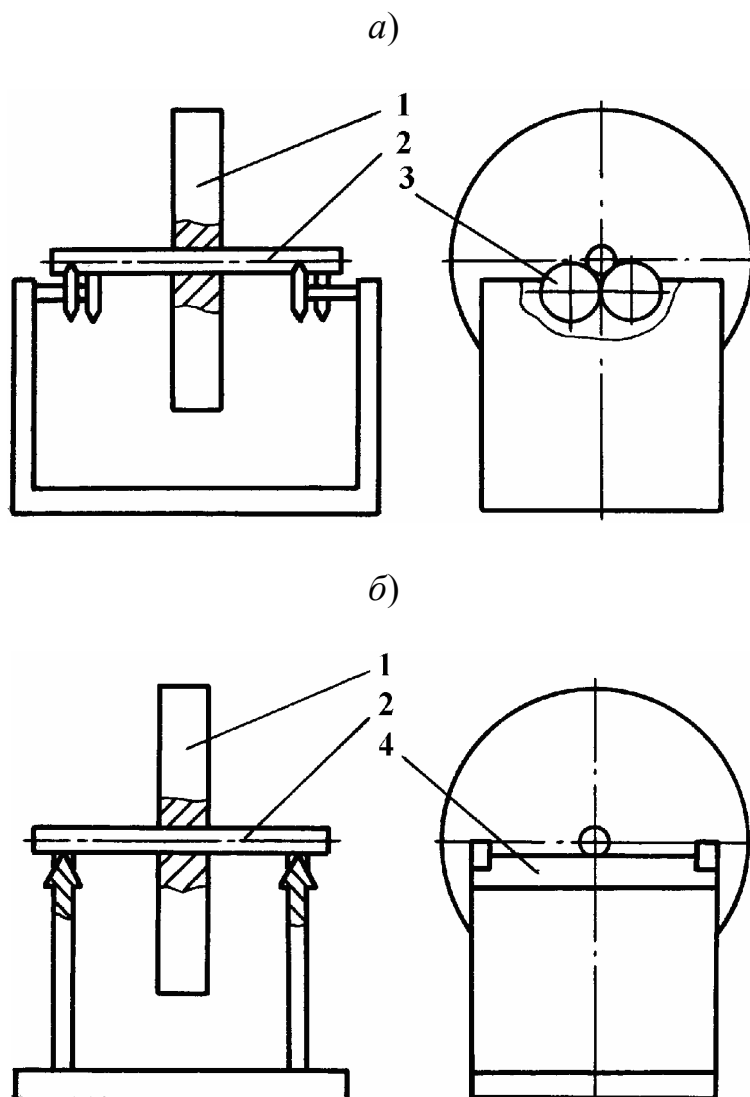


Рис. 4.3. Схема устройства для статической балансировки деталей: *а* – на роликах; *б* – на призмах; 1 – деталь; 2 – оправка; 3 – ролики; 4 – призмы

Устройство для статической балансировки деталей на качающемся диске (рис. 4.4) лишено приведенного недостатка. Его статически отбалансированный диск 2 имеет опоры (цилиндрическую поверхность и плоскость) для балансируемой детали. Соосно цилиндрической поверхности установлено острие 3, которое соприкасается с ответным коническим углублением опоры 4. Две стрелки 1 диска расположены во взаимно перпендикулярных направлениях. Деталь устанавливают на диск и ориентируют центрирующим пояском. Если диск с деталью наклонился, то их приводят в горизонтальное положение путем перемещения по поверхности дета-

ли компенсирующего груза. Место нахождения груза и его масса показывают направление и величину дисбаланса.

Статическую балансировку деталей в динамическом режиме (при их вращении) выполняют на станке модели 9765.

*Динамическая* неуравновешенность (см. рис. 4.2, б) имеет место в том случае, если центр масс находится на оси вращения изделия, а во время его вращения возникает статический момент  $S$  от двух равных сил  $P$  на плече  $l$ . Статический момент  $S$  вызывает переменные по направлению нагрузки на опоры изделия при его вращении. Динамическую неуравновешенность устраняют снятием или добавлением двух равных масс в плоскости действия момента  $S$ , чтобы появился новый момент, уравновешивающий начальный. Этот вид неуравновешенности выявляют при вращении изделия.

*Смешанная* неуравновешенность (см. рис. 4.2, в) наиболее часто встречается в реальных условиях, когда имеется сила инерции от неуравновешенной массы и статический момент центробежных сил. Этот вид неуравновешенности характерен для длинных деталей.

Система любого числа неуравновешенных сил сводится к двум силам, которые расположены в двух произвольно выбранных перпендикулярно оси детали плоскостях, удобных для уравновешивания. Такие плоскости называют плоскостями *коррекции*. Например, у коленчатого вала эти плоскости проходят через крайние противовесы.

Пусть имеются неуравновешенные массы  $m_1$  и  $m_2$ . Заменяем центробежные силы  $P_1$  и  $P_2$  их составляющими  $P_1'$  и  $P_1''$  и  $P_2'$  и  $P_2''$  в плоскостях коррекции, расположенных друг от друга на расстоянии  $l$ . Сложим эти составляющие в каждой плоскости по правилу параллелограмма и получим равнодействующие  $T_1$  и  $T_2$ . В точке приложения силы  $T_1$  приложим две равные между собой, но противоположно направленные силы  $T_2$ . В результате получаем две неуравновешенные силы  $T_2$  и  $Q$  в плоскостях коррекции. Сила  $Q$  является векторной суммой сил  $T_1$  и  $T_2$ . Момент  $T_2 l$  определяет динамическую неуравновешенность, а сила  $Q$  – статическую. Полное уравновешивание изделия достигается установкой противовесов  $m_3$  и  $m_4$  на линиях действия сил  $T_2$  и  $T_1$ .

Направление (фазу) и значение дисбаланса  $mR$  (г·см) на каждом конце вала определяют на балансировочных станках моделей, например, БМ-4У,

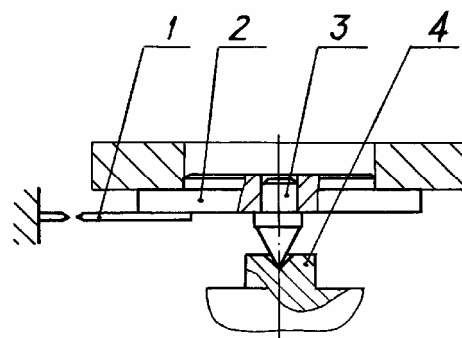


Рис. 4.4. Схема устройства для статической балансировки деталей на качающемся диске: 1 – стрелки; 2 – диск; 3 – острие; 4 – опора

4274, МС-9716 или фирмы Schenk (Германия). Динамически балансируют сборочные единицы (коленчатые валы с маховиками, карданные валы и др.), вращающиеся при работе агрегата в двух и более опорах.

Принцип действия балансировочного станка (рис. 4.5) заключается в следующем. Изделие устанавливают на упругие опоры (люльки) 1 и приводят во вращение с частотой  $720...1100 \text{ мин}^{-1}$  от электродвигателя 6. Под действием центробежных сил инерции опоры будут колебаться вдоль горизонтальной оси. С перемещающимися опорами заодно движутся и обмотки датчиков перемещений 2, находящиеся в магнитном поле постоянных магнитов. В каждой обмотке наводится ЭДС, значение которой пропорционально амплитуде колебаний. Сигнал от датчика поступает в блок усиления 3 и в измененном виде фиксируется миллиамперметром 4, шкала которого приведена в единицах дисбаланса (г·см). Сигнал об угле поворота шпинделя (фазе), при котором опора переместилась на максимальное расстояние, поступает на безынерционную лампу 5 стробоскопа, которая освещает небольшой участок обода вращающегося лимба 7. Деления (от 0 до  $360^\circ$ ) с числами на лимбе показывают угол его поворота. В течение одного оборота изделия лампа загорается в момент наибольшего перемещения опоры и высвечивает соответствующее значение угла (фазы). Рабочий воспринимает лимб остановленным с неподвижными цифрами. Значение и направление дисбаланса изделия поочередно измеряют на каждой из опор.

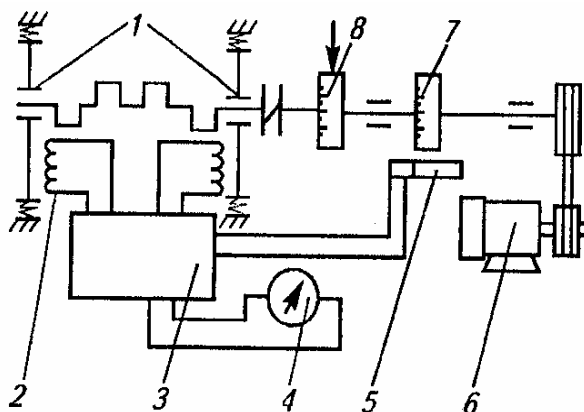


Рис. 4.5. Схема станка для динамической балансировки деталей: 1 – опоры (люльки); 2 – датчик перемещений; 3 – блок усиления; 4 – миллиамперметр; 5 – лампа стробоскопа; 6 – электродвигатель; 7 – лимб стробоскопа; 8 – маховик

После остановки станка высверливают лишний металл в каждой из плоскостей коррекции. Для этого ручным вращением детали за маховик 8 устанавливают ее в нужное угловое положение. При отключенном электродвигателе люльки неподвижно фиксируются электромагнитами. С по-

мощью радиально-сверлильного станка или электрической дрели высверливают металл необходимой массы. Значение ее пропорционально показаниям миллиамперметра.

Детали балансируют на участках их восстановления, а сборочные единицы – на сборочном участке.

Характеристика уравниваемых сборочных единиц, например, автомобильного двигателя приведена в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Сборочные единицы и детали двигателя с рабочим объемом 4,8 л, требующие балансировки, и их характеристика

Сборочные единицы и детали	Вид балансировки: С – статическая; Д – динамическая	Допустимый дисбаланс, г·см
Ротор фильтра центробежной очистки масла со стаканом в сборе	Д	10
Диск сцепления ведомый	С	18
Диск сцепления нажимной	С	36
Маховик	С	36
Коленчатый вал	Д	30
Коленчатый вал с маховиком и сцеплением	Д	30
Двигатель в сборе	Д	40

Перспективна балансировка V-образного двигателя в сборе путем снятия металла с маховика (задняя балансировочная плоскость) и со шкива коленчатого вала (передняя балансировочная плоскость). Балансировку ведут на обкаточном стенде, укомплектованном балансировочным прибором, с принудительным вращением коленчатого вала от электродвигателя при вывернутых свечах зажигания.

Минский завод (МЗОР) выпускает приборы ПСБ-2 (табл. 4.4) для определения на обкаточных стендах направления и величины дисбаланса двигателя. В комплект прибора входят вибродатчик, датчик опорного сигнала и электронный блок. С помощью прибора поочередно измеряют величины в плоскостях коррекции.

Таблица 4.4

Техническая характеристика прибора ПСБ-2

Параметры, размерность	Значения
1	2
Диапазон рабочих частот при измерении параметров дисбаланса, Гц	5...45
Полоса пропускания фильтрующей части измерительного пульта, Гц	0,1
Максимальное время, необходимое для измерения параметров дисбаланса в одном масштабе измерения, без учета времени разгона, с	15

1	2
Количество масштабов измерения (коэффициент масштабирования 10)	2
Форма представления параметров корректирующего дисбаланса при измерении (система координат)	полярная или прямоугольная
Потребляемая мощность, Вт	60
Габаритные размеры, мм	
– длина	520
– ширина	275
– высота	340
Масса, кг	36

### Вопросы для самоконтроля

1. Как влияет неуравновешенность деталей на послеремонтную наработку агрегата? 2. В каком случае агрегат считают уравновешенным? 3. С какой целью добиваются равенства масс одноименных деталей, движущихся поступательно? 4. Приведите способы балансировки вращающихся деталей.

## 4.3. Содержание сборки и ее технологический процесс

### 4.3.1. Термины и определения сборки

Термины и определения сборки изделий регламентированы ГОСТ 23887-79.

В результате сборки из деталей путем образования соединений получают сборочные единицы, из сборочных единиц – агрегаты, а из агрегатов – машины.

*Сборка* – установка составных частей изделия в определенной последовательности с образованием разъемных и неразъемных соединений и достижением нормативных параметров точности (замыкающих размеров и моментов затяжки).

