

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Омский государственный технический университет»

**С. Б. Скобелев, В. В. Деркач, В. Г. Чуранкин**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА МАШИН**

Учебное текстовое электронное издание  
локального распространения

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Омского государственного технического университета*

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2022

УДК 621.9.041  
ББК 34.6  
С44

Рецензенты:

*С. В. Петроченко*, доцент, к.т.н., доцент кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ФГБОУ ВО «ОмГУПС»;

*Г. Г. Бурый*, доцент, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и энергетические установки» ФГБОУ ВО «СибАДИ»

**Скобелев, С. Б.** Технология восстановления и ремонта машин : учеб. пособие / С. Б. Скобелев, В. В. Деркач, В. Г. Чуранкин ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2022. – 1 CD-ROM (4,35 Мб). – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-8149-3400-0.

Приведены основные понятия и определения дисциплины «Технология восстановления и ремонта машин», рассмотрены методы очистки деталей от загрязнений, способы дефектации, а также способы восстановления деталей.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Редактор *М. А. Болдырева*

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

*Для дизайна этикетки использованы материалы  
из открытых интернет-источников*

---

Сводный темплан 2022 г.  
Подписано к использованию 17.01.22.  
Объем 4,35 Мб.

© ОмГТУ, 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации машины подвергаются внешним и внутренним воздействиям, в результате чего происходит ухудшение их показателей и снижение производительности. Основные причины – это ослабление креплений, изменение свойств материалов, увеличение зазоров в парах трения в результате изнашивания. Согласно статистике трудоемкость восстановления деталей составляет 30–50 % от общей трудоемкости ремонта. Нередко затраты на ремонт и восстановление могут превышать затраты на изготовление деталей.

Задачи повышения ресурса машин, обеспечения продления ресурса, повышения надежности и долговечности требуют инженерных решений по разработке эффективных технологических процессов ремонта и восстановления. Эффективные инженерные решения при соблюдении технологии ремонта и восстановления машин способствуют обеспечению их конкурентоспособности. Применяя в технологии ремонта современные технологические процессы, можно добиться не только восстановления первоначального ресурса машин, но и повышения его. Стоит отметить, что технологические решения, применяемые при ремонте и восстановлении, более разнообразны, чем применяемые при изготовлении.

Цель изучения дисциплины «Технология восстановления и ремонта машин» состоит в получении студентами системы знаний и практических навыков по оценке состояния узлов и деталей машин.

Основные задачи, стоящие перед студентами в процессе изучения дисциплины, – получить представление:

- 1) об основных закономерностях формирования вводных характеристик процессов восстановления деталей в зависимости от исходных условий;
- 2) основах организации и экономики ремонта машин;
- 3) оценке состояния узлов и деталей машин с учетом их изнашивания.

Содержание учебного пособия соответствует рабочей программе по дисциплине «Технология восстановления и ремонта машин» для обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». В конце каждой главы приведены контрольные вопросы, отвечая на которые студент может проверить степень усвоения материала при его самостоятельном изучении.

# 1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основной причиной выхода из строя машин (до 80 %) является изнашивание деталей пар трения.

*Изнашивание* – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела при трении и (или) увеличении его остаточной деформации, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

*Износ* – результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы.

Износ деталей и соединений приводит к ухудшению функциональных показателей машины и, как правило, регламентирует ее ресурс.

Наиболее распространена следующая классификация видов изнашивания по воздействию на поверхность трения и протекающим на ней процессам при эксплуатации машин [1]:

- механическое изнашивание – абразивное, гидроабразивное (газоабразивное), гидроэрозионное, кавитационное, усталостное, изнашивание при фреттинге, изнашивание при заедании;
- коррозионно-механическое – окислительное, фреттинг-коррозия;
- электроэрозионное.

Накопленные мировой практикой методы и способы предотвращения износа в машинах можно разделить на следующие группы: материаловедческие, технологические, конструкционные, производственные и эксплуатационные.

Целью мероприятий, связанных с ремонтом и восстановлением, является обеспечение надежности машин в процессе эксплуатации и создание условий для наибольшей продолжительности эксплуатации машины [1].

Согласно ГОСТ 18322–2016 [2] применяются следующие определения, связанные с ремонтом и восстановлением:

*Техническое обслуживание* – комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или ис-

правности объекта при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

*Ремонт* – комплекс технологических операций и организационных действий по восстановлению работоспособности, исправности и ресурса объекта и/или его составных частей.

Ремонт включает операции локализации, диагностирования, устранения неисправности и контроля функционирования.

*Система технического обслуживания и ремонта* – совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления (качества либо эксплуатационных характеристик) объектов, входящих в эту систему.

*Правила технического обслуживания (ремонта)* – основные положения и практические указания по организации и проведению технического обслуживания (ремонта).

*Уровень разукрупнения* – уровень разделения объекта на составные части с точки зрения технического обслуживания (ремонта).

Уровень разукрупнения зависит от сложности структуры объекта, доступности его составных частей, квалификации ремонтного персонала и требований безопасности. Примером уровня разукрупнения объекта может быть деталь или сборочная единица.

*Уровень технического обслуживания (ремонта)* – набор операций технического обслуживания (ремонта), подлежащих выполнению на установленном уровне разукрупнения.

*Операция технического обслуживания (ремонта)* – отдельный вид работы, выполняемой при техническом обслуживании (ремонте) с целью поддержания или восстановления работоспособности объекта.

*Объект технического обслуживания (ремонта)* – любой объект или его составная часть, подлежащие техническому обслуживанию (ремонту).

*Обслуживаемый объект* – объект, для которого техническое обслуживание предусмотрено документацией.

*Необслуживаемый объект* – объект, для которого техническое обслуживание не предусмотрено документацией.

*Ремонтопригодный объект* – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен документацией.

*Неремонтопригодный объект* – объект, ремонт которого не предусмотрен документацией или невозможен.

*Запасная часть* – отдельная деталь или сборочная единица, предназначенная для замены изношенных, неисправных или отказавших аналогичных частей объекта с целью поддержания или восстановления его работоспособного состояния.

*Комплект ЗИП* – набор запасных частей, инструментов, принадлежностей (ЗИП) и расходных материалов, необходимых для функционирования, технического обслуживания и ремонта объекта, скомплектованный в зависимости от назначения и особенностей использования.

*Техническое состояние* – совокупность свойств объекта, подверженных изменению в процессе его производства, эксплуатации, транспортировки и хранения, характеризуемых значениями параметров и/или качественными признаками, установленными в документации.

Видами технического состояния являются: исправное состояние, работоспособное состояние, неисправное состояние, неработоспособное состояние и предельное состояние.

*Метод технического обслуживания (ремонта)* – совокупность технологических и организационных правил выполнения операций технического обслуживания (ремонта).

*Цикл технического обслуживания (ремонта)* – наименьший повторяющийся интервал времени (или наработка объекта), в течение которого выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями документации все установленные виды периодического технического обслуживания (ремонта).

*Техническое обслуживание при использовании по назначению* – техническое обслуживание при подготовке к использованию по назначению, использовании по назначению и непосредственно после его окончания.

*Техническое обслуживание при хранении* – техническое обслуживание при подготовке к хранению, хранении и непосредственно после его окончания.

*Плановое техническое обслуживание* – техническое обслуживание, предусмотренное в документации, выполняемое по установленному графику.

*Неплановое техническое обслуживание* – незапланированное техническое обслуживание, выполняемое по результатам оценки фактического технического состояния объекта.

*Техническое обслуживание с периодическим контролем* – техническое обслуживание, выполняемое при контроле технического состояния объекта в объеме и с периодичностью, установленными в документации, при этом объем остальных операций определяется техническим состоянием объекта в момент начала технического обслуживания.

*Техническое обслуживание с непрерывным контролем* – техническое обслуживание, предусмотренное документацией и выполняемое по результатам непрерывного контроля технического состояния объекта.

*Плановый ремонт* – ремонт, постановка на который планируется в соответствии с требованиями документации.

*Капитальный ремонт* – плановый ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному ресурса объекта с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

*Средний ремонт* – плановый ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса объекта с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния объекта в объеме, предусмотренном в документации.

*Текущий ремонт* – плановый ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности объекта и состоящий в замене и/или восстановлении отдельных легкодоступных его частей.

*Регламентированный ремонт* – плановый ремонт, выполняемый независимо от технического состояния объекта в момент начала ремонта в объеме и с периодичностью, установленными в документации.

*Нерегламентированный ремонт* – ремонт, при котором кроме предусмотренных регламентом операций, установленных в документации, выполняются дополнительные ремонтные работы, необходимые для восстановления работоспособности объекта.

*Неплановый ремонт* – ремонт, постановка на который осуществляется без предварительного назначения.

*Ремонт по техническому состоянию* – ремонт, при котором контроль технического состояния выполняется с периодичностью, установленной в документации, а объем и момент начала ремонта определяются техническим состоянием объекта.

*Метод технического обслуживания (ремонта) эксплуатационным персоналом* – метод выполнения технического обслуживания (ремонта) персоналом, обслуживающим данный объект при его использовании по назначению.

*Метод технического обслуживания (ремонта) специализированным персоналом* – метод выполнения технического обслуживания (ремонта) персоналом, специализированным на выполнении операций технического обслуживания (ремонта).

*Фирменный метод технического обслуживания (ремонта)* – метод выполнения технического обслуживания (ремонта) предприятием-изготовителем или лицензированным ремонтным предприятием.

*Стендовый метод ремонта* – метод ремонта, при котором оборудование, подлежащее ремонту, переносится на специально оборудованное место (стенд), а на его место устанавливается аналогичное, ранее отремонтированное оборудование.

Перечисленные виды ремонта и технического обслуживания машины и ее агрегатов, их объем и периодичность устанавливает разработчик машины. Каждое изделие имеет свой цикл и периодичность мероприятий по ремонту и обслуживанию, определяемые конструкторской организацией-

разработчиком. Этот цикл ограничен капитальными ремонтами и включает в себя средние, текущие виды ремонта, осмотр и другие виды работ.

Самым трудоемким является капитальный ремонт. В течение всей эксплуатации машины предусматривается несколько циклов, ограниченных капитальными ремонтами и включающих в себя другие виды ремонта. Например, в ремонтном цикле газотурбинной силовой установки предусматривается между двумя капитальными ремонтами проведение трех текущих, одного среднего и двух мелких ремонтов. А если взять, к примеру, металлорежущий станок, то между двумя капитальными ремонтами проводятся четыре мелких ремонта, средний ремонт с периодическими осмотрами.

Самым сложным и затратным этапом ремонта является замена деталей, утративших свои функциональные свойства в результате изнашивания, на другие детали, соответствующие требованиям эксплуатации. Замена происходит на детали, вновь изготовленные (с начальными или с ремонтными размерами) или на восстановленные (с частично сниженными свойствами, с сохранением начальных свойств или даже с повышенными свойствами). В некоторых случаях остаются детали, частично отработавшие ресурс, но сохранившие свои функциональные свойства.

Решение о необходимости проведения ремонта принимают с учетом технического состояния и особенностей конструкции изделия [3].

*Восстанавливаемый объект* – в технической документации (ТД) предусмотрено восстановление работоспособного состояния объекта в рассматриваемой ситуации.

*Невосстанавливаемый объект* – в ТД не предусмотрено восстановление работоспособности объекта.

*Ремонтируемый объект* – в ТД предусмотрено проведение ремонта объекта.

*Неремонтируемый объект* – в ТД не предусмотрено проведение ремонта объекта.

*Исправное состояние объекта* – объект соответствует всем требованиям, установленным ТД.

*Неисправное состояние объекта* – объект не соответствует хотя бы одному из требований, установленных ТД.

*Работоспособное состояние объекта* – способность объекта выполнять заданные функции в пределах всех параметров, установленных ТД.

*Неработоспособное состояние объекта* – несоответствие значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность объекта выполнять заданные функции, требованиям ТД.

*Предельное состояние объекта* – такое состояние объекта, при котором дальнейшее применение его по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Одним из видов деталей, применяющихся при ремонте, являются детали, прошедшие восстановление.

*Восстановление деталей* – технологический процесс, предусматривающий восстановление функциональных свойств детали, таких как геометрические характеристики, физико-механические свойства поверхностей и поверхностного слоя. Сюда относятся технологические процессы, в которых используется наращивание деталей наплавкой, гальваническим способом, обработкой давлением, постановкой колец, резьбовых вставок и др.

В некоторых случаях допускается снижение первоначальных характеристик восстанавливаемой детали, например при уменьшении значений повторного ресурса изделий или при переводе условий эксплуатации на заниженные режимы.

Самыми эффективными методами восстановления являются те методы, с помощью которых можно не только достичь первоначальных характеристик восстанавливаемой детали и ее материала, но и повысить их.