В начале сборки на опорные элементы стенда или конвейера устанавливают базовую деталь (сборочную единицу).

*Базовая деталь (сборочная единица)* – деталь (сборочная единица), с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней сборочные единицы или детали.

Таким образом, в процессе сборки агрегата вначале на валы, оси, корпуса и другие базовые детали устанавливают комплектующие детали и получают сборочные единицы, а затем их устанавливают в корпусную деталь агрегата с образованием разъемных и неразъемных соединений и достижением нормативных параметров точности. Некоторые сборочные единицы перед общей сборкой проходят статическую или динамическую ба-



лансировку на рабочих местах узловой сборки с целью последующего уравнивания собранного агрегата.

*Технологический процесс сборки* – технологический процесс, содержащий действия по установке и образованию соединений составных частей изделия.

*Технологическая операция сборки* – законченная часть технологического процесса сборки, выполняемая над одной или несколькими сборочными единицами одним или группой рабочих на одном рабочем месте.

Технологическая операция сборки включает установку и образование соединений составных частей изделия за счет подачи, ориентирования и силового замыкания деталей и узлов для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям. Технологическая операция, в свою очередь, делится на части. Такое деление необходимо для дифференциации сборочных работ.

*Переход сборочного процесса* – законченная часть операции сборки, выполняемая над определенным узлом или изделием неизменным способом при использовании одних и тех же СТО.

*Прием сборочного процесса* – отдельное законченное действие рабочего в процессе сборки или подготовки к сборке изделия или узла.

*Соединение при сборке* – относительное положение составных частей изделия при сборке, характеризуемое соприкосновением их поверхностей, зазором или натягом между ними, заданными конструкторской документацией.

*Вид сборки изделия* – категория сборки, выделенная по одному из ее признаков:

- по объекту сборки (узловая, общая). Объектом *узловой* сборки является составная часть машины, а *общей* сборки – агрегат или машина в целом;
- по стадиям процесса (предварительная, промежуточная, под сварку, окончательная);
- по перемещению собираемого объекта (стационарная, подвижная);
- по организации производства (поточная, непоточная);
- по взаимозаменяемости деталей (полная, неполная, групповая);
- по механизации и автоматизации производства (ручная, механизированная, автоматизированная, автоматическая).

*Качество технологического процесса сборки* – совокупность свойств процесса сборки, обуславливающих его пригодность обеспечивать тре-

буемое качество изделий и выполнение объемов их выпуска без превышения установленных затрат.

Качество сборки определяется качеством комплектующих деталей, наличием средств технологического оснащения необходимого технического уровня и квалификацией сборщиков.

*Точность* сборки – степень совпадения материальных осей, контактирующих поверхностей или иных элементов сопрягаемых деталей с положением их идеальных образов, установленных технической документацией.

Точность сборки определяется замыкающими размерами (линейными и угловыми), моментами затяжки резьбовых и усилиями смыкания прессовых соединений.

*Метод сборки изделия* – совокупность правил достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи при сборке.

*Разборка* – разъединение изделия на сборочные единицы, а последнее – на детали.

*Монтаж* – установка изделия или его составных частей на место установки.

*Демонтаж* – снятие изделия или его составных частей с места установки.

#### **4.3.2. Исходные данные для разработки сборочного процесса**

Для разработки процесса сборки изделия необходимы:

- сборочные чертежи изделия и чертежи составных частей;
- спецификация деталей по сборочным единицам;
- технические требования на приемку собранного изделия;
- сведения об объемах выпуска изделий;
- характеристика имеющегося технологического оборудования.

При анализе собираемого изделия обращают внимание на значения замыкающих размеров, других параметров точности и технические требования на приемку изделий. Эти требования выражают точностью положения, вращения, линейного перемещения и другими параметрами, выраженными количественно.

При выделении сборочных единиц учитывают возможность и целесообразность их сборки отдельно от самого изделия и возможность последующей их установки на базовое изделие.

Сборочные единицы должны обладать оптимальным составом деталей. Если в процессе сборки изделия требуются испытания, обкатка, сле-

сарная пригонка, то они выделяются в отдельную операцию. Сборочная единица при ее установке не должна разбираться. В сборочные единицы должно быть включено наибольшее количество деталей. Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц.

При серийном производстве определяют размер партии, обеспечивающей наилучшее использование оборудования цеха. По размеру партии также судят о целесообразности дифференциации операций и применении специального сборочного оборудования.

### **4.3.3. Технологическая схема сборки**

*Технологическая схема сборки* – графическое изображение очередности образования из деталей сборочных единиц (узлов), а из последних – изделий.

Схема сборки позволяет наглядно представить весь технологический процесс сборки. На схеме каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором приводят наименование составной части, ее индекс (каталожный номер) и количество.

Процесс сборки изображают горизонтальной линией в направлении от прямоугольника с обозначением базовой детали (сборочной единицы) до прямоугольника, определяющего собранное изделие. Выше горизонтальной линии показывают в последовательности сборки прямоугольники, условно обозначающие детали, а ниже – прямоугольники, условно изображающие сборочные единицы первого порядка. Аналогично строят процессы образования сборочных единиц 2-го, 3-го и более высоких порядков.

На рисунке 4.6, например, показана технологическая схема сборки регулятора, а сам регулятор в сборе – на рисунке 4.7.

На основании схем сборки определяют содержание операций и переходов и выбирают необходимое оборудование.

В условиях единичного производства ограничиваются разработкой маршрутных технологических карт, руководствуясь технологическими схемами сборки.

Чем меньше значение коэффициента закрепления операций, тем на большее число операций, переходов и приемов разделяют процесс сборки.

Далее составляют технологический процесс сборки (см. ГОСТ 3.1407, 3.1105 и 3.1104) с разработкой карт технологического процесса, комплектовочных карт и ведомости оборудования и оснастки.

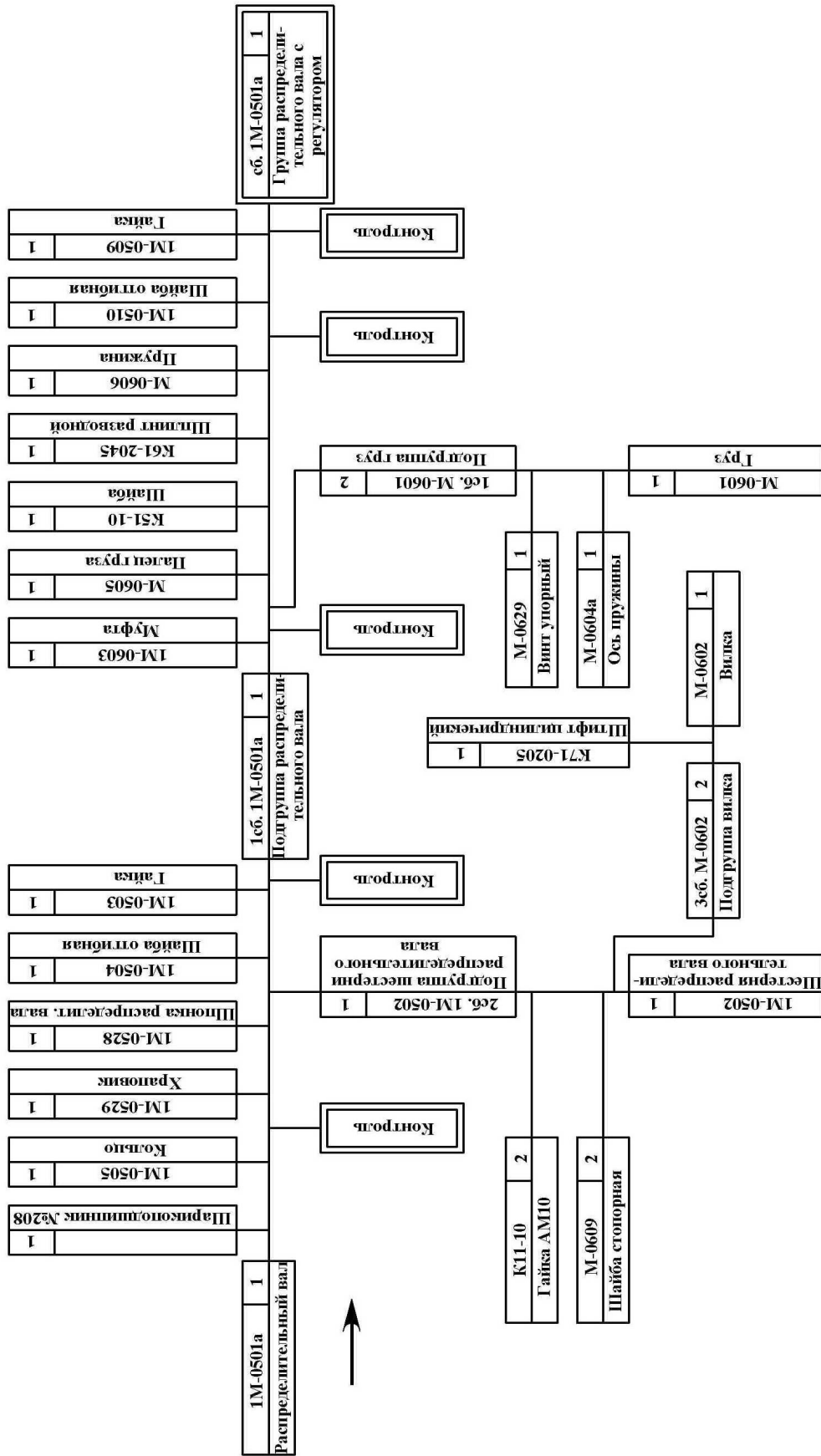


Рис. 4.6. Технологическая схема процесса сборки регулятора

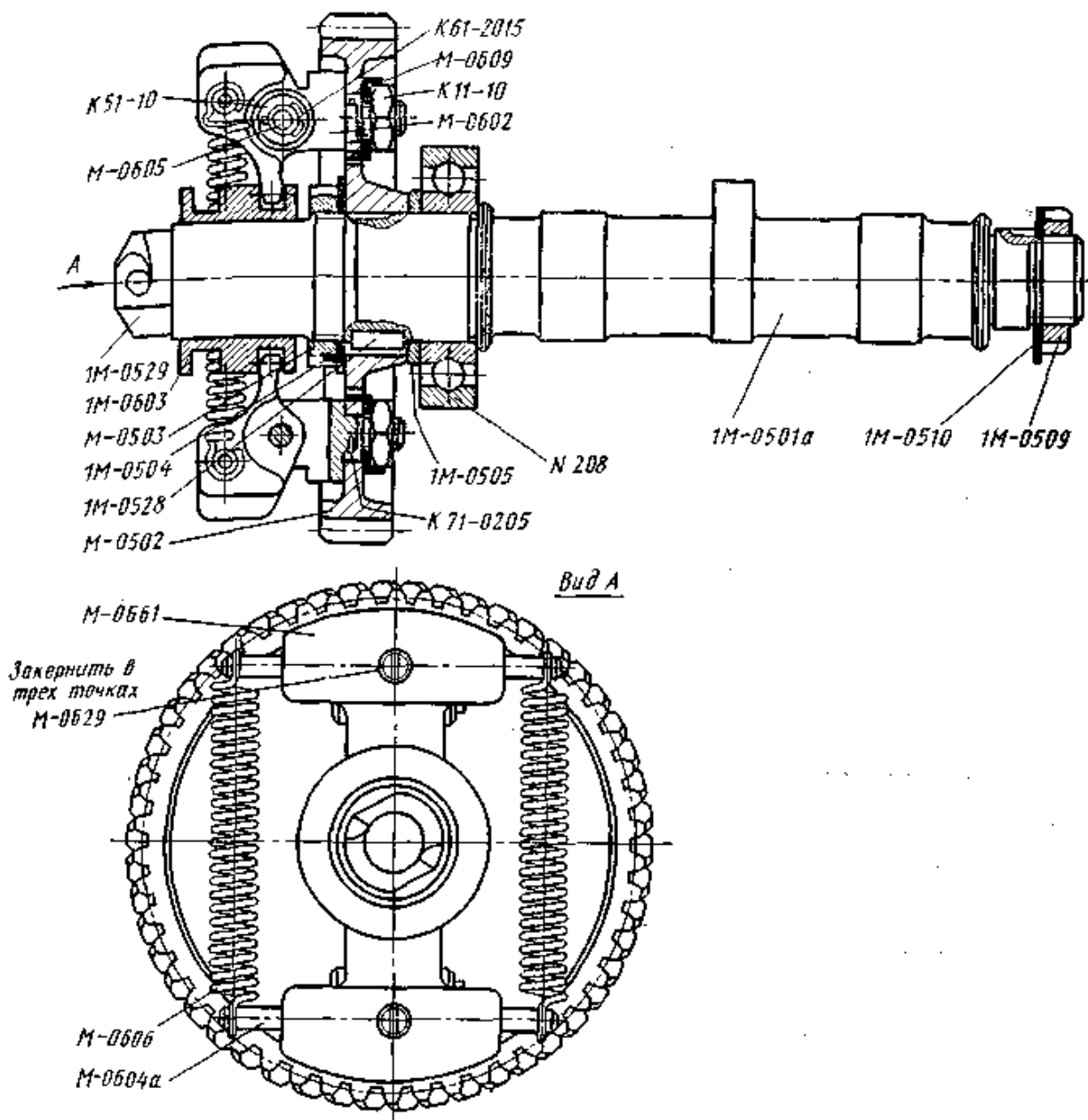


Рис. 4.7. Регулятор в сборе

#### 4.4. Сборка типовых соединений и передач

В машиностроении наиболее распространена сборка резьбовых и пресовых, шпоночных и шлицевых соединений, подшипников качения и скольжения и различных зубчатых передач. Сборка соединений относится к *узловой*, потому что ее объектом является составная часть агрегата или машины.

##### 4.4.1. Сборка соединений

*Резьбовые* крепежные соединения обеспечивают неподвижность, прочность и герметичность стыков, а также необходимое взаимное распо-

ложение неподвижных друг относительно друга элементов. Число резьбовых соединений в машинах составляет 15...25 % от общего количества соединений, а трудоемкость их сборки – 25...35 % от общей трудоемкости сборочных работ.

Сборочная операция резьбового соединения включает следующие переходы: подачу, ориентирование, отсекание, предварительное ввертывание (наживление), завинчивание, затяжка. При сборке резьбового соединения 12...17 % времени приходится на предварительное ввертывание, 18...20 % – на завинчивание и 5...8 % – на затяжку. В единичном и мелкосерийном производстве «наживление» детали на 2...3 нитки резьбы чаще всего выполняют вручную, что исключает срыв резьбы и порчу дорогостоящих корпусных деталей. В крупносерийном и массовом производстве эти переходы механизированы или автоматизированы. В последнем случае добиваются совпадения осей соединяемых деталей, затем прикладывают осевое усилие для контакта детали с кромкой отверстия и только после этого сообщают детали вращательное движение со скоростью, обратно пропорциональной диаметру резьбы.

Точность затяжки обеспечивают:

- ограничением крутящего момента, прикладываемого к детали;
- растяжением болта (шпильки) установленным усилием и навинчиванием гайки до упора;
- поворотом гайки на установленный угол после касания торцов.

Первый вариант затяжки нормированным моментом вручную или механически применяют наиболее часто. Примерно 80 % энергии, затрачиваемой на сборку резьбового соединения, приходится на преодоление сил трения и около 20 % – на затяжку. Резьбовые соединения в группе (например, гайки головки цилиндров) затягивают в установленной последовательности, начиная с центрального соединения и продолжая затяжку следующих соединений, расположенных дальше от центра.

Особенности сборки *шпильчного* соединения. Неподвижность шпильки, ввинченной в корпус, достигается натягом, создаваемым одним из трех способов: коническим сбегом резьбы, упорным буртом или тугой резьбой (с натягом по среднему диаметру).

Наибольшее применение получил третий способ сборки. Для стальных шпилей с диаметром резьбы 10...30 мм при установке их в стальной корпус натяг составляет 0,02...0,06 мм, в чугунный или алюминиевый корпус – 0,04...0,12 мм. Лучше, если резьба в этом случае выполняется накаткой. Резьбы, полученные другими способами, склонны к заеданию и схва-

тиванию и плохо разбираются. Установлены шесть групп посадок с натягом, из которых четыре – осуществляются с сортировкой наружной и внутренней резьб по среднему диаметру.

Сборка *прессовых* соединений бывает продольно- или поперечно-прессовой. В первом случае сборочное усилие прилагают вдоль оси образуемого соединения. Направление усилия совпадает с направлением сборочного перемещения. Во втором случае нагревают охватывающую или охлаждают охватываемую деталь, осевое относительное перемещение деталей происходит практически без усилия, а сборочное усилие возникает при выравнивании температур деталей. Прочность посадки при этом в 2,0...2,5 раза выше прочности соединений, полученных без теплового воздействия. Объясняется это тем, что при теплопрессовой сборке микронеровности при формировании соединений не разрушаются, а выступы поверхностей упруго взаимодействуют друг с другом.

Сборка с нагревом рекомендуется для соединений, у которых предусмотрены значительные натяги, а также в случае, когда охватывающая деталь выполнена из материала с высоким коэффициентом термического расширения, а узел в агрегате нагревается. Если такие соединения собрать без нагрева, то в процессе эксплуатации прочность их значительно снижается. В процессе сборки нагревают, например, венец маховика при установке его на маховик и поршень – перед установкой поршневого пальца, а седло клапана охлаждают в жидком азоте перед установкой его в блок или головку цилиндра.

Температуру подогрева (охлаждения)  $\Delta t$  одной из деталей определяют по формуле

$$\Delta t \geq \frac{\Delta + (Ra_o + Ra_g)}{K_\alpha d}, \quad (4.10)$$

где  $\Delta$  – натяг посадки, мм;  $Ra_o$  и  $Ra_g$  – шероховатости поверхностей отверстия и вала, мм;  $K_\alpha$  – коэффициент термического расширения материала, равный для стали  $11 \cdot 10^{-6}$ , град<sup>-1</sup>;  $d$  – диаметр посадки, мм.

Седла клапанов и подобные им детали можно охлаждать при сборке в твердой углекислоте ( $-78,5$  °C) или жидком азоте ( $-195,8$  °C) в сосуде Дьюара.

Для уменьшения усилия при сборке соединения больших размеров с натягом в зону соприкосновения поверхностей подают масло под давлением 150...400 МПа (гидропрессовый способ). В этом случае необходима

предварительная подготовка соединения в части изготовления канавок и каналов для подвода масла.

При сборке *шпоночных* соединений следят за полной посадкой шпонки в пазу и параллельностью осей шпонки в пазу и в базовой детали.

#### 4.4.2. Сборка узлов с подшипниками качения и скольжения

Подшипник качения перед сборкой промывают в 6 %-ном растворе масла в бензине или в горячих (75...85 °С) противокоррозионных водных растворах (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Растворы для промывки подшипников качения

Составляющие раствора	Процентное содержание	
	Раствор № 1	Раствор № 2
Триэтаноламин	0,5...1,0	0,5...1,0
Нитрит натрия	0,15...0,20	0,15...0,20
Смачиватель ОП	0,02...0,10	0,08...0,20
Вода	остальное	остальное

Наружное кольцо промытого подшипника легко и равномерно вращается. Подшипник удерживают за внутреннее кольцо в горизонтальном положении. Затем подшипник нагревают в масляной ванне в течение 10...20 мин и после этого напрессовывают на вал. Если в холодном состоянии разность между внутренним диаметром кольца и диаметром вала, соответствующая натягу посадки, была  $\Delta$ , то после нагрева подшипника этот натяг уменьшается на величину  $K_a \Delta t d$ , (см. формулу 4.10).

Обычно температуру подогрева подшипников при сборке назначают в пределах 60...100 °С. Подшипники целесообразно нагревать в электрованне с маслом и точным контролем температуры последнего. Нагретый подшипник устанавливают на вал и перемещают вдоль оси небольшим усилием. При этом сторона подшипника, на которой нанесено заводское клеймо, должна быть наружу.

Подшипник напрессовывают с применением оправок. Наносить удары непосредственно по подшипнику нельзя. Осевые силы при установке подшипника прикладывают к тому кольцу, которое при данной операции сопрягается с базовой деталью. Если подшипник одновременно устанавливают на вал и в корпус, то усилие прикладывают к торцам обоих колец.

Во избежание перекоса подшипника при его напрессовывании применяют подставки, обеспечивающие хорошее центрирование деталей сборочной единицы. Упорный буртик детали и торец кольца в результате сборки должны соприкасаться. После установки подшипника убеждаются



в том, что тела качения не защемлены, для этого проворачивают наружную обойму.

При сборке узлов с коническими подшипниками добиваются нормативного радиального зазора между телами качения и обоймами с помощью подбора толщины регулировочных прокладок (см. раздел 4.1.2). Ввиду того, что этот зазор измерить затруднительно, нормируют момент вращения вала в подшипниках. Для достижения нормативного зазора в радиально-осевых подшипниках или осевого зазора в зубчатом зацеплении в размерную цепь включают нужное число прокладок. Число прокладок определяют после пробной сборки соединения и измерения момента вращения вала.

Бронзовые втулки запрессовывают в головки шатунов или рычагов и в таком состоянии их растачивают. Тонкостенные разъемные подшипники скольжения (вкладыши) двигателей перед сборкой контролируют на предмет выступания стыка из эталонной постели, при этом длина полуокружности вкладыша должна быть на 0,02...0,03 мм больше соответствующей длины постели. Это выступание необходимо для обеспечения нормативного натяга пары вкладышей в опоре двигателя.

#### **4.4.3. Сборка зубчатых передач**

Сборка *цилиндрических* зубчатых передач включает их установку на валы и установку сборочных единиц в корпус. При сборке *конических* зубчатых передач, кроме того, добиваются совпадения вершин делительных конусов, а при сборке *червячных* передач необходимо, чтобы средняя плоскость колеса совпадала с осью червяка. Это совпадение контролируют по пятну контакта зубьев. Правильного относительного положения деталей достигают с помощью регулировочных прокладок под крышками подшипников и корпусом.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какими параметрами характеризуется качество сборки резьбовых соединений?
2. Каким образом можно уменьшить сборочное усилие при образовании прессового соединения?
3. Приведите особенности сборки узлов с коническими подшипниками.
4. Как обеспечивают нормативное расположение деталей червячного редуктора?

### **4.5. Сборочное оборудование**

#### **4.5.1. Классификация сборочного оборудования**

Технологический процесс сборки определяет состав оборудования. Он включает (рис. 4.8) загрузку комплектующих и крепежных деталей и перемещение их на сборочные позиции, отсекаание подаваемых деталей по одной и их ориентирование относительно корпусной детали, силовое смы-

кание (образование соединений), внутри- и межпозиционное перемещение собираемых изделий. Соответственно сборочному процессу различают оборудование:

- подающее;
- ориентирующее;
- резьбосборочное;
- прессосборочное;
- для технологического и транспортного перемещения.



Рис. 4.8. Схема сборочной операции

#### 4.5.2. Оборудование для подачи и ориентирования деталей

Ручные переходы подачи и ориентирования деталей при сборке обладают большой трудоемкостью. Если автоматизировать, например, подачу и установку шайб и гаек и наживление последних при сборке коленчатого вала с маховиком и сцеплением, то производительность сборки повышается в 2,0...2,2 раза. Оборудование для штучной подачи и ориентирования деталей взаимодействует с оборудованием для силового соединения деталей.

Подача деталей на технологические позиции эффективна при помощи вибрационных бункеров (рис. 4.9) с отсекателями и транспортными

лотками. В вибрационном бункере имеется чаша, установленная на трех наклонных стержнях. Чаша за счет импульсов энергии совершает крутильные (вокруг вертикальной оси) и возвратно-поступательные (в вертикальном направлении) колебания, которые приводят к перемещению деталей вверх по спиральному лотку внутри чаши. Скорость подачи деталей зависит от зазора между сердечником магнита и якорем и напряжения, приложенного к обмотке. Разработан типоразмерный ряд бункеров с диаметром чаши от 60 до 630 мм для подачи деталей с размерами, соответственно, от 4 до 70 мм. Со спирального лотка вибробункера детали под собственным весом по гравитационному или принудительно по вибрационному лотку подают на сборочную позицию.