Для повышения характеристик могут применяться следующие технологические методы:

– модификация материала поверхностного слоя (ударно-акустическая обработка с внедрением твердой смазки, ионная имплантация, магнетронное распыление и т. д.);

– методы упрочнения деталей (упрочняющее накатывание и раскатывание, центробежная обработка, дробеструйное упрочнение, ультразвуковое упрочнение и т. д.);

– современные способы обработки поверхностей деталей, обеспечивающие более высокие требования точности, шероховатости, заданного рельефа и других характеристик поверхностей [4].

*Производственным процессом* называется совокупность всех действий людей и орудий производства, направленных на превращение неисправной машины в работоспособную, отвечающую техническим требованиям.

Производственный процесс включает в себя не только разборку, сборку машины и восстановление деталей, но также контроль качества, транспортировку и хранение продукции, подачу электроэнергии, сжатого воздуха, подвод воды и другие элементы деятельности предприятия [5].

*Технологический процесс* – часть производственного процесса, содержащая действия по изменению технического состояния ремонтируемых машин и оборудования. Отличие производственного процесса от технологического заключается в наличии вспомогательных операций, таких как подготовка средств производства и организация рабочего места, транспортировка объектов ремонта и обеспечение необходимыми материалами, хранение запасных частей и материалов и т. д. Технологический процесс, в свою очередь, подразделяется на ряд технологических операций и переходов.

*Технологическая операция* – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, т. е. на части производственной площади цеха, где размещены исполнители работы и технологическое оборудование.

Например, технологический процесс ремонта шатунно-поршневого комплекта состоит из операций разборки, контроля, ремонта или восстановления отдельных деталей, комплектации, сборки и контроля собранного комплекта.

*Технологический переход* – законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и обрабатываемых поверхностей.

Во время эксплуатации изделия предусматривается проведение нескольких капитальных ремонтов. С увеличением их числа повышается себестоимость каждого из них (в связи с расходами на замену и восстановление деталей), а также снижается ресурс (из-за большого числа восстановленных деталей, а также из-за многочисленных разборок и сборок узлов и агрегатов) [1].

## **1.2. РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ**

*Ремонтная технологичность изделия* – это совокупность свойств изделия, определяющая приспособленность его конструкции к выполнению на нем ремонтных операций [6].

*Ремонтпригодность* – это потребность изделия в определенных операциях, связанных с необходимостью обеспечения требований надежности, а также приспособленностью изделия к выполнению этих операций. Ремонтпригодность проявляется в тех случаях, когда необходимо поддержание исправного и работоспособного состояния изделия.

Ремонтная технологичность характеризуется такими показателями, как:

- продолжительность ремонта и технического обслуживания;
- трудоемкость ремонта и технического обслуживания.

Ремонтная технологичность изделия определяется свойствами конструкции изделия, которые характеризуют доступность, легкоъемность, взаимозаменяемость, преемственность (по отношению к аналогичным изделиям), контролепригодность и восстанавливаемость деталей и частей изделия [6].

Одним из показателей трудоемкости ремонта является коэффициент взаимозаменяемости отдельных частей изделия:

$$K_B = \frac{S_M}{S_M + S_{II}}, \quad (1)$$

где  $S_M$  – трудоемкость монтажных операций по замене составных частей изделий;  $S_{II}$  – трудоемкость регулировочных и пригоночных работ.

Технологичность изделий при восстановлении деталей и сборочных единиц оценивают такими факторами, как:

- приспособленность конфигурации изделия, требований поверхности и поверхностного слоя к восстановлению;
- наличие или возможность восстановления технологических баз для последующего выполнения восстановительных процессов (например, центровые отверстия);
- наличие или возможность подготовки демонтажных поверхностей, обеспечивающих отсутствие повреждений при демонтаже и сборке.

Легкосъемность, взаимозаменяемость и технологическая преемственность в полной мере проявляются при проведении текущего и капитального ремонта, в то время как восстанавливаемость – только при капитальном или среднем ремонте, проводимом методом восстановления.

### **1.3. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА МАШИН**

Как уже было отмечено ранее, капитальный ремонт является самым трудоемким видом ремонта, поскольку включает в себя полную разборку узлов и агрегатов на детали, дефектацию деталей по их техническому состоянию, восстановление или замену деталей, сборку узлов и агрегатов, обкатку и испытание (рис. 1).

Капитальный ремонт выполняют предприятия, эксплуатирующие изделие, специализированные ремонтные предприятия, а также предприятия-изготовители. Такие предприятия имеют всю необходимую документацию для выполнения технологических процессов на всех этапах ремонта. Основная документация, используемая при капитальном ремонте машин: маршрутная карта технологических процессов соответствующих этапов ремонта и ремонтных технических условий, производственные инструкции, дефектные ведомости.

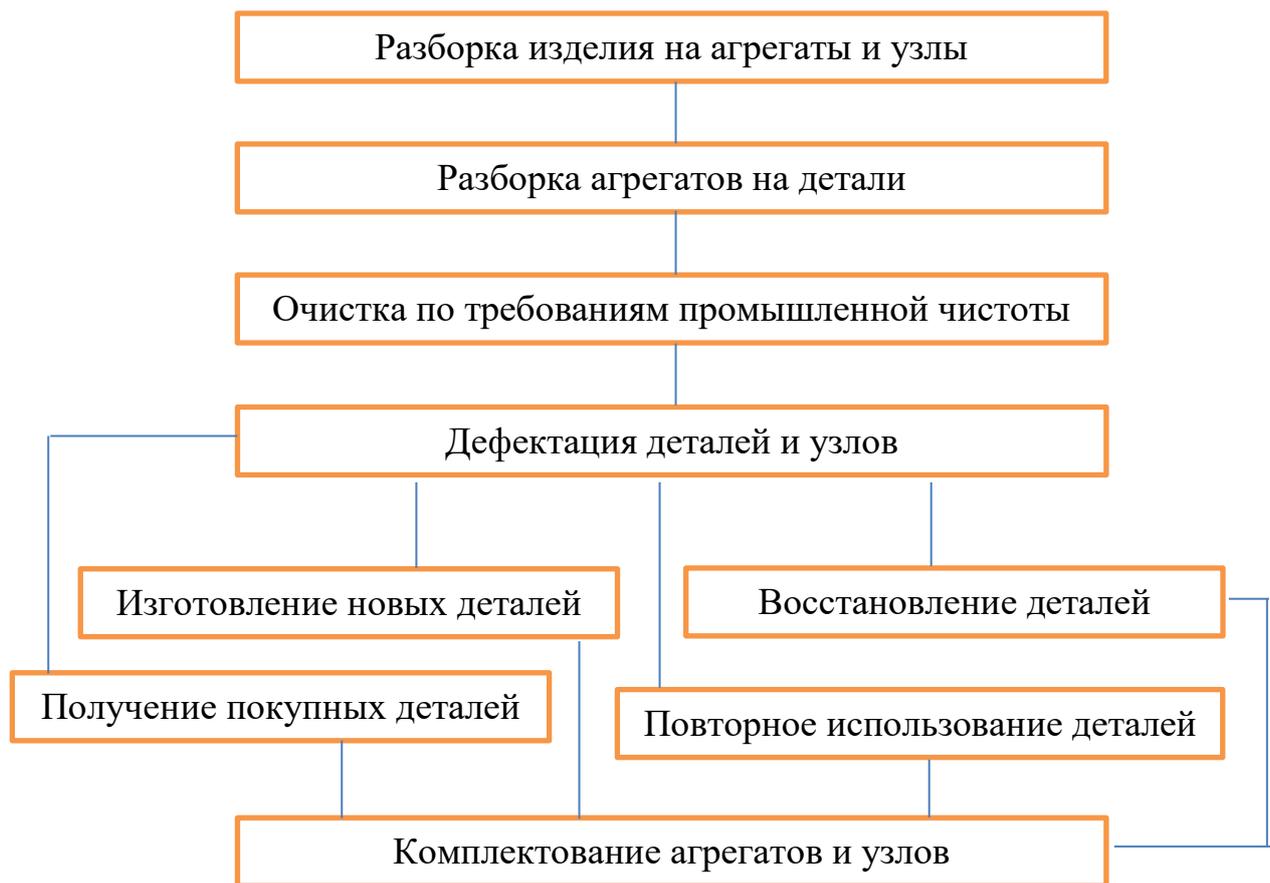


Рис. 1. Этапы капитального ремонта машин

В процессе выполнения ремонта одним из основных этапов является дефектация деталей и узлов после разборки изделия.

При комплектовании узлов и агрегатов для последующей сборки используют следующие группы деталей:

- изготовленные ремонтирующим предприятием;

- покупные, полученные по внешней поставке;
- повторно использованные;
- восстановленные по соответствующим технологиям.

Ремонтирующее предприятие выполняет гарантийные обязательства перед предприятием-заказчиком по качеству выполненного ремонта.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое изнашивание? Какие виды изнашивания существуют?
2. Что такое система технического обслуживания и ремонта?
3. В чем отличие текущего ремонта от среднего и капитального?
4. Что представляет собой восстановление деталей?
5. Какие технологические методы могут применяться для восстановления характеристик деталей?
6. Какими показателями характеризуется ремонтная технологичность?
7. Перечислите основные этапы капитального ремонта машин.

## 2. ОЧИСТКА ИЗДЕЛИЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

### 2.1. ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И СПОСОБЫ ОЧИСТКИ

Очистка поверхностей деталей от загрязнений является неотъемлемой частью технологии восстановления и ремонта.

Согласно [7] к объектам ремонта предъявляются требования промышленной чистоты на следующих этапах:

- на этапе технического ремонта и восстановления;
- выбора расходных материалов (в т. ч. вода и воздух, применяемые в технологиях);
- технического контроля изделий;
- использования производственных помещений.

*Промышленная чистота* – технологическое понятие, предусматривающее ограничение такого уровня загрязнения в чувствительных к загрязнениям деталях изделий, который бы обеспечивал заданные выходные характеристики изделий и их заданную эксплуатационную надежность.

*Обеспечение промышленной чистоты в технологических системах* предполагает комплекс технических мероприятий по ликвидации источников загрязнений и удалению загрязнений на разных этапах технологического воздействия на элементы изделия, а также при транспортировании и хранении.

*Класс чистоты* рабочих поверхностей деталей и узлов, рабочих и технологических жидкостей и газов, а также производственных помещений является критерием допустимого количества загрязнений указанных объектов.

Все загрязнения можно разделить на две группы – эксплуатационные и технологические. Эксплуатационные загрязнения возникают в процессе эксплуатации изделия. Например, при эксплуатации автомобиля к таким загрязнениям можно отнести: дорожно-почвенные отложения, масляно-

грязевые отложения, отслоившиеся лакокрасочные покрытия, продукты коррозии, накипь, нагар, асфальтосмолистые отложения [5].

Технологические загрязнения возникают непосредственно при проведении ремонта и восстановления изделий. Например, при изготовлении деталей, узлов, сборке изделия на рабочих поверхностях деталей возникают загрязнения в виде частиц изнашивания лезвийных и абразивных инструментов, отходов обрабатываемых материалов в виде стружки, пыли и шлама, остатков притирочных паст, остатков смазочно-охлаждающей жидкости, частиц разрушенных заусенцев, забоин и царапин на деталях, продуктов загрязнений сжатого воздуха и других технологических газов.

При обработке и испытании изделий могут проявляться загрязнения в виде продуктов приработки рабочих поверхностей, остатков консервации, продуктов загрязнений консервирующих материалов. При обслуживании, восстановлении и ремонте изделий присутствуют такие виды загрязнений, как продукты изнашивания рабочих поверхностей, продукты загрязнения и коррозии от контакта с окружающей средой, частицы отслаивания и шелушения защитных покрытий, продукты отложения от контакта с рабочими жидкостями и газами при эксплуатации [7].

При выборе технологии очистки необходимо учитывать вид и характер загрязнений. Твердые загрязнения (стружка, производственная пыль, шлак, окалина) химически не связаны с поверхностью и удаляются вместе с масляной пленкой. Исключение – стружка в каналах, окисные пленки, частицы абразива, внедренные в поверхность детали. Для их удаления необходимо сильное направленное гидродинамическое воздействие или длительное ультразвуковое воздействие.

В зависимости от характера остаточных загрязнений различают три вида очистки – макроочистку, микроочистку и активационную очистку. Макроочистка применяется для удаления наиболее крупных загрязнений, микроочистка – для удаления загрязнений из микронеровностей, активационная очистка представляет собой травление в различных растворах щелочей и кислот.

Выбор способа очистки деталей зависит от вида загрязнений, конструкции материала деталей, объема производства, специализации и других факторов. При выборе способа очистки необходимо исходить из возможности получения наибольшей экономической эффективности и необходимого качества очистки.

Технологические процессы обеспечения заданной чистоты при ремонте изделий требуют использования широкого спектра воздействий на продукты загрязнений в соответствии с факторами их удержания на очищаемых поверхностях или в средах. Основные характерные этапы обеспечения чистоты: предварительная, межоперационная, окончательная очистка и операции, связанные с последующим консервированием, перемещением и хранением изделий.