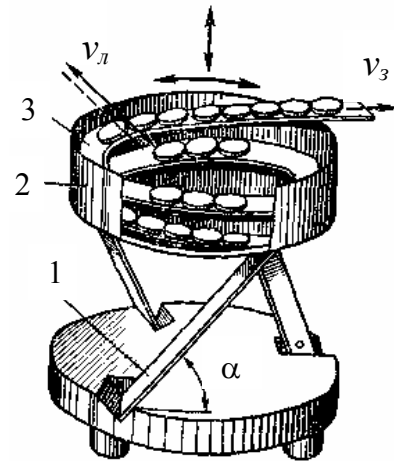


Рис. 4.9. Схема вибрационного бункера: 1 – наклонный стержень; 2 – чаша; 3 – спиральный лоток;  $\alpha$  – угол наклона стержня к горизонту  $\sim 45^\circ$ ;  $v_l$  – скорость перемещения лотка;  $v_z$  – скорость перемещения заготовок

Для автоматического соединения деталей их необходимо подавать в строго определенном положении. Применяют пассивное и активное ориентирование. В первом случае с подающего лотка сбрасываются неправильно ориентированные детали и на нем остаются детали, ориентированные правильно. Для этого используют конструктивные особенности лотков (наличие прорезей, упоров, планок и др.), которые обеспечивают подачу деталей в ориентированном положении, например, стержнем винта вниз. Во втором случае детали переводят в требуемое положение принудительно. Применяют электромагнитный, пневматический и другие способы активного ориентирования деталей.

Для штучной подачи деталей на сборочные позиции служат отсекатели. Рабочие части отсекателей совершают поступательное или вращательное движение.

#### 4.5.3. Оборудование для узловой сборки

В этом оборудовании имеются опоры, на которые устанавливают базовые детали. Опорные элементы с собираемыми изделиями при сборке вращаются и (или) перемещаются поступательно. Вращательное перемещение на сборочной позиции необходимо для придания удобного положения базовой детали для базирования и закрепления комплектующих деталей при узловой и общей (поточной и непоточной) сборке. При поточной

сборке собираемые объекты перемещаются между сборочными позициями поступательно.

На рис. 4.10 приведен стенд для узловой сборки коленчатого вала с маховиком и сцеплением. На нем также измеряют торцовое биение рабочей поверхности установленного маховика. Стенд включает основные части: корпус 1, шарнирно соединенную с ним поворотную раму 6 и пневмоцилиндр 2. На поворотной раме установлены призмы 8 для базирования детали, пневмоцилиндры 7 с рычагами 10 для закрепления детали, захват 9 и индикаторная головка 3 на стойке 4. Рабочие поверхности призм, рычагов и захвата наплавлены латунью.

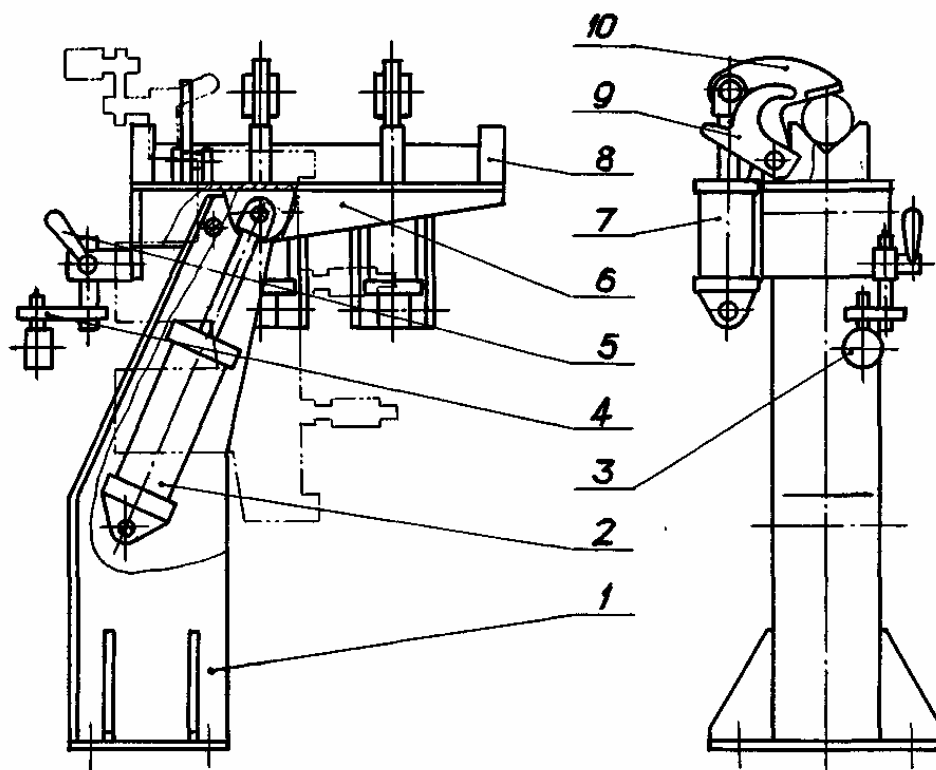


Рис. 4.10. Стенд для узловой сборки коленчатого вала с маховиком и сцеплением: 1 – корпус; 2 и 7 – пневмоцилиндры; 3 – индикаторная головка; 4 – стойка; 5 – рукоятка; 6 – поворотная рама; 8 – призма; 9 – захват; 10 – рычаг

Стенд работает следующим образом. В начале цикла индикаторное устройство занимает вспомогательное положение, а поворотная рама – горизонтальное. Штоки пневмоцилиндров втянуты, а захват откинут. На призмах базируют коленчатый вал своими коренными шейками. Захват сцепляют с шатунной шейкой. Деталь закрепляют за счет подачи сжатого воздуха под поршни пневмоцилиндров 7. На фланец коленчатого вала устанавливают маховик и закрепляют его болтами с гайками. Захват препятствует вращению сборочной единицы при затяжке гаек. Затем раму с по-

мощью пневмоцилиндра 2 поворачивают на  $90^\circ$  в вертикальное положение, а индикаторное приспособление – в основное, при котором шуп индикаторной головки касается рабочей поверхности маховика. Усилия пневмоцилиндров 7 подобраны таким образом, что они не препятствуют вращению сборочной единицы на призмах от руки за маховик в сторону, обратную вращению гаек. При этом торец первой коренной шейки и опорная поверхность призмы касаются друг друга. Биение торца маховика измеряют с помощью индикаторной головки, шатунная шейка при этом освобождается от захвата. Далее индикаторное устройство переводят во вспомогательное положение. На маховик устанавливают ведомый диск сцепления и с помощью центрирующей оправки его ориентируют относительно оси коленчатого вала. Устанавливают остальные части сцепления, а кожух сцепления крепят болтами к маховику. Поворотную раму переводят в горизонтальное положение, освобождают рычаги 10 и снимают собранный узел.

#### ***4.5.4. Резьбо- и пресссборочное оборудование***

В качестве резьбозавертывающих средств применяют электромеханические гайковерты собственного изготовления или промышленные одношпиндельные гайковерты с электро- или пневмоприводом. Электрогайковерты питаются переменным током частотой 200 Гц. Для затяжки резьб с помощью ударно-вращательных импульсов применяют механизмы, которые делятся на частоударные (16...40 ударов в секунду) и редкоударные (до 3 ударов в секунду). Редкоударные гайковерты производят затяжку за 4...15 ударов. При затяжке частоударными гайковертами энергия меняется от удара к удару в течение 100...200 периодов. У редкоударных инструментов энергия отдельного удара не изменяется во времени.

Около 20 % резьбовых соединений агрегатов требуют затяжки нормированным моментом, значение которого установлено руководством по капитальному ремонту. Это относится, например, к сборке головок шатунов, блока цилиндров с крышками коренных подшипников и с головкой цилиндров, маховика с коленчатым валом и др.

При ручной сборке ограничение момента затяжки обеспечивают применением специальных ключей, которые бывают двух видов: предельные и динамометрические. В предельном ключе связь между рукояткой и шпинделем разрывается при достижении необходимого момента затяжки. Динамометрический ключ имеет упругий элемент и шкалу со стрелкой, значения момента затяжки вычитывают на шкале.

В механизированных устройствах применяют следующие способы ограничения момента затяжки: установку проскальзывающих муфт на валу шпинделя, измерение силы тока в цепи электродвигателя или моментов на

валах привода и отключение питания электродвигателя при достижении расчетных силы тока или момента. Чем с большей частотой вращается шпиндель с ключом, тем труднее обеспечить необходимый момент затяжки. Это противоречие разрешают применением двухскоростных приводов. Низкомоментный привод с высокой частотой вращения ( $200 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$ ) обеспечивает свободное навинчивание резьбовой детали, а высокомоментный – затяжку соединения с малой частотой (до  $20 \text{ мин}^{-1}$ ) до нормированного момента.

Схема электромеханического гайковерта для сборки ответственных резьбовых соединений приведена на рис. 4.11. Гайковерт содержит электродвигатель 1 с упругой муфтой 2, планетарный двухступенчатый редуктор со шпинделем 10. Корончатые колеса 4 и 5 обеих ступеней редуктора подвижные. Для измерения крутящего момента на шпинделе используется колесо 5, имеющее на периферии коническое отверстие, в которое кончиком входит стержень 7. Усилие предварительного сжатия пружины 8 регулируется. Угол поворота колеса 5 и перемещение стержня 7 пропорциональны крутящему моменту на шпинделе. При заданном значении этого момента стержень воздействует на конечный выключатель 9, включенный в цепь управления гайковертом. Колесо 4 в неподвижном положении фиксируется колодочным тормозом 6 с электромагнитным приводом.

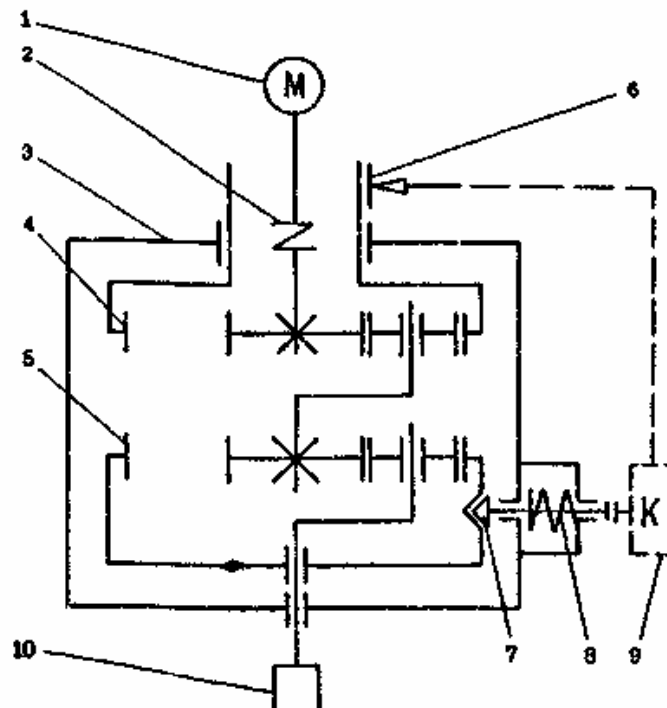


Рис. 4.11. Схема электромеханического гайковерта: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – корпус; 4 и 5 – колеса корончатые; 6 – тормоз колодочный; 7 – конический стержень; 8 – пружина; 9 – конечный выключатель; 10 – шпиндель

При работе гайковерта его шпиндель соединяют с гайкой или головкой болта и при заторможенном колесе 4 включают электродвигатель. Планетарный редуктор при этом имеет одну степень свободы и передает момент от двигателя на заворачиваемую деталь. Во время затягивания резьбы колесо 5 под действием передаваемого момента, проворачиваясь, выдвигает стержень 7 и воздействует на конечный выключатель 9, от которого преобразованный сигнал поступает на колодочный тормоз. Последний освобождает колесо 4, а редуктор приобретает две степени свободы. В этом режиме поток мощности между двигателем и шпинделем разрывается, колесо 4 вращается вхолостую, а шпиндель останавливается.

Резкий разрыв потока мощности между двигателем и шпинделем после достижения требуемого момента затяжки в сочетании с малой инерционностью гайковерта обеспечивает нормированный момент затяжки собираемых деталей.