На этапе предварительной очистки используются такие технологические операции, как механическая очистка заготовок, термическое удаление загрязнений, химическая очистка, очистка комбинированным воздействием. С помощью данных операций производится удаление остатков литейных формовочных смесей, ковочной окалины, остатков облоя, заусенцев и других загрязнений на стадии заготовительного производства.

На этапе межоперационной очистки применяются операции промывки в растворах и технологических средах, очистки электрохимическим и электрофизическим воздействием, обезжиривания, очистки комбинированным воздействием.

На этапе окончательной очистки производится промывка в растворах с повышенными требованиями чистоты, удаление остатков моющих средств и сушка. Такие операции применяются для прецизионных деталей и узлов.

Выполнение операций консервации, укладки и транспортировки, а также упаковки и герметизации предшествует сборке изделия или транспортированию деталей и узлов на склад готовых деталей.

В таблице 1 представлены группы методов очистки.

## Группы методов очистки

Группа методов	Методы очистки
Промывка и очистка с погружением в ванну без движения моющих средств	Выдержка в ванне. Очистка с помощью иглы. Очистка с помощью щеток. Промывка с качанием. Промывка со встряхиванием. Промывка окунанием. Промывка с движением детали. Промывка погружением с выдержкой в парах моющих средств. Промывка центрифугированием
Промывка и очистка с погружением в ванну с движением моющих средств	Промывка в проточных моющих средствах. Промывка с барботажем моющих средств. Промывка циркуляцией моющих средств. Промывка в ультразвуковой ванне
Струйная наружная промывка	Промывка с душированием. Струйная промывка
Промывка с прокачкой внутренних каналов	Струйная прокачка. Прокачка пульсирующим потоком. Прокачка двухфазным потоком. Промывка с использованием гидроерша. Промывка с использованием гидроиглы. Прокачка по изменяющейся схеме
Очистка сжатым воздухом	Обдувка сжатым воздухом. Очистка с использованием пневмоерша. Очистка с использованием пневмоиглы
Сухая очистка с механическим воздействием на загрязнения	Очистка на вибростенде

В ряде случаев промывку проводят без погружения деталей в моющие средства с помощью струйного удаления загрязнений. При таком способе подача моющих средств осуществляется с помощью струи или душа. Та-

кой способ применим для обработки преимущественно наружных поверхностей.

При наличии в деталях глубоких внутренних полостей, отверстий или каналов циркуляцию моющих средств осуществляют только по поверхностям, требующим промывки. Для обеспечения доступа в труднодоступные участки детали используют пневмо- или гидроерш.

При наличии многоканальных систем деталей или трубопроводов прокачку моющих средств осуществляют по задаваемой изменяющейся схеме.

Очистка сжатым воздухом имеет меньшую эффективность по сравнению с очисткой с помощью моющих средств. Однако для очистки труднодоступных мест используют пневмоиглу или пневмоерш.

В некоторых случаях применяется сухая очистка с использованием вибростенда для предварительной очистки поверхностей.

Скорость потока моющей жидкости назначают с учетом шероховатости поверхности детали (табл. 2).

*Таблица 2*

**Скорость потока моющей жидкости**

Шероховатость поверхностей каналов по ГОСТ 25142–82	Скорость потока моющей жидкости, м/с
Rz 20	22–25
Rz 80	22–25
Ra 2,5	20–22
Ra 0,16	20–22
Отверстия с каналами	30–32
Отверстия с резьбой	36–38

Выбор скорости потока моющей жидкости проводят с учетом начального состояния поверхностей, подлежащих очистке. При этом наличие загрязнений соответствует повышению шероховатости поверхностей, вследствие чего повышается скорость течения жидкости.

## 2.2. ВЫБОР СОСТАВА МОЮЩИХ СРЕДСТВ

Выбор состава моющих средств является одним из этапов успешного решения инженерных задач очистки поверхностей деталей. В источнике [7] приведены составы моющих средств для удаления различных видов загрязнений. Для удаления пригаров, ковочной корки, остатков формовочных смесей, сварочных шлаков, оплавленных флюсов наиболее эффективными являются моющие средства на основе щелочных и кислотных растворов. Накипь, естественные окисные пленки, окалину на сплавах легких металлов, медных и черных сплавах, окисные покрытия на черных сплавах, пленку анодирования на алюминиевых сплавах, карбонаты и основные соли на цветных металлах и сплавах, сульфиды на черных и цветных сплавах удаляют с помощью моющих средств на основе кислотных растворов. Щелочные растворы также применяются для удаления силикатных стекол, глазури, эмали [7].

В зависимости от характера загрязнений выбираются моющие средства. При этом иногда целесообразно перед процессом мойки или непосредственно в процессе очистки провести механическое разрушение или перемещение загрязнения механическими устройствами, пульсацией жидкости, наложением колебаний в процессе очистки и другими приемами.

Во всех процессах очистки часто применяются синтетические моющие средства (СМС), основу которых составляют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Растворы СМС по моющей способности превосходят растворы щелочных смесей. Для струйных и погружных способов очистки применяются следующие СМС:

1. **Лабомид-101** (50 % кальцинированной соды, 30 % триполифосфата натрия, 16,5 % метасиликата натрия, 3,5 % синтанола ДС-10);

2. **Лабомид-203** (50 % кальцинированной соды, 30 % триполифосфата натрия, 10 % метасиликата натрия, 8 % синтанола ДС-10, 2 % алкилсульфатов);

3. **МС-6** (40 % кальцинированной соды, 25 % триполифосфата натрия, 29 % метасиликата натрия, 6 % синтанола ДС-10);

4. **МС-8** (38 % кальцинированной соды, 25 % триполифосфата натрия, 29 % метасиликата натрия, 8 % синтамида-5);

5. **МС-15** (42–44 % кальцинированной соды, 22 % триполифосфата натрия, 28 % метасиликата натрия, 6–8 % оксифоса-Б);

6. **МС-16** (40 % кальцинированной соды, 26 % триполифосфата натрия, 28 % метасиликата натрия, 4 % синтамида-510);

7. **Темп-100** (40,5 % кальцинированной соды, 20 % тринатрийфосфата, 15 % триполифосфата натрия, 20 % метасиликата натрия, 2,8 % карбамида, 1,5 % синтанола ДС-10, 0,5 % оксифоса КД-6).

Средства «Лабомид-101» и «МС-6» предназначены для струйных методов очистки, а «Лабомид-203» и «МС-8» – для погружных методов.

Достоинствами представленных синтетических моющих средств является их безопасность, так как они нетоксичны, негорючи и хорошо растворяются в воде. Данные средства могут применяться для очистки черных, цветных и легких металлов и сплавов. Поскольку в состав подобных средств входят силикаты, то после очистки не возникает необходимости в дополнительной антикоррозионной обработке узлов и агрегатов.

В ремонтном производстве используется водный раствор едкого натра, который не может применяться для очистки и мойки деталей из алюминия и его сплавов. Алюминий реагирует со щелочами с образованием растворимой соли (алюмината натрия), поэтому для обезжиривания деталей из алюминия и алюминиевых сплавов используют растворы на основе кальцинированной соды (10–15 г/л) с добавлением тринатрийфосфата (10–25 г/л) и жидкого стекла (10–15 г/л).

Для очистки деталей от загрязнений в ремонтном производстве широко применяются органические (перхлорэтилен, трихлор-18 этилен, ксилол, ацетон, дихлорэтан, дизельное топливо, керосин тракторный, бензин и уайт-спирит) и неорганические (вода) жидкости. Преимуществами органических растворителей являются их высокая производительность, возможность удаления загрязнений с деталей сложной формы, возможность

многократного использования. Недостатками являются их дороговизна, пожароопасность, вредное воздействие на организм человека. Органические средства используют для промывки, например, картера двигателя, коробки передач и ведущих мостов.

Находят применение и растворяющие эмульгирующие средства (РЭС), состоящие из базового растворителя, соразтворителя, ПАВ и воды. Очистка с помощью РЭС многоэтапная: сначала детали погружают в РЭС для растворения загрязнений, затем они погружаются в СМС для эмульгирования растворителя и оставшихся загрязнений, при этом эмульгированный растворитель и загрязнения переходят в щелочной раствор, чем обеспечивается необходимое качество очистки. РЭС могут применяться в случае, когда нет возможности поднять температуру раствора выше 60 °С. Согласно проведенным исследованиям применение РЭС в погружных машинах в 5–15 раз эффективнее, чем СМС. Кроме того, при этом расходуется в 3–5 раз меньше тепловой энергии.

### **2.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ**

Подлежащие ремонту детали и узлы машин и агрегатов подвергают наружной мойке. Для наружной мойки машин и агрегатов в практике ремонтного производства наиболее широкое распространение получил гидродинамический метод струйной очистки под высоким давлением. Он состоит в механическом удалении слоя загрязнений за счет разрушения адгезионных связей с очищаемой поверхностью под динамическим действием движущейся жидкости (воды, моющего раствора). Для наружной мойки часто применяется мониторная моечная машина (рис. 2).

В гидравлической мониторной моечной машине вода, поступающая к насосу 6 через фильтр 9, через перепускной клапан 11, напорный шланг высокого давления 1, пистолет 2 и насадку 5 подается на очищаемую поверхность. Давление жидкости на выходе можно изменять регулятором 3 с контролем по манометру 4. При давлении выше допустимого открыва-

ется предохранительный клапан 10, через который вода вновь подается на вход насоса. Во время работы машины в автоматическом режиме активизацией ручки пистолета 2 обеспечивается перетекание воды через смеситель 15, и моечная машина включается. Если ручка не активизируется, то вода циркулирует через перепускной клапан 11, и машина останавливается. Моющее средство подается в систему автоматически через инжектор 14 по шлангу из отдельной емкости. Для интенсификации процесса очистки используются различные насадки.

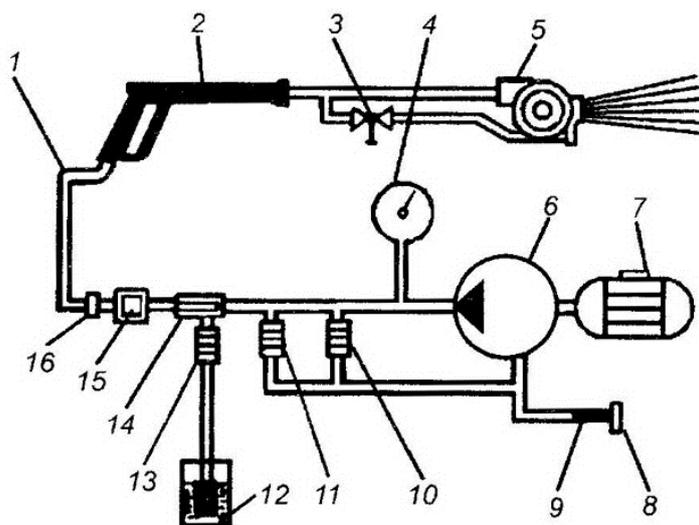


Рис. 2. Гидравлическая схема мониторной моечной машины:

1 – шланг высокого давления; 2 – пистолет; 3 – рукоятка регулятора давления; 4 – манометр; 5 – насадка; 6 – насос; 7 – электродвигатель; 8 – разъем для подсоединения шланга подачи воды; 9 – фильтр; 10 – предохранительный клапан; 11 – перепускной клапан; 12 – емкость для моющего средства; 13 – клапан подачи моющего средства; 14 – инжектор; 15 – смеситель; 16 – перепускной клапан

В однокамерной моечной машине (рис. 3) подлежащие мойке детали подаются в камеру 3 на тележке 12. Мойка детали осуществляется со всех сторон: снизу устройством 13, а с остальных сторон – вращающимся устройством 2. Подогретый в емкости 8 раствор или воду с помощью насоса 9 через устройства 2 и 13 подают в виде множества струй на очищаемые детали. Загрязненный раствор стекает в приямок 11, а из него после очистки перекачивается насосом 10 в емкость 8.