В качестве прессосборочных агрегатов при усилиях сборки до 2,5 кН целесообразно применять пневмоприводы с диаметрами цилиндров до 250 мм, а при больших сборочных усилиях – гидроприводы с диаметром цилиндров 63...125 мм.

Повышение прочности соединений с натягом обеспечивает теплопрессовая сборка. Прочность посадок, полученных нагревом перед сборкой охватывающей детали или охлаждением охватываемой, в 2,0...2,5 раза выше прочности соединений, полученных без теплового воздействия. Объясняется это тем, что в первом случае микронеровности при формировании соединений не разрушаются, а выступы поверхностей упруго взаимодействуют друг с другом.

Сборка с нагревом рекомендуется для соединений, у которых предусмотрены значительные натяги, а также в случае, когда охватывающая деталь выполнена из материала с высоким коэффициентом линейного расширения, а узел в агрегате нагревается. Если такие соединения собрать без нагрева, то в процессе эксплуатации прочность их значительно снижается. В процессе сборки нагревают, например, венец маховика при установке его на маховик и поршень – перед установкой поршневого пальца, а седло клапана охлаждают в жидком азоте перед установкой его в блок или головку цилиндра.

Стенд для теплопрессовой сборки шатунно-поршневых групп (рис. 4.12) предназначен для нагрева поршней и сборки их с шатунами и поршневыми пальцами. Механизированы технологические переходы: нагрева-

ние поршней до 90 °С, перемещение их на сборочную позицию, взаимное ориентирование деталей, сборочное перемещение поршневого пальца. Переходы, выполняемые вручную: загрузка поршней в лоток, предварительное базирование деталей при сборке, снятие собранного узла, установка стопорных колец поршневого пальца.

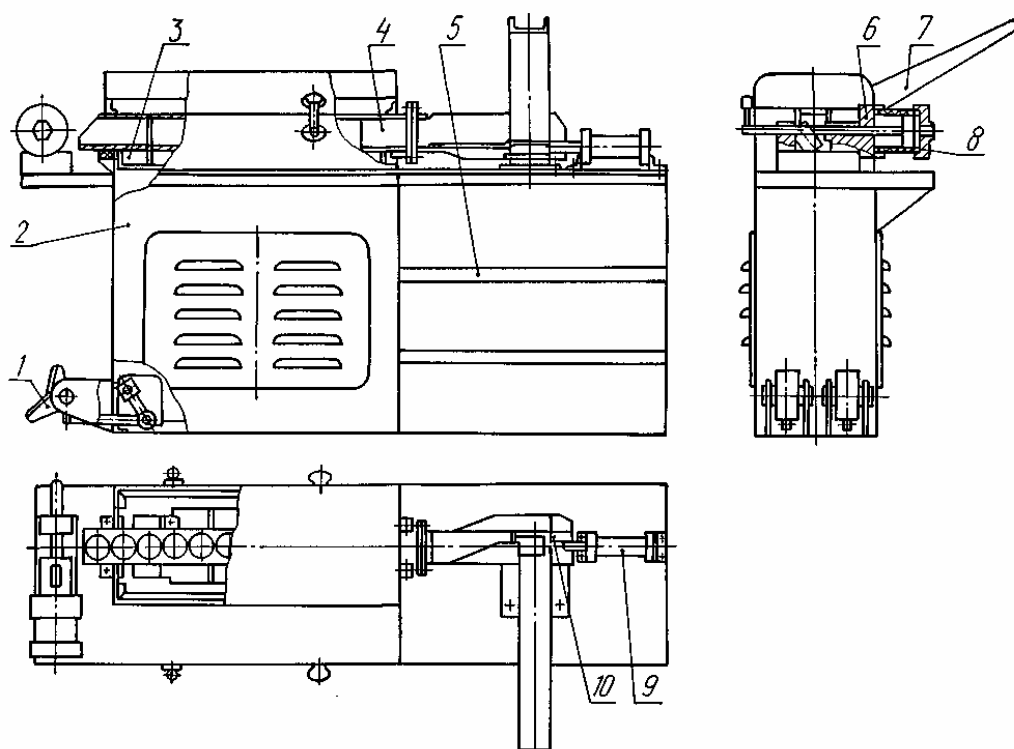


Рис. 4.12. Стенд для сборки шатунно-поршневой группы: 1 – педальный привод; 2 – корпус; 3 – нагреватель; 4 – лоток; 5 – стеллаж; 6 – прессосборочный механизм; 7 – питатель; 8 и 9 – пневмоцилиндры; 10 – отсекатель

Механизмы станда – питатель 7, отсекатель 10, лоток 4, нагреватель 3, прессосборочный механизм 6 – установлены на корпусе 2, а электро- и пневмоаппаратура – внутри него. Запас деталей хранится на стеллаже. Питатель выполнен в виде гравитационного лотка. Отсекатель подает при помощи пневмоцилиндра 9 поршни в зону нагрева и сборки. Поверхность лотка нагревается ТЭНами, а температура контролируется датчиком.

Прессосборочный механизм состоит из пневмоцилиндра 8 и корпуса с опорно-базирующими элементами. Пневмоцилиндры отсекателя и прессосборочного механизма включаются пневмокранами с педальным приводом.

Перед началом работы включают ТЭНы и подают сжатый воздух. На лоток питателя устанавливают комплект поршней (8 ед.). Поршни поочередно досылаются в нагретый лоток с помощью пневмоцилиндра. На лотках помещается 24 поршня. В отверстие прессосборочного механизма (в



котором движется шток пневмоцилиндра) после выдержки 10 мин через окно укладывают поршневой палец. В соответствующую ячейку днищем вниз устанавливают нагретый поршень. В него вкладывают шатун. Сквозь отверстия в деталях вставляют центрирующую оправку до касания в торец поршневого пальца. Нажатием на педаль включают пневмоцилиндр сборочного механизма, шток которого перемещает поршневой палец в бобышки поршня. Центрирующая оправка выходит из поршня, но остается в левой части корпуса. Собранный шатунно-поршневую группу извлекают из сборочного механизма вручную. Производительность станда – 400 сборок в смену.

#### **4.5.5. Оборудование для перемещения собираемых объектов**

Для перемещения собираемых объектов при поточной сборке применяют эстакады и конвейеры, гравитационные и вибрационные лотки. По эстакаде изделия перемещают вручную. Эстакаду ОПР-996 применяют, например, для сборки двигателей. Конвейеры обеспечивают механическое перемещение. Наибольшие удобства и наилучшее использование производственной площади обеспечивает вертикально-замкнутый тележечный конвейер (рис. 4.13). На каждой тележке конвейера установлен сборочный станок с возможностью технологического вращения собираемого изделия вокруг горизонтальной или вертикальной оси. Сборщики находятся на пластинах, которые движутся вместе со станками. Холостая ветвь цепи с пластинами и тележками проходит под полом.

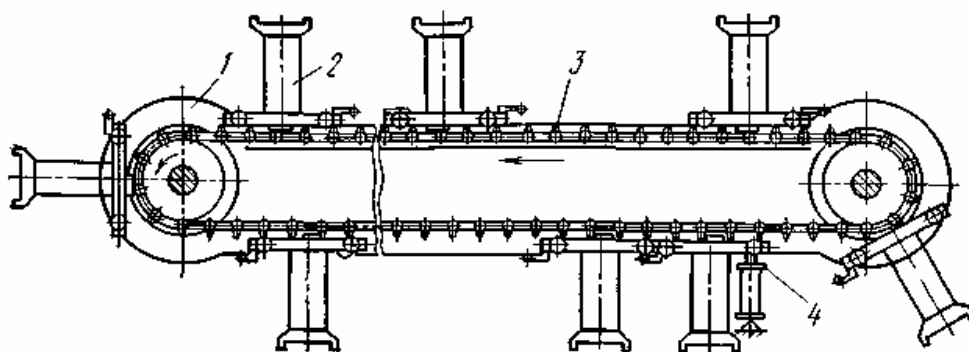


Рис. 4.13. Тележечный конвейер для разборки агрегатов: 1 – направляющие; 2 – грузонесущая тележка; 3 – тяговая цепь; 4 – останов

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. По каким классификационным признакам делят сборочное оборудование на группы? 2. За счет чего обеспечивается экономический эффект от применения оборудования для подачи, ориентирования и отсекаания деталей при сборке? 3. Какими способами ограничивают момент затяжки резьбовых соединений? 4. Каковы преимущества теплопрессовой сборки?

## *Лабораторная работа № 5*

### СБОРКА РЕДУКТОРА

*Цель работы:* изучить процесс сборки-разборки технологического узла, составить технологическую схему сборки.

Последовательность сборки изделия в основном определяется его конструкцией: компоновкой деталей и методами достижения требуемой точности. Простые сборочные единицы или изделия, как правило, имеют одновариантную последовательность ввода деталей в технологический процесс сборки, сложные – многовариантную.

Общие указания по разработке последовательности сборки следующие:

- сборку следует начинать с установки на сборочном стенде или конвейере базовой детали, к которой последовательно присоединяются остальные детали;

- при прочих равных условиях сборку следует начинать с деталей, имеющих размеры, входящие в качестве составляющих звеньев в ту размерную цепь, при помощи которой решается наиболее ответственная задача;

- последовательность сборки определяется возможностью и удобством присоединения деталей;

- каждая ранее установленная деталь или сборочная единица не должна мешать последующей сборке;

- детали или сборочные единицы, выполняющие наиболее ответственные функции, желательно устанавливать в первую очередь. То же самое относится к деталям и сборочным единицам, размеры которых являются общими звеньями нескольких параллельно связанных размерных цепей;

- необходимо по возможности исключить промежуточные разборки;

- необходимо обеспечивать минимальное количество переустановок в процессе сборки.

*Материалы и оборудование:* слесарный верстак, редуктор, комплект слесарного инструмента, комплект мерительного инструмента.

*Ход работы:*

- установить редуктор на слесарный верстак;

- провести полную разборку редуктора и его узлов;

- составить спецификацию сборочных единиц и деталей, входящих в узел;

- провести измерения присоединительных элементов деталей и рассчитать замыкающие размеры;

- занести результаты в протокол измерений;

- составить размерные цепи из деталей;

- собрать узел с обеспечением всех замыкающих размеров;

– составить технологическую схему сборки с простановкой зазоров и натягов в соединениях.

*Содержание* отчета: цель работы, краткие теоретические сведения, оборудование и материалы, протокол измерений присоединительных частей, технологическую схему сборки, выводы по работе.

## 4.6. Организация поточной сборки

### 4.6.1. Общие сведения о поточной сборке

Поточное производство впервые внедрено на автомобильном заводе Г. Форда (США) в 1913 г.

Поточное производство представляет собой высшую форму организации, к которой стремится любое предприятие. Это производство многие годы развивалось за счет глубокой дифференциации технологических операций. Элементы его имеются на каждом предприятии. Наибольшее развитие поточное производство получило в сборочном производстве.

*Поточная* линия – это система технологического и транспортного оборудования, обеспечивающая выполнение операций технологического процесса в заданной последовательности с перемещением предмета труда между позициями.

Изделия передают с позиции на позицию конвейером, транспортером или вручную с остановками или без них. Например, на окрасочных участках это перемещение, как правило, непрерывное, а в остальных случаях – прерывное.

При организации поточной линии определяют трудоемкость работ на рабочих местах и распределяют по ним рабочих.

Отрезок времени, спустя который продукция выходит с поточного производства, называют *тактом*. Такт поточного производства  $\tau$ , исходя из необходимой производительности предприятия, равен

$$\tau = \frac{60\Phi_{до}}{N}, \text{ мин,} \quad (4.11)$$

где  $\Phi_{до}$  – действительный годовой фонд времени поточной линии, ч/год.

### 4.6.2. Технологические расчеты поточной сборки

Число позиций (рабочих мест)  $n_n$  поточного производства равно

$$n_n = k_p \frac{60T_u}{n_{cp}(\tau - t_n)}, \quad (4.12)$$

где  $k_p$  – коэффициент, учитывающий количество резервных позиций ( $k_p = 1,05 \dots 1,15$ );  $T_u$  – штучное время, отнесенное к одному изделию, чел-ч;  $n_{cp}$  –

средняя численность рабочих на позиции;  $t_n$  – время транспортного перемещения изделия между позициями, мин.

Время  $t_n$  определяют по формуле

$$t_n = \frac{l_M + a}{v_{mp}}, \text{ мин,} \quad (4.13)$$

где  $l_M$  – длина изделия в направлении транспортного перемещения, м;  $a$  – расстояние между изделиями на конвейере, м;  $v_{mp}$  – скорость транспортного перемещения конвейера, м/мин.

Скорость транспортного перемещения агрегатов принимают 15...20 м/мин, а машин – 7...10 м/мин.

Скорость технологического перемещения конвейера  $v_{mx}$  в производстве с непрерывным перемещением объектов равна

$$v_{mx} = \frac{l_M + a}{\tau}, \text{ м/мин.} \quad (4.14)$$

При расчете числа позиций в поточном производстве с непрерывным перемещением изделий из формулы (4.12) исключают время  $t_n$ .

Длина поточной линии  $l_n$  равна (рис. 4.14)

$$L_n = n_n(l_M + a) + l_1 + l_2, \quad (4.15)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – расстояния от границ крайних рабочих мест до начала и конца конвейера.

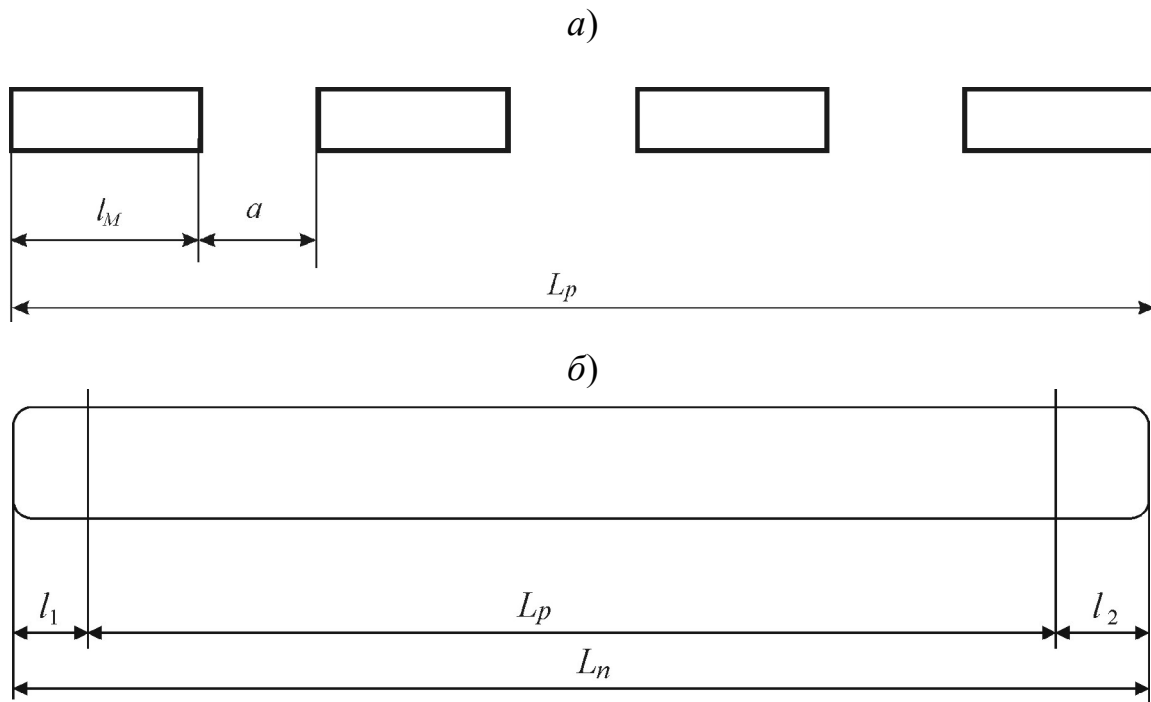


Рис. 4.14. Схема определения общей длины поточной линии:  $a$  – расположение позиций в линии;  $b$  – участки линии, определяющие ее длину

### 4.6.3. Эффективность поточной сборки

Область эффективно применения разборочных и сборочных поточных линий в производстве с прерывным перемещением объектов обусловлена тактом производства менее 10 мин.

Эффективность поточной линии обусловлена следующими факторами. Рабочие специализируются на выполнении отдельных операций, при этом лучше используется их квалификация, уменьшается время выполнения каждой операции, процесс при этом становится дешевле, а качество продукции повышается. Оснащение участка увеличивает его производительность и качество изделий, а выпуск продукции становится более ритмичным. На участках крупносерийного и массового производства с поточной организацией труда отпадает необходимость в промежуточных складах, сокращается длительность производственного цикла, исключаются затраты на перегрузочные работы. Следует отметить, что задержка выполнения работ даже на одной технологической позиции из-за плохого обеспечения производственными ресурсами, неисправности оборудования или недостаточной сноровки исполнителя приводит к остановке всей поточной линии. Однако для исключения влияния неудовлетворительной организации производства на само производство между некоторыми позициями создают промежуточные накопители изделий.

Работы закрепляют за технологическими позициями и определяют их такты  $\tau_n$

$$\tau_n = \frac{t_{шк}}{n_{pn}}, \text{ мин,} \quad (4.16)$$

где  $n_{pn}$  – численность рабочих на технологической позиции.

Поточная линия идеально организована в том случае, если фактический такт каждой позиции  $\tau_n$  равен такту линии  $\tau_l$ . Допускается отклонение их друг от друга не более чем на 5 %. Равенства тактов или приближение к нему при синхронизации поточной линии достигают перераспределением работ между смежными позициями, изменением числа позиций или численности рабочих на позициях.

Эффективность синхронизации оценивается коэффициентом использования рабочего времени на поточной линии

$$\eta = \frac{60T_u}{n_{сб}\tau}, \quad (4.17)$$

где  $n_{сб}$  – численность сборщиков.

Чем ближе значение  $\eta$  к единице, тем лучше организован процесс.

Выше приведены однономенклатурные поточные линии для обработки одной детали или сборки изделий одного типоразмера. Стремление к использованию преимуществ поточной организации труда в серийном производстве привело к созданию переналаживаемых многономенклатурных поточных линий. В основе создания их лежит конструктивная унификация и технологическая общность деталей, допускающая разработку для них типовых технологических процессов механической обработки.

Различают две формы организации многономенклатурных линий – переналаживаемые переменнo-поточные линии и непереналаживаемые групповые поточные линии.

Поточная организация производства обеспечивает наивысшую производительность труда, не требует высококвалифицированных рабочих и, следовательно, снижает себестоимость изготовления машин.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью внедряют поточную организацию труда? 2. С чего начинают технологический расчет поточного производства? 3. В чем заключается синхронизация поточного производства? 4. Сопоставьте достоинства и недостатки поточного производства.

### **4.7. Диагностирование агрегатов**

#### ***4.7.1. Виды состояния агрегата и задачи диагностирования***

*Диагностирование* – это определение и оценка технического состояния агрегата.

*Техническое состояние агрегата* – совокупность его изменяющихся свойств в определенный момент времени.

Агрегат может пребывать в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном состояниях. В *исправном* состоянии агрегат соответствует всем требованиям конструкторской документации, а если агрегат не соответствует хотя бы одному из этих требований, то он признается *неисправным*. *Работоспособное* состояние агрегата такое, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданную функцию, соответствуют требованиям конструкторской документации. Если значение хотя бы одного из этих параметров не соответствует требованиям конструкторских документов, то агрегат признают *неработоспособным*. Состояние агрегата называют *предельным* в том случае, когда он или не способен выполнять предназначенную функцию, или выполнение ее сопряжено с затратами, превышающими пользу от применения агрегата.

Задачи диагностирования агрегатов следующие:

- определение вида технического состояния агрегата;
- нахождение места и вида неисправности и ее причин;
- выявление необходимости регулировок и ремонтных работ;
- прогнозирование остаточного ресурса агрегата или его соединений.

#### **4.7.2. Диагностические параметры**

*Параметры* технического состояния – это физические величины, значения которых характеризуют вид состояния изделия. Различают структурные (прямые) и диагностические (косвенные), ресурсные и функциональные параметры.

*Структурные* параметры непосредственно обуславливают техническое состояние изделия. Это те параметры, которые обеспечивают при изготовлении агрегата (например, размеры элементов деталей, параметры формы и расположения). Без разборки агрегата структурные параметры, как правило, измерить невозможно.

*Диагностические* параметры косвенно характеризуют структурные параметры. Так, например, вибрация стенок двигателя увеличивается, а давление масла в системе смазки уменьшается по мере изнашивания подшипников и шеек коленчатого вала и увеличения зазора в соединении. Диагностические параметры выбирают с учетом их информативности и точности, а также трудоемкости измерения. Эти параметры не требуют разборки агрегатов и могут измеряться при работе агрегата.

*Ресурсные* параметры – это параметры, выход за предельное значение которых приводит к исчерпанию ресурса. Изделие в этом случае требует ремонта. Примеры – зазоры в соединениях подшипник – шейка коленчатого вала двигателя, цилиндр – поршень.

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

В зависимости от физической природы диагностические параметры могут быть сведены в группы:

- геометрические (длина, площадь, угол, телесный угол, объем, момент сопротивления, осевой и полярный моменты инерции и др.);
- кинематические (перемещение, скорость, ускорение и др.);
- физические (плотность, удельный объем, модуль Юнга, твердость и др.);
- гидравлические (вязкость, расход, давление и др.);

- тепловые (температура, тепловой поток, коэффициент теплопроводности и др.);
- электрические (электрический заряд, напряженность электрического поля, емкость, сила тока, напряжение, электрическое сопротивление и др.);
- магнитные (магнитная индукция, магнитный поток, напряженность магнитного поля, магнитное сопротивление и др.);
- акустические (звуковое давление, акустическое сопротивление, высота звука и др.);
- излучения (поток излучения, мощность излучения, спектральная плотность, коэффициенты преломления, отражения и пропускания и др.).

#### ***4.7.3. Процессы и средства диагностирования***

Агрегат при диагностировании приводят в движение. Измеряемые величины определяют виды соответствующих способов и средств. Основные способы диагностирования следующие: кинематические и динамические, виброакустические и пневматические, энергетические, измеряющие параметры рабочих процессов и работавшего масла, тепловые и оптические.

*Кинематический способ* диагностирования основан на измерении относительного перемещения деталей в пределах зазоров соединений. Изменение зазоров в трущихся парах работающего агрегата согласуется с классической кривой изнашивания, включающей участки приработки, эксплуатационного и аварийного изнашивания.

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

*Динамический способ* применяют при диагностировании двигателей внутреннего сгорания. Он основан на использовании функциональной зависимости ускорения коленчатого вала двигателя вблизи его номинальной частоты вращения при полном открытии дросселя или полной подаче топлива. Диагностическим параметром является угловое ускорение, которое косвенно характеризует мощность двигателя.

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

Энергия удара и, соответственно, амплитуда колебаний стенок зависят от зазоров в соединениях. Эти колебания фиксируют пьезоэлектриче-



скими датчиками, которые преобразуют механические колебания в электрические. Значение зазора косвенно определяется по амплитуде сигнала, моменту (фазе) его появления и частоте. Датчик воспринимает колебания, поступающие одновременно от всех соединений одновременно. Сигналы разделяют частотным, временным и амплитудным способами.

Работающий агрегат диагностируют на испытательном стенде, который имеет упругую подвеску этого агрегата. Скоростной и нагрузочный режимы работы агрегата выбирают таким образом, чтобы в спектрах вибрации проявлялись все ее источники. Обычно это средние частоты вращения и нагрузки. Датчик крепится на двигателе жестко, его масса для уменьшения погрешности измерений должна быть минимальной. Частоты и уровни вибрации, характеризующие неисправности, например, двигателей ЗИЛ-130 определены экспериментально и приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Параметры виброакустического контроля двигателя ЗИЛ-130

Среднегеометрическая частота фильтра, Гц	Предельный уровень вибрации, дБ	Причины, вызывающие повышенные вибрации
31,5	87	Повышенный дисбаланс двигателя в сборе
50	87	Неодинаковое протекание рабочих процессов в отдельных цилиндрах
63	86	Разные массы поршней и шатунов
125	77	Стук цилиндро-поршневой группы
250	70	То же
315	70	Стук шатунных подшипников
800	73	Дефекты распределительных шестерен
1250	70	Стук цилиндро-поршневой группы
1600	70	Дефекты распределительных шестерен
2000	71	Неисправности клапанного механизма
4000	70	То же
6300	64	То же

*Пневматический способ* диагностирования применяют при оценке герметичности замкнутых полостей (топливных баков, радиаторов, камер сгорания, уплотнительных устройств агрегатов трансмиссий).