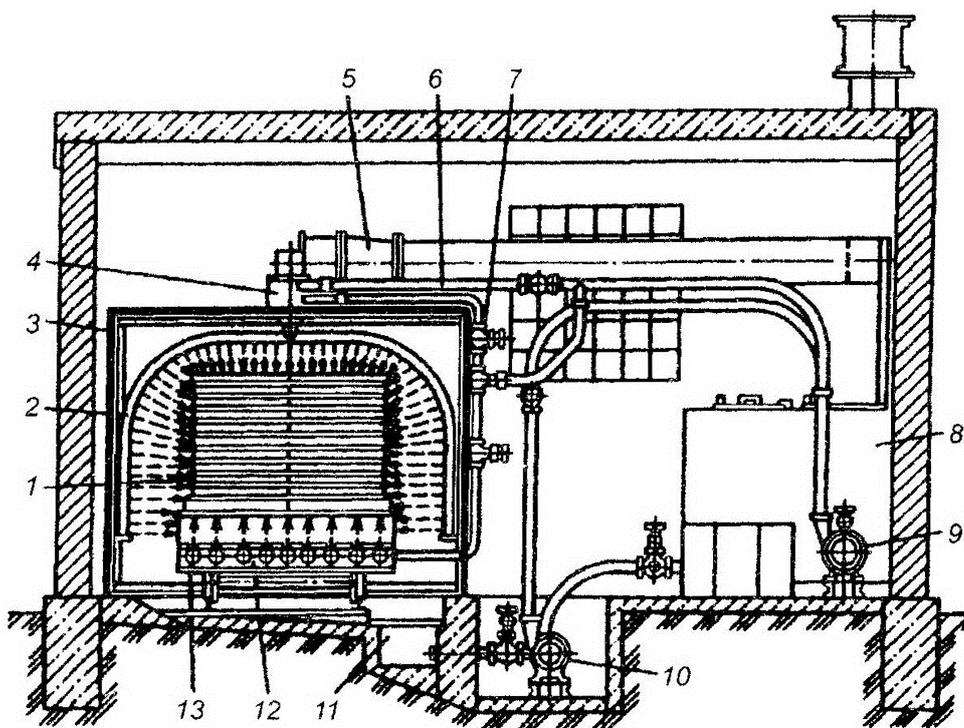


Рис. 3. Схема однокамерной моечной машины:

- 1 – детали; 2 – верхнее омывающее устройство; 3 – камера; 4 – привод вращения омывающего устройства; 5 – вентиляционные трубы; 6, 7 – трубопроводы; 8 – емкость для подогрева раствора; 9, 10 – насосы; 11 – приямок; 12 – тележка; 13 – нижнее омывающее устройство

Двухкамерные моечные машины (рис. 4) относятся к конвейерным и отличаются от однокамерных тем, что детали обмывают моющим раствором, а затем водой последовательно в двух камерах 2 и 6. Благодаря этому производительность конвейерных машин выше, чем камерных, даже при одинаковой установленной мощности. Например, производительность конвейерной машины ОМ-15433 более чем в 5 раз выше производительности камерной машины ОМ-46Ю при одинаковой установленной мощности, равной 7 кВт.

Тупиковые моечные машины изготавливают в виде простых ванн, ванн с подвижной платформой и роторных машин. При небольшом объеме работ применяют передвижные и стационарные (рис. 5) простые моечные ванны. Возможности интенсификации процесса очистки в таких ваннах ограничены допускаемыми температурой и концентрацией раствора.

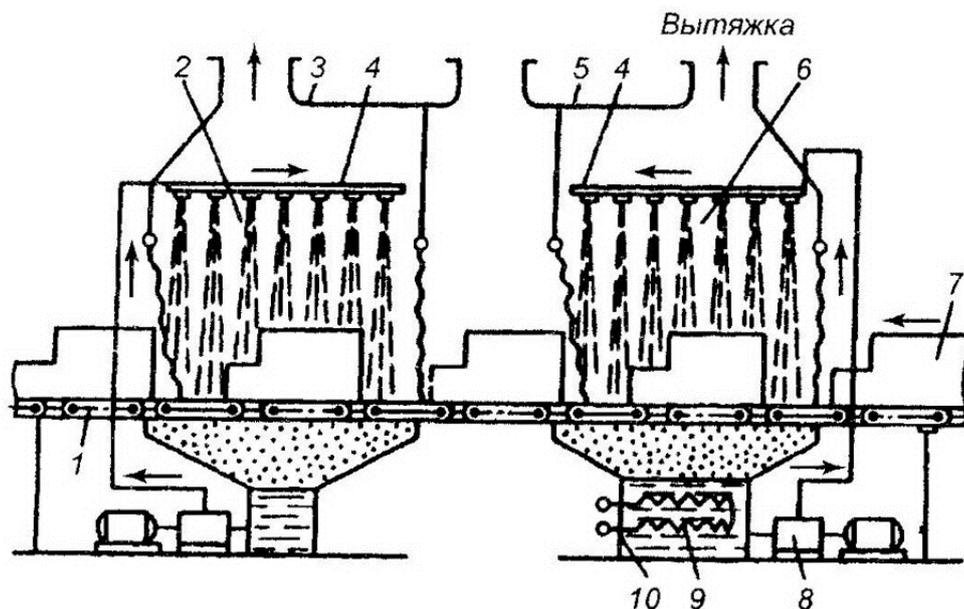


Рис. 4. Схема двухкамерной моечной машины:

1 – цепной конвейер; 2(6) – первая (вторая) камера; 3, 5 – вентиляционные устройства; 4 – распределитель; 7 – поддоны с деталями; 8 – насос; 9 – нагревательный элемент; 10 – бак

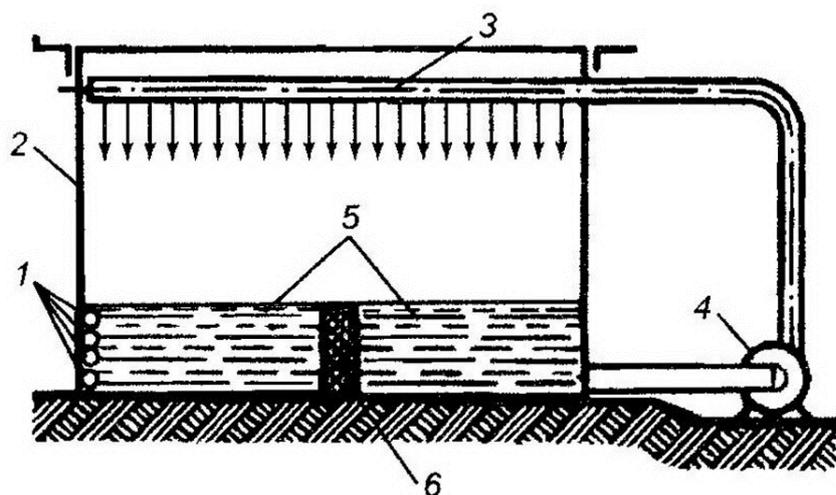


Рис. 5. Схема стационарной моечной ванны:

1 – нагревательные элементы; 2 – бак; 3 – трубопровод; 4 – насос; 5 – дно; 6 – фильтр

Более совершенными являются ванны с подвижной (качающейся или вибрирующей) платформой 2 (рис. 6), в кассеты 3 которых помещают очищаемые детали. Интенсификация процесса очистки кроме нагревания

моющего раствора элементами 6 обеспечивается его дополнительной циркуляцией за счет специальных лопастных винтов, перемещения деталей или создания с помощью установленного в ванне излучателя ультразвуковых колебаний.

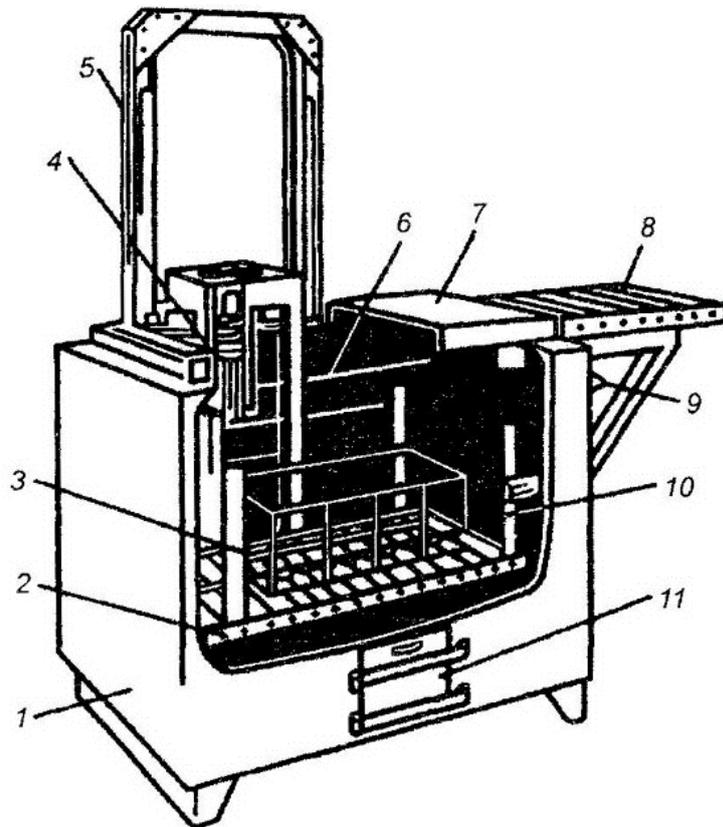


Рис. 6. Схема ванны с вибрирующей платформой:

- 1 – ванна; 2 – вибрирующая платформа; 3 – кассета для деталей;  
4 – пневмоцилиндр; 5 – стойка; 6 – нагревательные элементы; 7 – крышка ванны;  
8 – ролик; 9 – кран управления; 10 – упоры вибрирующей платформы;  
11 – люк для очистки ванны

Для активизации процесса очистки необходимо регулярное обновление раствора на очищаемых поверхностях деталей, что может быть обеспечено периодическим их погружением в раствор и извлечением из него. Этот принцип лежит в основе работы роторных моечных машин (рис. 7). Контейнеры 2 с очищаемыми деталями подвешены на роторе 3 и за каждый его оборот погружаются в ванну 4 с раствором и извлекаются из нее.

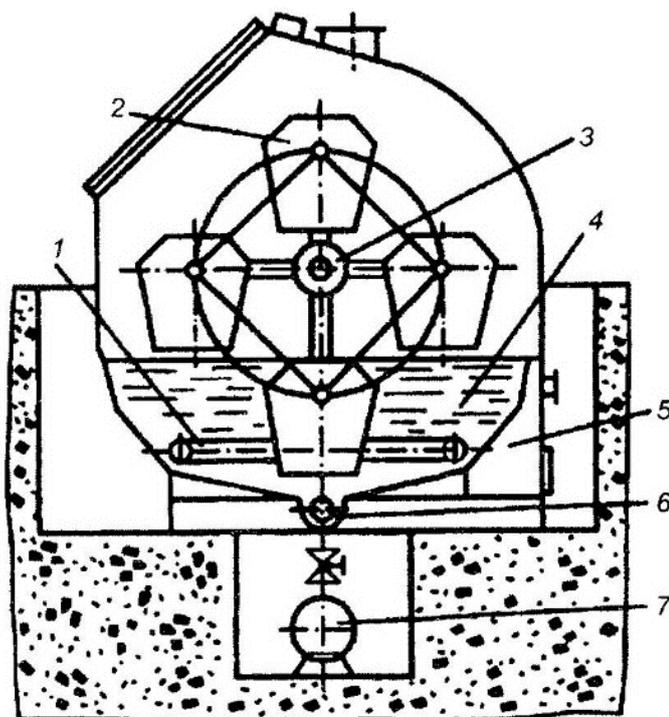


Рис. 7. Схема моечной машины роторного типа:

1 – теплообменник; 2 – контейнер для деталей; 3 – ротор; 4 – ванна;  
5 – маслосборник; 6 – винтовой транспортер; 7 – грязесборник

На рисунке 8 показана схема установки для очистки поверхностей деталей косточковой или капроновой крошкой, которую загружают в корпус 6.

Через фильтрующую сетку и отверстие в клапане 2 она поступает в бункер 9 и смеситель 1. По шлангу 3 под действием сжатого воздуха крошка через наконечник 5 направляется на очищаемую деталь, установленную на столе 4. Кранами 7 и 8 регулируется расход подаваемого сжатого воздуха и, следовательно, крошки. Качество очистки контролируется рабочим визуально через защитное стекло. Пыль от крошки и загрязнений отсасывается вентилятором 11 через циклон 10. После очистки детали промывают водой.

Установки ультразвукового типа применяются при повышенных требованиях к качеству очистки деталей. На рисунке 9 показана схема установки для ультразвуковой очистки деталей. В ванне 1 с моющей жидкостью установлены сетчатый контейнер 3 с очищаемыми деталями и магнитострикционный излучатель 2 высокочастотных механических колебаний.

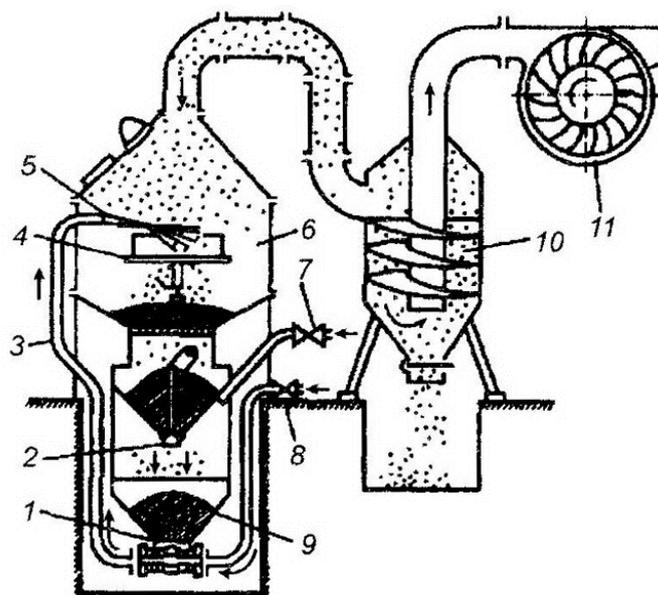


Рис. 8. Схема установки для очистки деталей косточковой крошкой:  
 1 – смеситель; 2 – клапан; 3 – шланг; 4 – поворотный стол; 5 – наконечник;  
 6 – корпус; 7 и 8 – краны; 9 – бункер; 10 – циклон; 11 – вентилятор

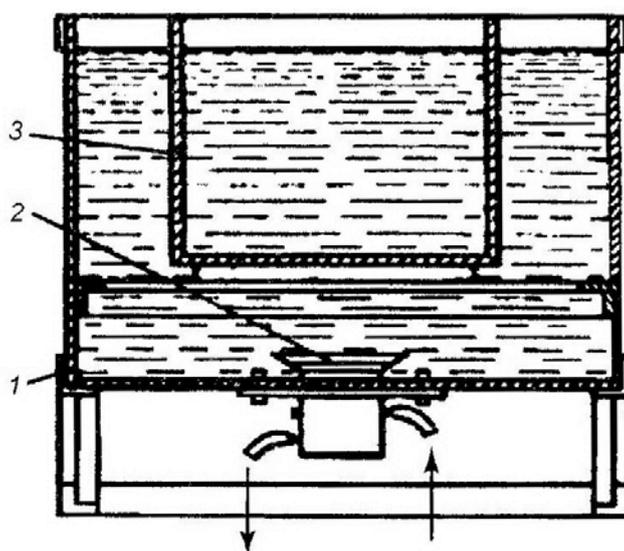


Рис. 9. Схема установки для ультразвуковой очистки:  
 1 – ванна; 2 – излучатель; 3 – контейнер

Эти колебания преобразуются в колебания моющей жидкости, под действием которых происходит интенсивное разрушение загрязнений поверхностей деталей. Время их очистки при температуре раствора 50–60 °С составляет 1–5 мин. Применение ультразвука целесообразно при очистке деталей и от нагара.

На рисунке 10 показана схема установки для электрохимической очистки. В ванну 1 с электролитом, в качестве которого обычно используется щелочной раствор, на подвеске 3 погружена очищаемая деталь. Для создания турбулентности предусмотрен подвод электролита к детали в виде множества струй, создаваемых отверстиями в трубопроводе 2. Ванна оснащена также нагревательными элементами для обеспечения рабочей температуры раствора ( $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и источником электропитания для создания между корпусом ванны и деталью гальванической пары в соответствии с реализуемой схемой электрохимической очистки.

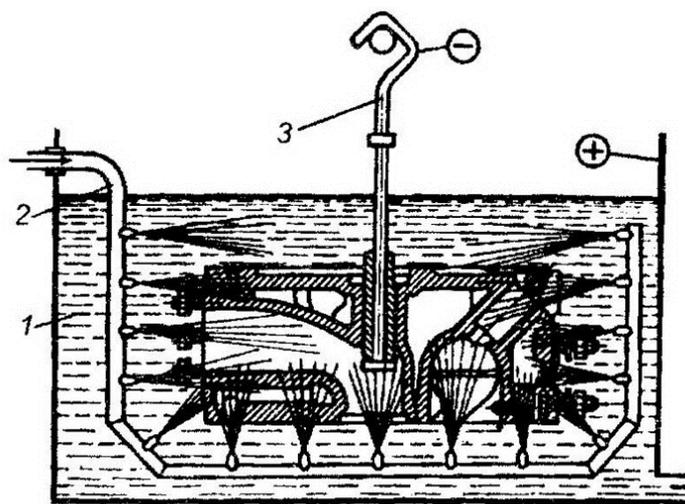


Рис. 10. Схема установки для электрохимической очистки деталей:

1 – ванна; 2 – трубопровод; 3 – подвеска для деталей

Для очистки деталей от стойких загрязнений (нагара, накипи, коррозии) могут применяться механические, химические, термохимические и комбинированные способы.

Термомеханическое удаление нагара проводится в расплаве солей, который обычно содержит 65 % едкого натра, 30 % азотнокислого и 5 % хлористого натрия. Температура расплава  $400 \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Установка для очистки (рис. 11) имеет четыре ванны. В первой ванне с щелочным расплавом происходит разрушение загрязнений. Затем детали переносят во вторую ванну с проточной водой, где из-за резкого перепада температур и обильного парообразования остатки нагара разрыхляются и растворяются.

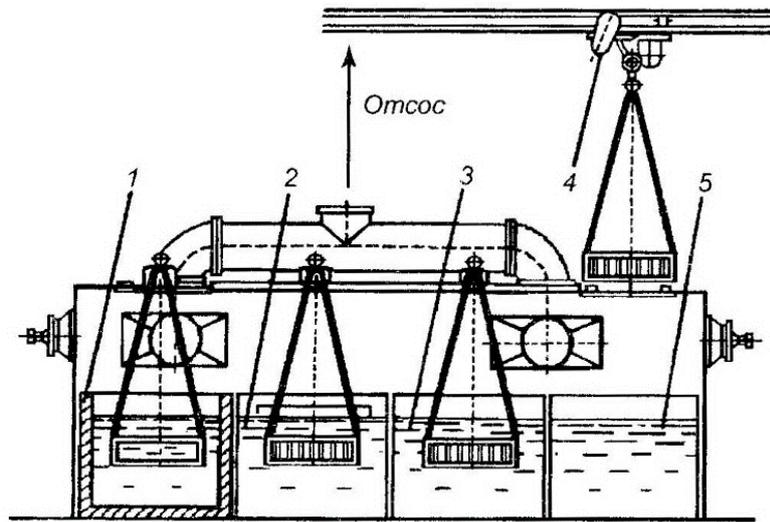


Рис. 11. Схема установки для очистки деталей от нагара и накипи в расплаве солей и щелочи:

1 – ванна с расплавом; 2 – первая промывочная ванна; 3 – ванна с кислотным раствором; 4 – электротельфер; 5 – вторая промывочная ванна

В третьей ванне с кислотным раствором производится травление. В четвертой ванне детали промывают горячей водой. Общее время обработки 20–25 мин.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение промышленной чистоты.
2. Какие загрязнения относятся к эксплуатационным, а какие – к технологическим?
3. Какие технологические операции используются на этапе предварительной очистки?
4. Какие способы очистки используются для устранения загрязнений в труднодоступных местах деталей?
5. Какие синтетические моющие средства используются для струйных и погружных методов очистки?
6. В чем суть гидродинамического метода струйной очистки под высоким давлением?
7. В чем состоит принцип работы установки для ультразвуковой очистки?

## **3. ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ**

### **3.1. НАЗНАЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Назначение и место диагностики при ремонте изделий определяются требованиями ресурса и надежности данных изделий в эксплуатации. В связи с этим выделяют следующие группы машин и агрегатов:

- 1) авиационная и ракетно-космическая техника;
- 2) наземные средства транспорта;
- 3) почвообрабатывающие, строительные и другие технологические машины, аппараты и механизмы.

К приведенным изделиям предъявляются разные требования ресурса и надежности. От этих требований будет зависеть место диагностики на этапах ремонта и восстановления, а также методы и средства проведения диагностики, объекты диагностики, доля расходов на диагностику от общих расходов на ремонт и восстановление.

Диагностика может быть использована как на стадии, предшествующей плановому ремонту, в технологиях ремонта и восстановления, так и на стадии испытаний и опытной эксплуатации изделий после ремонта (рис. 12).

Применение диагностики на стадии, предшествующей плановому ремонту, с позиции предстоящего ремонта предусматривает решение следующих задач:

- выявление дефектов на ранних стадиях их формирования;
- предотвращение катастрофических видов изнашивания и разрушения деталей;
- прогнозирование состава внеплановых ремонтно-восстановительных работ.

Диагностика в технологиях восстановления и ремонта применяется при обработке деталей, контроле применяемых расходных материалов, контроле технологического оборудования, а также при аттестации средств контроля, используемых в технологии восстановления и ремонта.

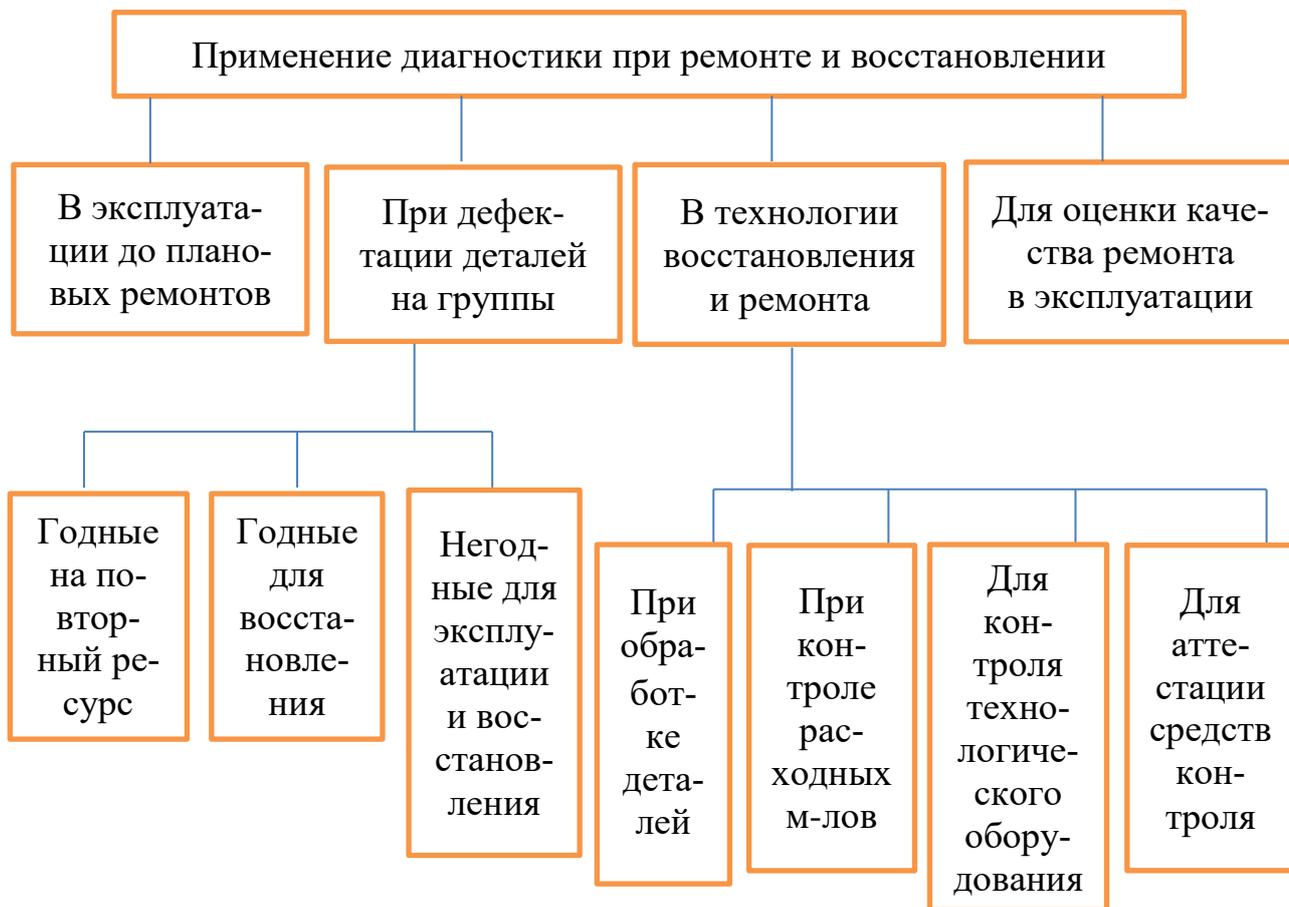


Рис. 12. Применение средств и методов диагностики

Диагностика на стадии испытаний и опытной эксплуатации изделий после ремонта предусматривает:

- определение соответствия характеристик восстановленных деталей эксплуатационным требованиям к изделию;
- выявление дефектов, связанных с восстановлением;
- сравнение фактической интенсивности изнашивания восстановленных деталей с прогнозируемой интенсивностью.

При проведении диагностики используются следующие средства измерения и контроля:

- приборы для контроля геометрических характеристик (толщина стенок, наружные и внутренние размеры, величина износа, точность формы и взаимного расположения поверхностей и т. д.);
- средства для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности (трещины, раковины, поры и т. д.);

– приборы для контроля физико-механических и физико-химических характеристик (твердость, пластичность, состояние упрочненных слоев и т. д.);

– средства диагностики для оценки состояния изделия в связи с возникновением разных дефектов (изменение физико-механических свойств изделия, нарушение сплошности, изменение формы и размеров детали в процессе эксплуатации).