В качестве диагностических параметров используют время снижения давления воздуха при заданных пределах его изменения или расход среды через течь. Точную оценку герметичности, особенно при малых утечках, обеспечивают пневмокалибратором, схема которого приведена на рис. 4.15.

Воздух под установленным давлением, которое поддерживается регулятором давления, поступает в магистраль 3. Давление подаваемого воз-

духа контролируется манометром 1. В пневматическую сеть установлен жиклер 4. Трубопровод 5 соединяет пневмокалибратор с проверяемым объектом (например, с цилиндром двигателя). Давление в трубопроводе 5 измеряется манометром 2. Это давление зависит от величины утечек из проверяемого объекта.

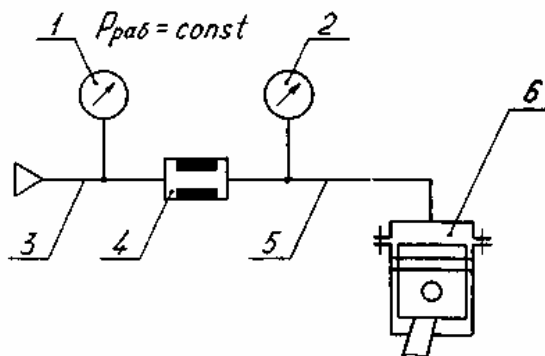


Рис. 4.15. Схема пневмокалибратора: 1 и 2 – манометры; 3 – воздушная магистраль; 4 – жиклер; 5 – измерительная магистраль; 6 – диагностируемый объект

Для определения площади течи снимают тарировочную кривую калибратора. Она характеризует зависимость между давлением  $P_{изм}$ , измеряемом манометром 2, и площадью  $F_o$  тарировочного отверстия на выходе из трубопровода 5 (рис. 4.16). Тангенс угла наклона касательной графика к оси  $F_o$  определяет передаточное отношение измерительного устройства. В процессе диагностирования по полученному значению  $P_{изм}$ , пользуясь пневматической характеристикой, определяют площадь течи, которая является диагностическим параметром.

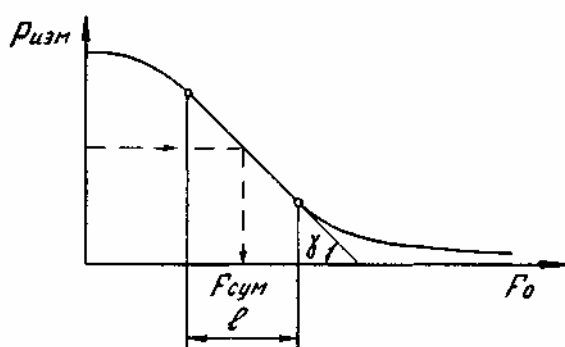


Рис. 4.16. Характеристика пневмокалибратора манометрического типа

*Энергетический способ* диагностирования основан на оценке состояния агрегатов путем измерения вырабатываемой, передаваемой или потребляемой ими энергии. Способ применяют при диагностировании двигателей внутреннего сгорания во время тормозных или бестормозных

испытаний. В первом случае используют обкаточно-тормозные стенды. Во втором случае нагрузку создают выключением части цилиндров с дросселированием отработавших газов или масла в гидросистеме агрегата. Установившаяся частота вращения коленчатого вала является оценкой мощности двигателя. При отключении каждого цилиндра определяют среднюю частоту вращения коленчатого вала, которая является диагностическим параметром.

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

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

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

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

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

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

Активный тепловой контроль применяют для агрегатов, температура поверхности которых во всех точках одинакова. Такими объектами могут быть материалы и детали. При их нагреве внешним источником (лампой накаливания, лазером, плазмотроном) тепловой поток распространяется вглубь объекта и испытывает дополнительное тепловое сопротивление в месте дефекта. В результате в этом месте наблюдается локальное повышение температуры. При механическом цикловом нагружении в области

внутреннего дефекта выделяется тепловая энергия вследствие трения и пластического деформирования, что повышает температуру объекта в области дефекта. Таким образом, способ тепловой дефектотермии обнаруживают трещины, поры, раковины и примеси.

Пассивный тепловой контроль применяют для агрегатов, у которых возможно аномальное выделение теплоты в месте потенциального дефекта. Работающие агрегаты являются объектами теплового диагностирования.

При тепловом диагностировании используют контактные и бесконтактные методы измерения температуры.

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

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

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

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

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

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

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

*Средства диагностирования* – аппаратура и программы, с помощью которых осуществляют диагностирование. Диагностические средства могут быть в виде стационарных и передвижных стендов и комплектов переносных приборов.

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

Применяют следующие приборы: осциллографы с датчиками для снятия индикаторных диаграмм; анализаторы вибраций для определения частот, виброскоростей и виброускорений; расходомеры жидкостей и газов;

спектрометры для определения металла в масле; инфракрасные бесконтактные датчики для измерения температуры деталей; торсиометры для определения мощности на выходных валах механизмов и др.

Мотор-тестор КИ-5524 предназначен для комплексного диагностирования карбюраторных двигателей. С помощью его измеряют параметры (в скобках приведены их значения): частоту вращения коленчатого вала ( $0 \dots 1000$  и  $0 \dots 5000$  мин<sup>-1</sup>), напряжение ( $0 \dots 20$  В), сопротивление ( $0 \dots 100$  Ом и  $0 \dots 1000$  кОм) и силу тока в сети электрооборудования ( $0 \dots 100$  и  $0 \dots 1000$  А), угол замкнутого состояния контактов ( $0 \dots 90$  °), давление ( $0 \dots 0,005$  МПа) и расход топлива ( $100 \dots 1000$  см<sup>3</sup>/мин).

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

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

Работы выполняют на участке диагностирования, регулирования и устранения дефектов. Если в результате диагностирования обнаруживают дефекты, то их учитывают в журнале, а соответствующий агрегат разбирают с заменой деталей. После устранения дефектов агрегат снова отправляют на участок обкатки, где он проходит повторные обкатку и испытания, при этом объем обкатки может быть сокращен по сравнению с первоначальным.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью диагностируют агрегаты? 2. Чем отличаются структурные параметры агрегатов от диагностических? 3. Какую информацию о состоянии агрегата получают при использовании кинематического способа диагностирования? 4. Какие способы диагностирования применяют при определении технического состояния зубчатых редукторов?

### **4.8. Технический прогресс в обрабатывающем и сборочном производствах**

#### ***4.8.1. Показатели технического прогресса***

О техническом уровне предприятия судят по его производительности, качеству и себестоимости выпускаемой продукции.

Производительность труда отечественных предприятий несколько уступает соответствующему показателю зарубежных предприятий по причине более низкого уровня механизации и автоматизации труда. Фактиче-

ская долговечность отечественной техники уступает зарубежной в 2...3 раза, при этом она примерно настолько и дешевле. Основное внимание при подготовке производства к выпуску новой продукции должно быть обращено на повышение ее качества.

*Качество* промышленной продукции характеризуется совокупностью показателей, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Качество продукции оценивают десятью группами показателей: назначения, надежности, безопасности, технологичности, эргономическими, эстетическими, экологическими, стандартизации и унификации, патентно-правовыми, экономическими. Наиболее критичными являются показатели назначения, надежности и экономические.

Показатели *назначения* характеризуют способность машины выполнять функции, ради которых она создавалась (переработки энергии или материалов, обработки заготовок или почвы, перевозки грузов или пассажиров и др.). В качестве показателей назначения принимают самые важные и необходимые свойства продукции. Оценка показателей назначения машины входит в программу ее функциональных испытаний. Значения показателей назначения измеряют и оценивают при приемо-сдаточных и периодических испытаниях.

Показатели *надежности* определяют свойство машины сохранять и восстанавливать работоспособность в эксплуатации. Они дополняют показатели назначения в части обеспечения их стабильности в течение нормативной наработки. Оценка показателей надежности машины входит в программу ее испытаний на надежность.

*Технический уровень* продукции – это относительная характеристика ее качества, основанная на сопоставлении, с одной стороны, значений показателей продукции, характеризующих ее техническое совершенство, и с другой стороны, значений соответствующих показателей лучших аналогов.

Технический уровень продукции является частным показателем уровня качества продукции, потому что свойства, составляющие технический уровень продукции, входят в общую совокупность ее свойств. К совокупности показателей технического совершенства относятся показатели, оценивающие существенное повышение полезного эффекта продукции от применения научно-технических достижений. Техническое совершенство выражается показателями материалоемкости и энергоемкости, эргономическими и безопасности. Машина становится более совершенной в резуль-

тате использования новых материалов, прогрессивных технологических процессов, методов контроля, испытаний и др.

#### ***4.8.2. Причины, обуславливающие необходимость повышения обработки и сборки изделий***

Качество изготовления машин определяют количеством параметров, значения которых находятся в нормативных пределах. Однако при ремонте двигателей, например, в нормативных пределах выдерживается меньше половины значения параметров.

Наиболее полно значения параметров выдерживаются при изготовлении валов, поршней и шатунов. В корпусных деталях выдерживается примерно 75 % параметров, у гильз цилиндров 80 %, маховиков 70 %. Наиболее полно выполняются требования к размерам, форме и шероховатости при обработке шеек валов, но с нормативной точностью обрабатываются только 80 % отверстий.

Часть геометрических параметров изготовления деталей, влияющих на наработку агрегата, вообще осталась вне поля зрения разработчиков нормативной документации (например, отклонение от перпендикулярности и пересечения осей отверстий под гильзы).

Не выдерживаются нормативные зазоры в большинстве подвижных соединений. Сборочные моменты при затяжке резьбовых соединений находятся в нормативных пределах только у 50...70 % соединений. Сборочные усилия, как правило, не контролируются.

Динамическая и смешанная неуравновешенность движущихся частей до 1,5 раз превосходит нормативную.

Функциональные выходные параметры (показатели назначения) отремонтированных агрегатов (давление и расход сред, мощность, скорость и др.) соответствуют нормативам, однако эксплуатационный темп их изменения в худшую сторону превышает соответствующий темп изменения в машинах, введенных в эксплуатацию после их первичного изготовления. Наблюдается много случаев усталостного разрушения деталей, испытывающих знакопеременные нагрузки.

#### ***4.8.3. Обработка и сборка за рубежом***

За рубежом большое внимание уделяют организации производства деталей, постоянно увеличивая ассигнования на разработку новых способов и оборудования. Многие крупнейшие производители техники (фирмы John-Dir, Caterpillar, Kaise, Massey Fergusson, Klaas, Fiat, Volvo BM, Misubishi, Kamatsu и др.) первоочередное внимание уделяют проблеме упрочнения деталей на стадии изготовления машин, что проявляется в показателях

их надежности, на порядок превышающих (особенно по наработке на отказ) значения этих показателей у отечественных машин.

Из новых материалов широко применяют полимеры. Например, в США внедрена технология упрочнения поверхностей поршней и гильз напылением полимерного покрытия – тефлона. Соединения 35 дизельных двигателей тепловозов эксплуатировались более 26 месяцев. Отмечено снижение расхода топлива. Проверка после этого срока показала, что двигатели находились в работоспособном состоянии. Новая технология на 30 % дешевле хромирования.

Для закрепления зубчатых венцов используют электронно-лучевую сварку, глубина сварочного шва при этом достигает 10 мм. С помощью электронного луча упрочняют беговые дорожки подшипников и рабочие поверхности клиноременных шкивов.

Широко применяют пластическое деформирование материала, например, для изготовления фасок клапанов, звездочек сельскохозяйственных машин и верхних канавок поршней под поршневое кольцо. Для повышения усталостной прочности восстанавливаемых деталей служит дробеструйная обработка. Применяют как традиционную поперечную, так и ротационную правку. Дробеструйная обработка галтелей валов как повышает их усталостную прочность, так и уменьшает разброс ее значений.

Термопластическое деформирование заготовок создает остаточную деформацию материала и позволяет уменьшать размеры деталей. При этом в ряде случаев исключается термическая или химико-термическая обработка заготовок.