Выявляемыми дефектами и отклонениями обусловлен выбор методов и приборов для их контроля. Возможности каждого прибора ограничены. В таблице 3 приведена классификация дефектов и параметров.

*Таблица 3*

### **Классификация дефектов и параметров**

Группа	Виды дефектов и параметров	Примеры дефектов и параметров
I	Нарушения сплошности	Поры, раковины, расслоения, трещины, царапины, разрывы и т. д.
II	Механические, физические, химические параметры	Твердость, напряжения, структура, химический состав, предел прочности, предел текучести, пластичность и т. д.
III	Отклонения размеров и формы объектов	Высота, диаметр, толщина стенки, глубина поверхностного слоя, толщина покрытия и др.
IV	Изменения параметров во времени и пространстве	Увеличение механических напряжений, увеличение зазора, уменьшение толщины стенки, развитие трещины и т. д.

На основе опыта определения дефектов с помощью различных видов контроля и диагностики установлено, что такие дефекты, как шлаковые включения, дефекты сварного шва, различные виды коррозии (атмосферная, поверхностная газовая, высокотемпературная межкристалльная), а также непровар, непроклей, непропай, наиболее эффективно определяются акустическим методом контроля. Оптический метод контроля может при-

меняться для определения вмятин или атмосферной коррозии. Радиационный вид контроля используется для определения неметаллических, шлаковых или флюсовых включений, а также дефектов сварного шва; магнитный метод – для выявления *волосовин* (дефект поверхности в виде нитевидных несплошностей в металле, образовавшихся при деформации имеющихся в нем неметаллических включений), для определения несоответствия толщины закаленного слоя допустимым значениям при обработке токами высокой частоты (ТВЧ). Для выявления различных видов коррозии используются также капиллярный и вихретоковый виды контроля [5].

### 3.2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ДЕФЕКТАЦИИ

Дефектация – это комплекс работ по определению состояния деталей и возможности их повторного использования. Она необходима для выявления у деталей дефектов, возникающих в результате изнашивания, коррозии, усталости материала и других процессов, а также из-за нарушений режимов эксплуатации и правил технического обслуживания.

Под дефектом понимают каждое отдельное несоответствие детали установленным требованиям [2].

Дефекты в общем случае подразделяют по ряду классификационных групп [8]:

- по возможности обнаружения – на явные и скрытые;
- по значимости – на малозначительные, значительные и критические;
- по причинам возникновения – на конструктивные, технологические и эксплуатационные;
- по возможности устранения – на устранимые и неустранимые.

*Явные* – дефекты, которые определяют визуально либо предусмотренными в нормативно-технической документации методами и средствами (микрометражным, весовым и др.).

*Скрытые* – дефекты, которые обнаруживают специальными методами контроля, получившими название методов дефектоскопии.

*Малозначительные* – дефекты, не оказывающие существенного влияния на использование деталей, их долговечность.

*Значительные* – дефекты, существенно влияющие на использование деталей, их долговечность.

*Критические* – дефекты, при наличии которых использование деталей по назначению невозможно.

*Конструктивные* – дефекты, появление которых обусловлено нарушением правил разработки изделия.

*Технологические* – дефекты, появление которых обусловлено нарушением правил (технологии) изготовления и ремонта изделия.

*Эксплуатационные* – дефекты, появление которых обусловлено эксплуатацией изделия.

*Устранимые* – дефекты, устранение которых технически возможно и экономически целесообразно.

*Неустраняемые* – дефекты, устранение которых технически невозможно или экономически нецелесообразно [2].

При дефектации выявляют: износы рабочих поверхностей в виде изменений размеров и геометрической формы детали; наличие выкрашиваний, трещин, сколов, пробоин, царапин, рисок, задиров и т. п.; остаточные деформации в виде изгиба, скручивания, коробления; изменение физико-механических свойств в результате воздействия теплоты или среды.

Основная задача дефектовочных работ – не пропустить на сборку детали, ресурс которых исчерпан или меньше планового межремонтного срока, и не выбраковать годные без ремонта детали.

На достаточно крупных и специализированных ремонтных предприятиях для выполнения работ по дефектации создаются специальные участки (рис. 13).

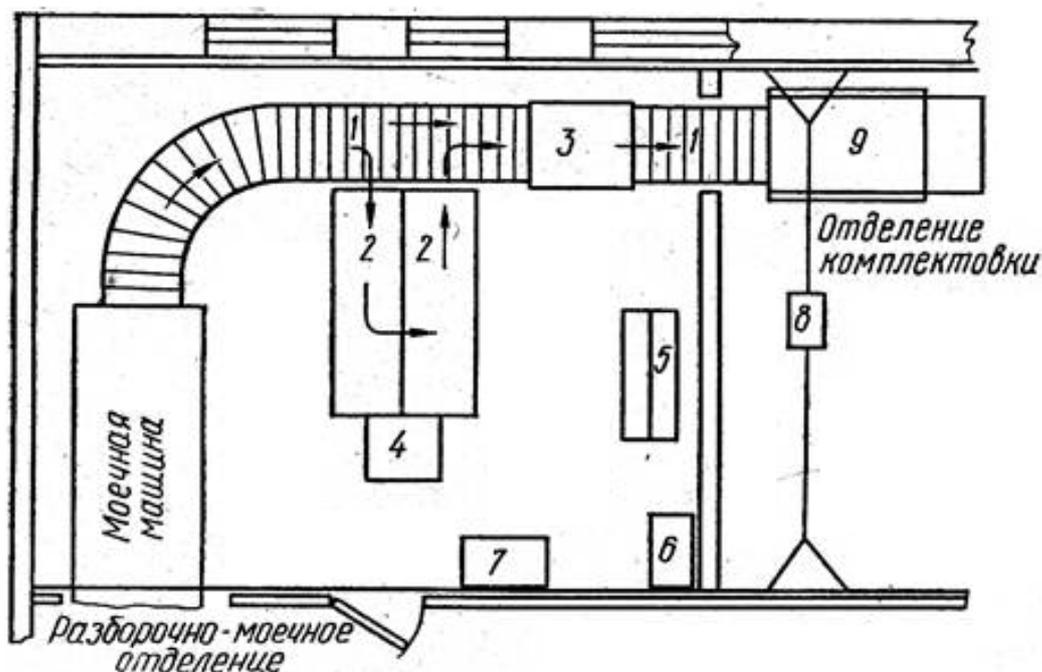


Рис. 13. План размещения оборудования в отделении дефектации деталей специализированного ремонтного предприятия:

- 1 – рольганг; 2 – стол для дефектации средних и мелких деталей;  
 3 – стол для дефектации крупных деталей; 4 – ящик для утиля; 5 – стеллаж;  
 6 – шкаф для инструмента; 7 – конторский стол; 8 – кран-балка;  
 9 – стол для комплектования узлов

Согласно рисунку 13 отделение дефектации включено в поточную линию, и детали после разборки, очистки и проведения дефектации попадают в отдел комплектровки.

В отделениях дефектации рабочие места оснащены специальным оборудованием, примерный перечень которого приведен в таблице 4.

В тех случаях, когда годовой объем ремонта недостаточен для создания поточных линий, дефектацию проводят непосредственно на местах ремонта агрегатов и восстановления деталей. При этом инструмент, необходимый для проведения дефектации, может постоянно находиться на рабочем месте.

В зависимости от величины износа, вида и характера повреждений детали сортируются на пять групп и маркируются краской соответствующих цветов: годные (цвет маркировки зеленый); годные только при со-

единении с новыми, восстановленными до нормальных размеров деталями (желтый); подлежащие ремонту в нецентрализованном порядке (мастерские хозяйств и других подразделений АПК), – белый; подлежащие ремонту в централизованном порядке (заводы, специализированные цеха), – синий; негодные – утиль (красный) [9].

Таблица 4

**Оборудование участка дефектации**

Оборудование	Тип, чертежная модель	Габаритные размеры в плане, мм
Стол для дефектации деталей	ОРГ-1468-01-090А	2400×800
Стол для дефектации металлоизделий (метизов)	70-7825-1505	1160×695
Стол монтажный металлический	ОРГ-1468-01-080 А	1200×800
Шкаф с набором универсальных инструментов	ОРГ-1661	615×750
Шкаф для материалов и измерительного инструмента	ОРГ-1468-07	860×360
Подставка для корпусных деталей	–	966×636
Контейнер для выбракованных деталей	ОРГ-1598	885×865
Контейнер для выбракованных подшипников	–	700×570
Стол для поверочной плиты	3702-08А	966×636
Центры универсальные для проверки валов	2ЖМ-00-00	1566×666
Дефектоскоп магнитный	МД-50П или ПМД-70	1000×780 620×500
Стенд для испытания на герметичность головок блоков цилиндров ДВС	КИ-1040	1080×900

Классификация методов дефектации приведена на рисунке 14.



Рис. 14. Классификация методов дефектации

Контроль деталей выполняется в соответствии с техническими условиями в определенной последовательности:

- осмотр с целью выявления явных повреждений деталей: трещин, вмятин, забоин, прогаров, повреждения покрытий и т. д.;
- простукивание для определения плотности посадки шпилек, нарушения сплошности деталей, сцепляемости металлопокрытия;
- измерение размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей;

– дефектация (для обнаружения скрытых дефектов применяют следующие методы контроля (дефектоскопии): капиллярные, люминесцентный, обнаружение подтекания газа или жидкости, магнитные и акустические).

В первую очередь проверяют те дефекты, по которым деталь чаще всего выбраковывается. Если деталь имеет такие дефекты и величина их соответствует (по техническим условиям) выбраковке, то остальные дефекты у этой детали не проверяются [9].

*Осмотр* – наиболее распространенный метод дефектации для выявления таких наружных повреждений деталей, как:

- деформации, трещины, обломы, выкрашивание, прогар;
- отложения, раковины, задиры, царапины, повреждение покрытий, коррозия;
- негерметичность и др.

Осмотр возможен как невооруженным глазом, так и с помощью оптических средств: простых и биноккулярных луп, микроскопов.

*Простукивание* – используется для определения плотности посадки шпилек, нарушения сплошности (целостности) деталей. Метод основан на изменении тона звучания детали при нанесении по ней легкого удара молотком. Звучание чистое – посадка плотная и деталь сплошная, звук глухой, дребезжащий – целостность детали нарушена.

*Опробование вручную и проверка на оцупь* позволяют определить:

- наличие зазора;
- плавность вращения;
- перемещение детали;
- свободный ход рычагов;
- эластичность резинотехнических деталей;
- наличие местного износа.

*Органолептические методы* в большинстве случаев не позволяют сделать окончательный вывод о состоянии детали, поскольку имеют субъективный характер.

Порядок *измерения размеров*, применяемый инструмент и число замеров оговариваются в технологических картах. Для выполнения измерений используются универсальные (штангенциркуль, микрометр, нутромер) и специальные (штангенрейсмас, штангензубомер) измерительные инструменты и приспособления, а также контрольные средства (калибры, шаблоны, щупы, поверочные плиты, угольники и др.).

*Капиллярные методы* основаны на способности некоторых жидкостей проникать в мельчайшие трещины.

К этим методам относятся люминесцентная и цветная дефектоскопии (метод красок), применяемые для выявления поверхностных трещин в деталях, изготовленных из магнитных и немагнитных материалов.

*Магнитная дефектоскопия* применяется для обнаружения наружных скрытых дефектов (трещин) в деталях, изготовленных из стали и серого чугуна. Метод основан на появлении магнитного поля рассеивания вокруг дефекта при прохождении магнитно-силовых линий через деталь и концентрации ферромагнитного порошка по краям дефектного участка.

*Ультразвуковая дефектоскопия* основана на способности ультразвуковых колебаний распространяться в материале на большую глубину в виде направленных пучков и отражаться от дефектного участка вследствие разного изменения акустического сопротивления среды.

На основе изучения вероятности возникновения дефектов на деталях, учета их взаимосвязи разрабатывается стратегия дефектации, дающая возможность повысить эффективность и производственную отдачу участка. По результатам дефектации возможна следующая классификация деталей:

– *годные без ремонта детали* направляют в комплекточное отделение, а *годные габаритные детали* отправляют прямо на сборку;

– *негодные детали* накапливают в контейнерах для черных и цветных металлов, которые затем направляют на склад утиля;

– *базовые детали больших размеров* (блок цилиндров, картер и т. д.), *требующие ремонта*, направляют прямо на посты восстановления;

– *детали, подлежащие восстановлению*, накапливаются на складе деталей, ожидающих ремонта, откуда они партиями направляются в производство цеха восстановления и изготовления деталей.

Результаты сортировки деталей учитываются в дефектовочных ведомостях. Дефектовочные ведомости являются исходным справочным материалом (информацией) для установления или корректирования коэффициентов годности, сменности и восстановления, а их анализ служит исходным положением для принятия решений по планированию работы предприятия, организации материально-технического снабжения и т. д.