Расширяется область применения плазменной наплавки, которая развивается за счет увеличения производительности и номенклатуры используемых порошков. Одно из направлений совершенствования процесса заключается в подогреве наплавочных проволок. Проволоки подаются в плазменную дугу подогретыми до температуры, близкой к температуре плавления, независимым источником питания переменного тока. Использование такого источника уменьшает влияние магнитного поля на сварочную дугу, генерируемую током, протекающим по проволокам. Такая схема позволяет гибко управлять наплавкой. С помощью основного источника постоянного тока регулируют мощность дуги, а посредством ее – провар основы и форму наплавленного металла. Вспомогательный источник переменного тока позволяет изменять интенсивность плавления проволок. Производительность плазменной наплавки с подогревом материала достигает 40...50 кг/ч, уступая наплавке под слоем флюса широкой лентой или несколькими проволоками.



В использовании материалов для плазменной наплавки прослеживается следующая тенденция: кобальтовые сплавы заменяют никелевыми, а последние, в свою очередь, – сплавами на железной основе для снижения стоимости материала. Иногда приводят доводы экологического характера, считая, что кобальт и никель относятся к канцерогенным веществам.

При обработке заготовок резанием широко используют резцы из режущей керамики и искусственных алмазов.

Детали динамически балансируют на трехопорных стендах, которые позволяют уравнивать валы, состоящие их двух частей.

В сборочном производстве внедрена поточная организация со свободным ритмом.

#### ***4.8.4. Направления совершенствования производства***

Повышению прибыльности предприятия способствуют *маркетинговые* исследования, направленные на изучение спроса на изготавливаемые изделия и влияния на объемы реализации продукции ее качества. Один из видных идеологов маркетинга – профессор Ф. Котлер – определил маркетинг как вид деятельности, направленной на удовлетворение нужд и потребностей общества путем обмена. Задачи маркетинга – комплектование портфеля заказов, налаживание товародвижения и сбыта продукции, ориентированной на запросы потребителей, непрерывная коррекция своей деятельности на основе перемен в рынке.

Выбор стратегии охвата рынка зависит от производственной мощности предприятия, однородности продукции и рынка, стадии жизненного цикла товара и маркетинговой стратегии конкурентов. С учетом всех этих данных определяют, какие рыночные сегменты наиболее привлекательны для предприятия, и решают, которые из них больше других соответствуют его сильным сторонам и опыту.

Маркетинговые исследования служат также основой для назначения цены товара. Эта цена может устанавливаться на основании одного из пяти методов ценообразования: средних издержек плюс прибыль; анализа и обеспечения целевой прибыли; ощутимой ценности товара; уровня текущих цен; на основе закрытых торгов.

Предприятие рекламирует свою продукцию путем рассылки рекламных проспектов потенциальным покупателям и участия в тематических выставках.

Совершенствованию производства способствует улучшение его организации. *Организация производства* – это система мероприятий, обеспе-

чивающих ритмичный выпуск продукции нормативного качества с необходимой производительностью, надлежащими условиями труда, без загрязнения окружающей среды и с минимальным расходом производственных ресурсов. *Ритмичность* – это свойство производства выпускать продукцию через одинаковые отрезки времени. К нарушению ритмичности приводят недостатки планирования, внеплановые простои оборудования, несвоевременное обеспечение ресурсами и недостаточная исполнительская дисциплина.

Производство вначале организуют в пространстве, а затем – во времени. Организация производства в *пространстве* основана на решении о месте его размещения на территории экономического района и структуре предприятия. Повышению объемов производства способствуют его *концентрация, специализация и кооперация* с другими предприятиями.

Организация производства во *времени* выполняется непрерывно в течение всего времени существования производства. Она включает определение количества ресурсов на ремонт единицы продукции, распределение и своевременное обеспечение ими рабочих мест, содержание СТО в исправном состоянии, управление перемещением объектов, обеспечение условий труда, взаимодействие работников, действие системы качества.

Основные принципы организации производства во времени: дифференциация или концентрация операций, непрерывность, гибкость, поточность и равенство производственных мощностей предприятия и его частей.

В течение жизни предприятия непрерывно совершенствуются оборудование и инструменты, организуется поточное производство и внедряются поточно-механизированные линии.

*Поточно-механизированная (автоматизированная) линия* – это система основного и вспомогательного ремонтно-технологического и подъемно-транспортного оборудования, специализированного по выполнению операций технологического процесса и расположенного в порядке их следования. Поточная форма организации производства обеспечивает наивысшую производительность труда, не требует использования высококвалифицированных рабочих и, следовательно, снижает себестоимость изготовления машин.

Технические возможности производства определяются разнообразием технологического оборудования и, соответственно, технологических процессов. Более широко должны применяться новые способы преобразования энергии и материи на более глубоких ее уровнях.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какими показателями можно оценить технический прогресс предприятия?
2. В чем заключается необходимость повышения технического уровня машиностроительных предприятий?
3. В чем заключается отличие отечественных технологических процессов от зарубежных?
4. Сформулируйте направления повышения технического уровня предприятий.

### ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕФЕРАТОВ

1. Обеспечение точности замыкающих размеров при сборке.
2. Повышение качества комплектовочных работ.
3. Современное балансировочное оборудование.
4. Повышение качества и производительности сборки подшипников качения и скольжения.
5. Параметры сборки зубчатых передач и их обеспечение.
6. Классификация сборочного оборудования и ее применение в технологической подготовке производства.
7. Роль оборудования для перемещения изделий в повышении технического уровня производства.
8. Организация поточной сборки.
9. Современные представления о диагностировании агрегатов.
10. Технический прогресс в обрабатывающем и сборочном производствах.

### ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТУДЕНТАМ

*Студент должен знать:*

- основные процессы комплектования, уравнивания и сборки агрегатов и соответствующее оборудование.
- организацию поточной сборки изделий;
- показатели и направления технического прогресса машиностроительного предприятия.

*Студент должен уметь:*

- выбирать оборудование для сборочных операций;
- производить технологические расчеты поточной сборки;
- давать технико-экономическую оценку различных способов сборки изделий.

## **РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ МАТЕРИАЛА РАЗДЕЛА И ДИСЦИПЛИНЫ**

Текущая оценка знаний четвертого раздела производится по результатам опроса студентов. Высокой оценки достойны те студенты, которые свободно владеют:

- основными процессами комплектования, уравнивания и сборки агрегатов;
- организацией поточной сборки изделий;
- знаниями об оборудовании для комплектования, уравнивания и сборки агрегатов;
- показателями и направлениями технического прогресса машиностроительного предприятия.

Результаты рейтингового контроля знаний по четырем разделам дисциплины служат основой для определения предварительной оценки по всей дисциплине. Эта оценка определяется как среднее арифметическое четырех оценок по разделам с округлением до целого числа. По решению студента эта оценка может быть признана в качестве экзаменационной и выставлена в зачетную книжку и экзаменационную ведомость. Если студент считает, что он достоин более высокой оценки, то сдает экзамен на общих основаниях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.
3. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
4. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении.
5. ГОСТ 25142-82. Профиль. Термины и определения основных понятий.
6. ГОСТ 2789–74 Шероховатость. Параметры и характеристика.
7. Иванов, В.П. Технология и оборудование восстановления деталей машин: учебник / В.П. Иванов – Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2007. – 458 с.
8. Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – изд. 5-е, испр. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
9. Основы технологии машиностроения (специальная часть): учеб. / А.А. Гусев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
10. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения / М.С. Поляк. – В 2 т. – Т. 1. – М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. – 852 с.
11. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. / М.С. Поляк. – В 2 т. – Т. 2. – М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. – 688 с.
12. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие / И.П. Филонов [и др.]; под ред. И.П. Филонова; + CD. – Минск: Технопринт, 2003. – 910 с.
13. Тарасик, В.П. Технология искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.
14. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П. Митрофанов [и др.]; под общ. ред. С.П. Митрофанова. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1987. – 351 с.
15. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учебное пособие / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Выш. шк., 2005. – 299 с.
16. Харламов, Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: учебное пособие / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьянц. – В 2-х т. – Т. 1. – Луганск: изд-во Восточно-укр. Национ. ун-та им. В. Даля, 2003. – 496 с.
17. Харламов, Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: учеб. пособие / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьянц. – В 2-х т. – Т. 2. – Луганск: изд-во Восточно-укр. Национ. ун-та им. В. Даля, 2003. – 480 с.
18. Шипко, А.А. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева / А.А. Шипко, И.Л. Поболь, И.Г. Урбан. – Минск: Навука і тэхніка, 1995. – 280 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ПРОЦЕССЫ, ДОКУМЕНТАЦИЯ .....	4
1.1. Машиностроительное предприятие .....	4
1.2. Типы и характеристика производства .....	10
<i>Практическое занятие № 1. Определение типа производства</i> .....	14
1.3. Производственный процесс и средства технологического оснащения .....	15
<i>Практическое занятие № 2. Технологический процесс</i> .....	20
1.4. Базирование и базы при обработке заготовок и сборке изделий.....	20
<i>Практическое занятие № 3. Выбор баз при обработке заготовок</i> .....	29
1.5. Механическая обработка заготовок.....	30
1.6. Термическая обработка при изготовлении деталей .....	41
<i>Практическое занятие № 4. Термическая обработка заготовок</i> .....	54
1.7. Технологические режимы резания заготовок.....	55
<i>Практическое занятие № 5. Технологические режимы обработки заготовок</i> .....	64
1.8. Технологическая документация.....	65
<i>Практическое занятие № 6. Технологическая документация</i> .....	72
1.9. Унификация технологических процессов .....	72
Тематика исследований и рефератов.....	75
Требования, предъявляемые к студентам .....	76
Рейтинговый контроль знаний материала раздела .....	76
2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ .....	77
2.1. Содержание процесса изготовления деталей .....	77
2.2. Изготовление корпусных деталей.....	85
2.3. Изготовление валов .....	90
2.4. Изготовление гильз и дисков .....	95
2.5. Изготовление шатунов, рычагов и коромысел .....	99
2.6. Изготовление зубчатых колес .....	102
Тематика исследований и рефератов.....	109
Требования, предъявляемые к студентам .....	109
Рейтинговый контроль знаний материала раздела .....	110
3. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ .....	111
3.1. Содержание упрочнения деталей.....	111
3.2. Электромеханическая обработка .....	120
3.3. Электроискровая обработка .....	129
<i>Лабораторная работа № 1. Электроискровая обработка</i> .....	136
3.4. Электронно-лучевая обработка.....	137
<i>Лабораторная работа № 2. Электронно-лучевая обработка</i> .....	143
3.5. Лазерная обработка .....	144
<i>Лабораторная работа № 3. Лазерная обработка</i> .....	151
3.6. Плазменная обработка .....	153

<i>Лабораторная работа № 4. Плазменное поверхностное упрочнение</i> .....	162
3.7. Ультразвуковая обработка .....	164
3.8. Пластическое деформирование материала .....	172
Тематика исследований и рефератов .....	183
Требования, предъявляемые к студентам .....	184
Рейтинговый контроль знаний материала раздела .....	184
4. СБОРКА АГРЕГАТОВ И МАШИН .....	185
4.1. Сборочные комплекты агрегатов .....	185
4.2. Уравновешивание агрегатов .....	193
4.3. Содержание сборки и ее технологический процесс .....	200
4.4. Сборка типовых соединений и передач .....	205
4.5. Сборочное оборудование .....	209
<i>Лабораторная работа № 5. Сборка редуктора</i> .....	218
4.6. Организация поточной сборки .....	219
4.7. Диагностирование агрегатов .....	222
4.8. Технический прогресс в обрабатывающем и сборочном производствах .....	229
Тематика исследований и рефератов .....	235
Требования, предъявляемые к студентам .....	235
Рейтинговый контроль знаний материала раздела и дисциплины .....	236
ЛИТЕРАТУРА .....	237

*Учебное издание*

ИВАНОВ Владимир Петрович  
ФРУЦКИЙ Виктор Александрович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Редактор *А. Э. Цибульская*  
Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

---

Подписано в печать 02.12.09. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Ризография. Усл. печ. л. 13,92. Уч.-изд. л.13,74. Тираж 40 экз. Заказ 2136.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009

ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29