В зависимости от количества годных, негодных и требующих восстановления деталей выделяют следующие коэффициенты:

– **коэффициент годности** ( $K_g$ ) – демонстрирует, какая часть деталей одного наименования может быть использована повторно без ремонтного воздействия при ремонте автомобилей (агрегатов);

– **коэффициент сменности** ( $K_c$ ) – демонстрирует, какая часть деталей одного наименования требует замены при ремонте автомобилей (агрегатов);

– **коэффициент восстановления** ( $K_v$ ) – характеризует часть деталей одного наименования, которые следует восстанавливать.

Обработка информации, отраженной в дефектовочных ведомостях, позволит определить маршрутные коэффициенты восстановления деталей.

Технические требования на дефектацию деталей разрабатываются заводами-изготовителями изделий или научно-исследовательскими организациями.

При выборе способов устранения дефектов опираются на богатый опыт, накопленный отечественными и зарубежными ремонтными пред-

приятными. На основе опыта эксплуатации и ремонта машин (агрегатов), а также специальных научно-исследовательских работ выявляют возможные дефекты детали.

### **3.3. ДЕФЕКТАЦИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ**

Дефектация типовых деталей и узлов проводится посредством органолептического осмотра (наличие трещин, сколов, деформаций), осмотра при помощи специальных приспособлений и приборов (выявление скрытых дефектов), а также при помощи калибров и микрометрических инструментов (для оценки точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали).

#### *Дефектация подшипников качения*

При эксплуатации машин нередко наблюдается выход из строя подшипниковых узлов, и подшипник частично или полностью утрачивает свою работоспособность. При работе такого подшипника возможен выход из строя остальных деталей и узлов, в том числе и корпуса, что значительно усложняет их восстановление.

При работе подшипника качения на поверхностях беговых дорожек и тел качения происходят различные процессы изнашивания – абразивное, окислительное, усталостное выкрашивание. Изнашивание приводит к увеличению зазоров и пластической деформации. Основной причиной выхода из строя подшипников является комбинация различных видов изнашивания (рис. 15).

При дефектации подшипников качения производят внешний осмотр, проверяют на легкость вращения и шум, у конических роликовых подшипников проверяют монтажную высоту, у радиальных подшипников – радиальный зазор. При ослаблении посадки обойм в корпусе или на валу проверяют диаметральные размеры колец.

Качество подшипников должно соответствовать ГОСТ 520–2002, а в особых случаях специальным дополнительным условиям.

Перед осмотром подшипники промывают без нагрева в бензине с добавлением 6–8 % минерального масла (веретенного). При сильном загрязнении подшипники предварительно промывают в ванне с маслом при температуре порядка 90 °С.

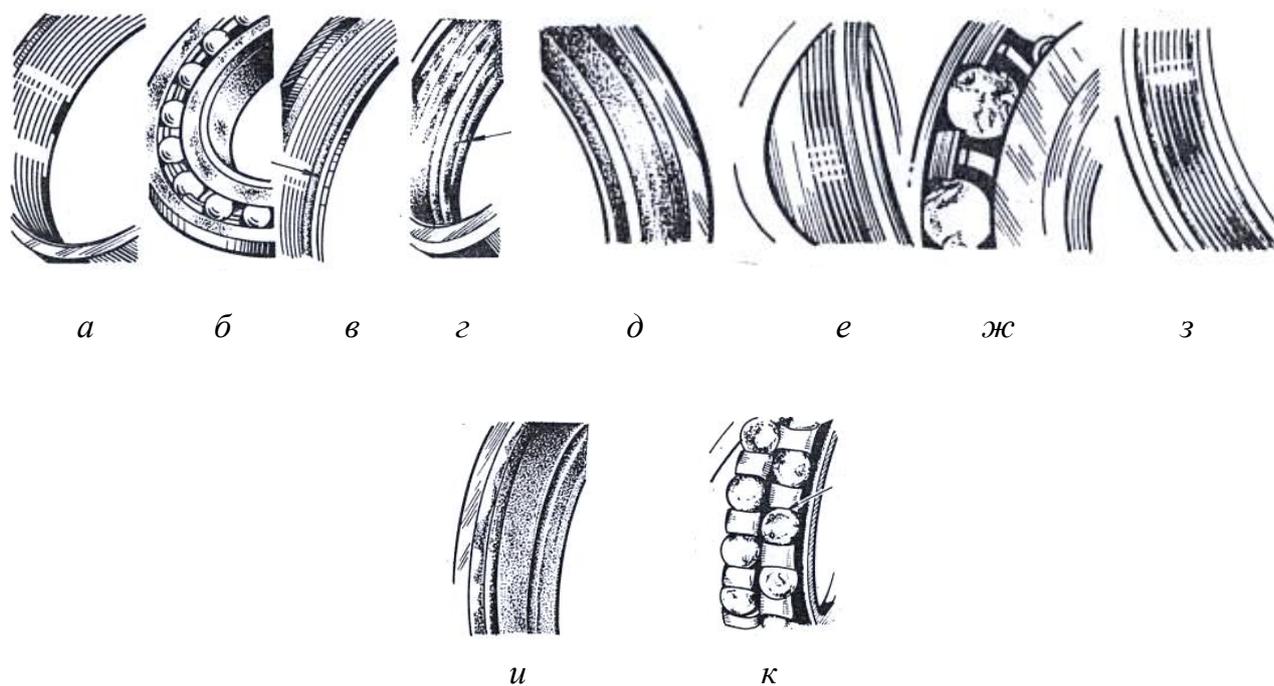


Рис. 15. Виды изнашивания подшипников качения и их деталей:

*а* – окислительное изнашивание наружного кольца конического роликоподшипника; *б* – коррозия деталей подшипников, работающих во влажной среде и при резких перепадах температур; *в*, *г* – усталостное изнашивание дорожки качения наружного кольца подшипника; *д* – коррозионно-окислительное изнашивание кольца подшипника; *е* – изнашивание беговой дорожки кольца при вибрации и перекосах; *ж* – основательно-усталостное изнашивание (питтинг) тел качения при повышенных нагрузках; *з* – абразивно-окислительное изнашивание дорожки качения кольца; *и* – сколы борта наружного кольца; *к* – изнашивание сепаратора при трении скольжения о поверхность наружного кольца

Для удаления коррозии подшипник после тщательного промывания в бензине протирают сукном, смоченным в смеси минерального масла и окиси хрома. Допускается чистка поверхности подшипников от корро-

зии (кроме тел вращения) шлифшкуркой с последующей зачисткой шлифовальной пастой.

Основными дефектами подшипников являются:

- трещины или следы выкрашивания материала на кольцах или телах качения;
- чешуйчатое отслоение металла;
- глубокие коррозионные раковины;
- глубокие риски;
- забоины;
- сквозные трещины на сепараторе;
- ослабленные заклёпки на сепараторе;
- забоины и вмятины на сепараторе, препятствующие плавному вращению подшипника;
- неравномерный износ беговых дорожек;
- выступание роликов за наружное кольцо конического подшипника (в сборе);
- заметная на глаз и ощупь ступенчатая выработка рабочей поверхности колец.

Однако допускаются риски на посадочных внутреннем и наружном диаметрах колец, забоины, не препятствующие плавному вращению подшипника, а также матовая поверхность беговых дорожек и тел качения.

Перед проверкой на лёгкость вращения подшипник погружают в керосин или дизельное топливо (возможен бензин с добавкой 10 % моторного масла), а затем снаружи протирают чистой ветошью.

Проверку осуществляют вращением наружного кольца подшипника, удерживая при этом внутреннее кольцо. Исправный подшипник должен вращаться плавно, без дребезжащих звуков и щелчков. У подшипников, признанных годными, измеряют радиальный зазор и сравнивают с техническими требованиями. У конических роликовых подшипников контролируют монтажную высоту при помощи штангенглубиномера (рис. 16).



*Рис. 16.* Контроль монтажной высоты при помощи штангенглубиномера

Диаметры колец измеряют с помощью микрометров и нутромеров в том случае, если имеется сдвиг относительно корпуса или вала или обнаружены следы чернот и прижогов.

### *Дефектация шестерен*

Как известно, шестерни при работе подвержены статическим и динамическим нагрузкам. На рабочих поверхностях зубьев возникают значительные контактные напряжения, поэтому рабочие поверхности зубьев зачастую имеют механические повреждения (трещины, изломы) и вырабатываются по толщине. Зубья, имеющие механические повреждения, не подлежат восстановлению. Однако трудоемкость изготовления зубчатых колес довольно высока, поэтому применяются различные способы их восстановления, например наплавка, напрессовка зубчатых венцов с последующим зубонарезанием.

Дефектация шестерен проводится в следующем порядке: визуальный осмотр с целью определения состояния рабочих поверхностей зубьев. При визуальном осмотре можно определить следующие дефекты: точечное выкрашивание металла на рабочей поверхности с общей площадью более 15 % (рис. 17, *а*), трещины и местное выкрашивание металла на рабочей поверхности с общей площадью более 5 % площади зуба (рис. 17, *б*), ступенчатая выработка по длине зубьев (рис. 17, *в*).

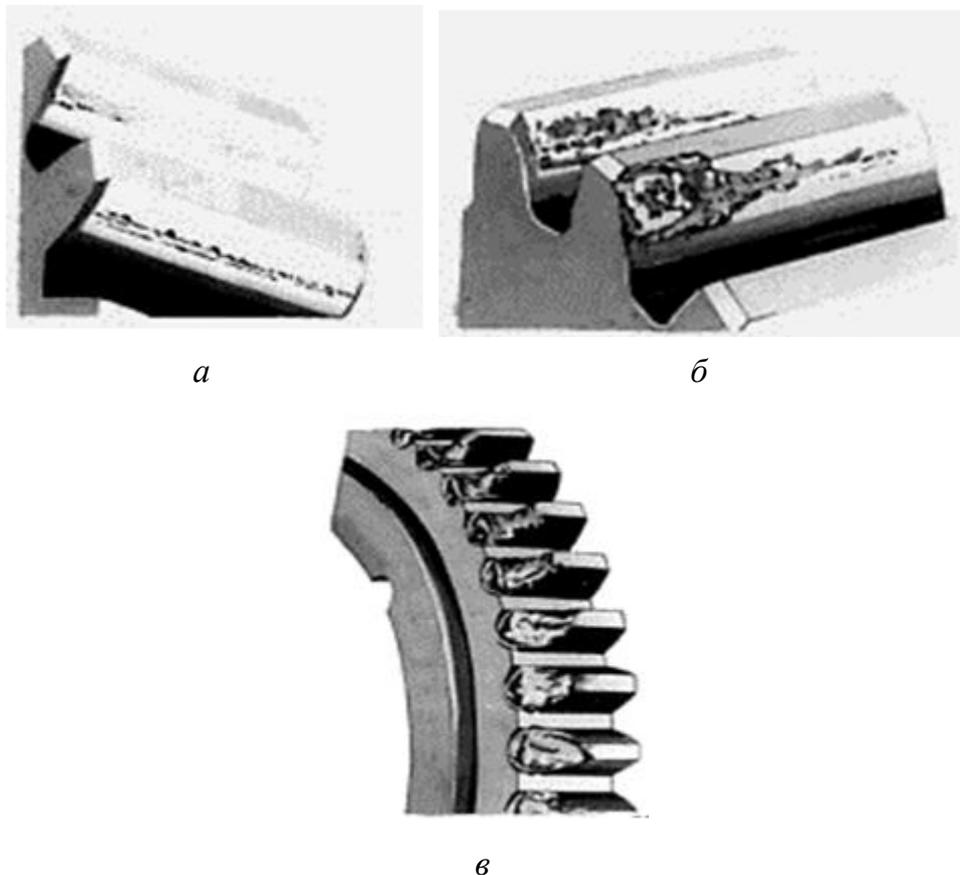


Рис. 17. Дефекты зубьев, выявляемые при наружном осмотре

С помощью универсального измерительного инструмента определяют: неравномерный износ зуба (конусность) более 0,05 мм на длине 10 мм (проверяют только у шестерен непостоянного зацепления), износ зубьев по длине (определяют с помощью штангенциркуля), износ зубьев по толщине (с помощью штангензубомера, рис. 18), величину общей нормали (с помощью микрометрического зубомера, рис. 19, *а*) или индикаторного нормалемера, рис. 19, *б*).

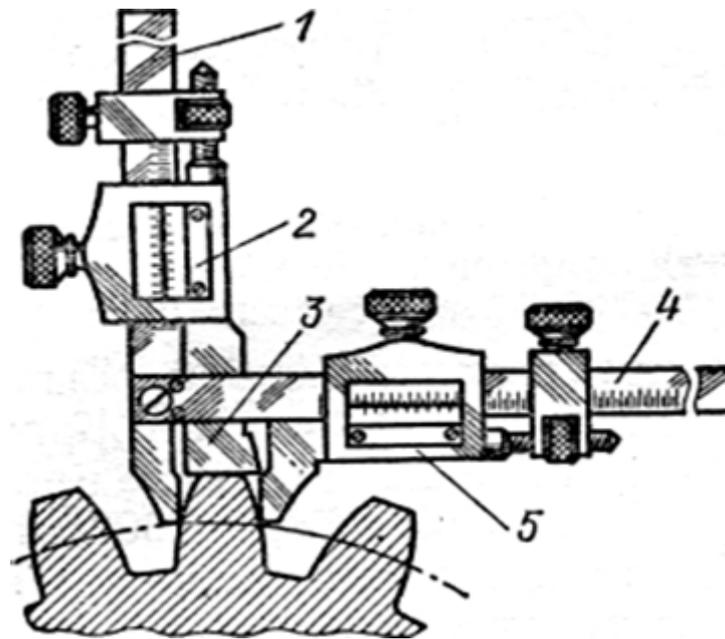


Рис. 18. Измерение износа зубьев по толщине с помощью штангензубомера:  
 1 – шкала упора; 2, 5 – нониусы; 3 – упор; 4 – шкала для измерения толщины зуба

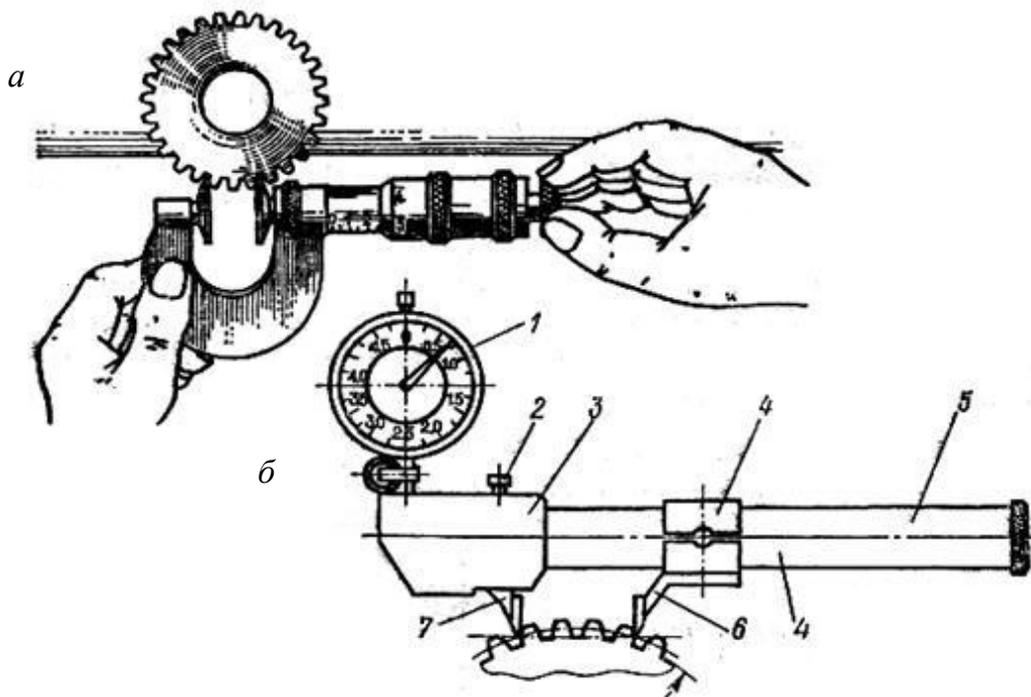


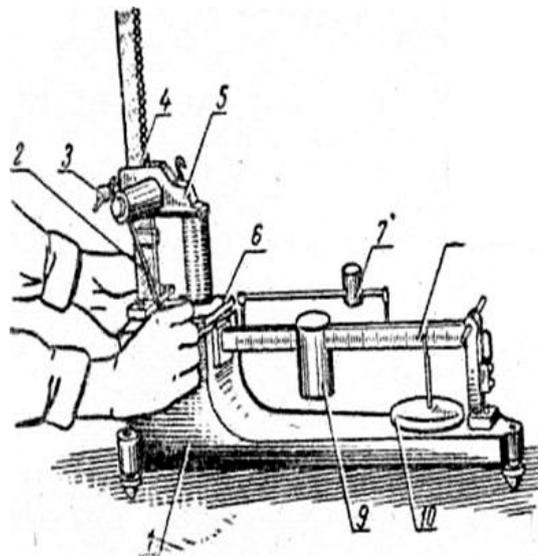
Рис. 19. Приборы для измерения общей нормали:  
 а – микрометрический зубомер; б – индикаторный нормалемер:  
 1 – индикатор; 2 – кнопка отводного рычага; 3 – корпус; 4 – разрезная самосжимающаяся втулка; 5 – трубка; 6 – переставная измерительная губка;  
 7 – подвижная губка

Шестерни также не допускаются к сборке при обнаружении микротрещин у основания зуба (с помощью магнитного метода или контроля красками) или ослаблении посадки венца шестерни на ступице.

### *Дефектация пружин*

При дефектации пружин проводится визуальный осмотр и измерение усилия при сжатии до рабочей длины. Пружины считаются годными при отсутствии трещин, обломов, следов коррозии (не более 10 % площади поверхности) на поверхностях витков, надломов. Неравномерность шага витка не должна превышать 20 %, непрямолинейность образующей пружины в свободном состоянии – не более 3 мм на длине 100 мм.

Упругость пружин контролируют с помощью приборов МИП-100, МИП-10 или КИ-040А (рис. 20). Полученное усилие при растяжении (сжатии) пружины сравнивают с допустимым усилием, приведенным в технических требованиях на капитальный ремонт изделия.



*Рис. 20.* Прибор КИ-040А для проверки упругости пружин:

- 1 – станина; 2 – рукоятка; 3 – винт; 4 – зубчатая рейка; 5 – ползун; 6 – столик;  
7, 9 – скользящие грузы; 8 – весовой механизм; 10 – дополнительный груз

Пружину также считают годной при соблюдении условий перпендикулярности торцов пружины её оси.

## *Дефектация валов*

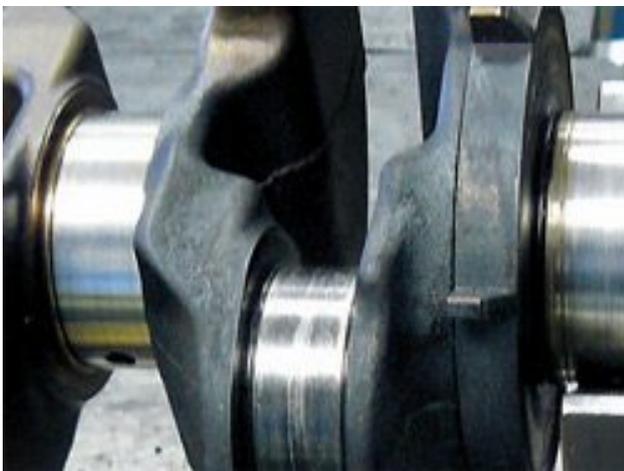
Дефектацию валов проводят при среднем и капитальном ремонте. Следует отметить, что наиболее характерными дефектами валов являются износ коренных шеек и шатунных шеек (в случае коленчатого вала), искривление (прогиб), повреждение резьбы и шпоночных пазов, повреждение центровых отверстий, а также износ в результате коррозии и эрозии [10]. На рабочих поверхностях валов не допускаются вмятины, забоины, отслоения металла, трещины. Сопрягаемые поверхности валов не должны иметь видимых следов затирания или износа. Диаметры, а также шероховатость поверхностей шеек валов должны обеспечивать зазоры или натяги с другими сопрягаемыми составными частями, соответствующие значениям, приведенным в ремонтной документации.

На рисунке 21 представлены характерные дефекты коленчатого вала двигателя [10].

Износ и задиры на поверхностях коренных и шатунных шеек (рис. 21, *а*) возникают из-за недостаточного давления в системе смазки, работы двигателя на грязном масле, попадания в масло топлива. Износ торцевых поверхностей под упорные полукольца (рис. 21, *б*) происходит вследствие неисправности привода выключения сцепления или стоянки на месте с работающим двигателем и выжатым сцеплением. Царапины на поверхностях коренных и шатунных шеек (рис. 21, *в*) возникают из-за большого пробега двигателя или попадания посторонних частиц в машинное масло. Выработка и царапины на поверхности под сальники коленчатого вала (рис. 21, *г*) появляются при длительной работе двигателя или неаккуратном обращении с коленчатым валом при замене сальника на двигателе.

Помимо представленных на рисунке 21 дефектов при визуальном осмотре можно выявить трещины коленвала, разрушение шпоночных пазов и посадочных мест под штифты и втулки, разрушение резьбы в крепежных отверстиях вследствие неправильной затяжки болтов. Также проверяется изгиб коленчатого вала: вал укладывается на призмы, установ-

ленные на металлической плите. С помощью стрелочного индикатора, установленного на стойке, проверяют прогиб оси коленвала, вращая коленвал. Изгиб не должен превышать: для легковых моторов 0,05 мм; для грузовых моторов 0,1 мм [9].



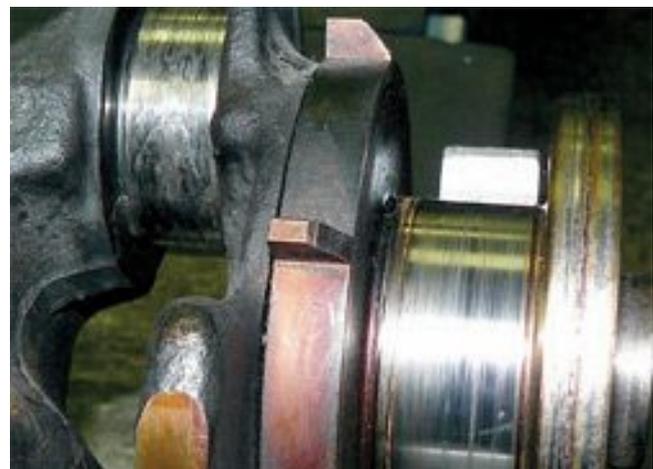
*а*



*б*



*в*



*г*

*Рис. 21.* Характерные дефекты коленчатого вала двигателя:

*а* – износ и задиры на поверхностях коренных и шатунных шеек; *б* – износ торцевых поверхностей под упорные полукольца; *в* – царапины на поверхности коренных и шатунных шеек; *г* – выработка и царапины на поверхности под сальники

При дефектации вала в обязательном порядке проверяется допустимое радиальное биение, которое определяют как разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до оси враще-

ния в сечении, перпендикулярном этой оси. Типовые схемы контроля радиального биения приведены на рисунке 22.

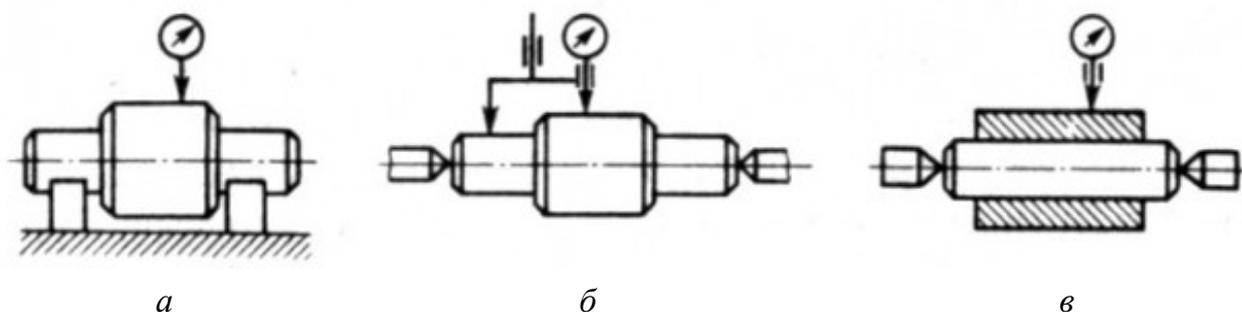


Рис. 22. Типовые схемы контроля радиального биения:

*a* – в призмах; *б* – в центрах; *в* – на оправке

Поскольку радиальное биение может задаваться не только от оси вращения, но и от поверхностей, являющихся основными конструкторскими базами детали (например, коренные шейки), то при измерении радиального биения эти поверхности устанавливаются в призмы (рис. 22, *a*). Биение определяется как разность показаний прибора за один оборот вала.

В случаях, когда нужно определить биение одной поверхности вала относительно другой, используется приспособление типа «мостик» (рис. 22, *б*), которое подводят до контакта упора с базовой поверхностью, и биение определяется, как и в предыдущем случае, как разность показаний прибора за один оборот заготовки.

При измерении биения деталей, имеющих центральное отверстие, используют оправки (рис. 22, *в*), которые устанавливают в центрах. К измеряемой поверхности подводят индикатор и определяют биение за один оборот детали.

Если значение радиального биения превышает допустимое, то необходимо осуществить правку вала.

При дефектации вала определяют износ посадочных поверхностей под подшипники с помощью универсального измерительного инструмента – штангенциркуля, микрометра, калибров. В результате износа возможны такие отклонения формы, как бочкообразность, седлообразность, конусообразность и овальность (рис. 23).

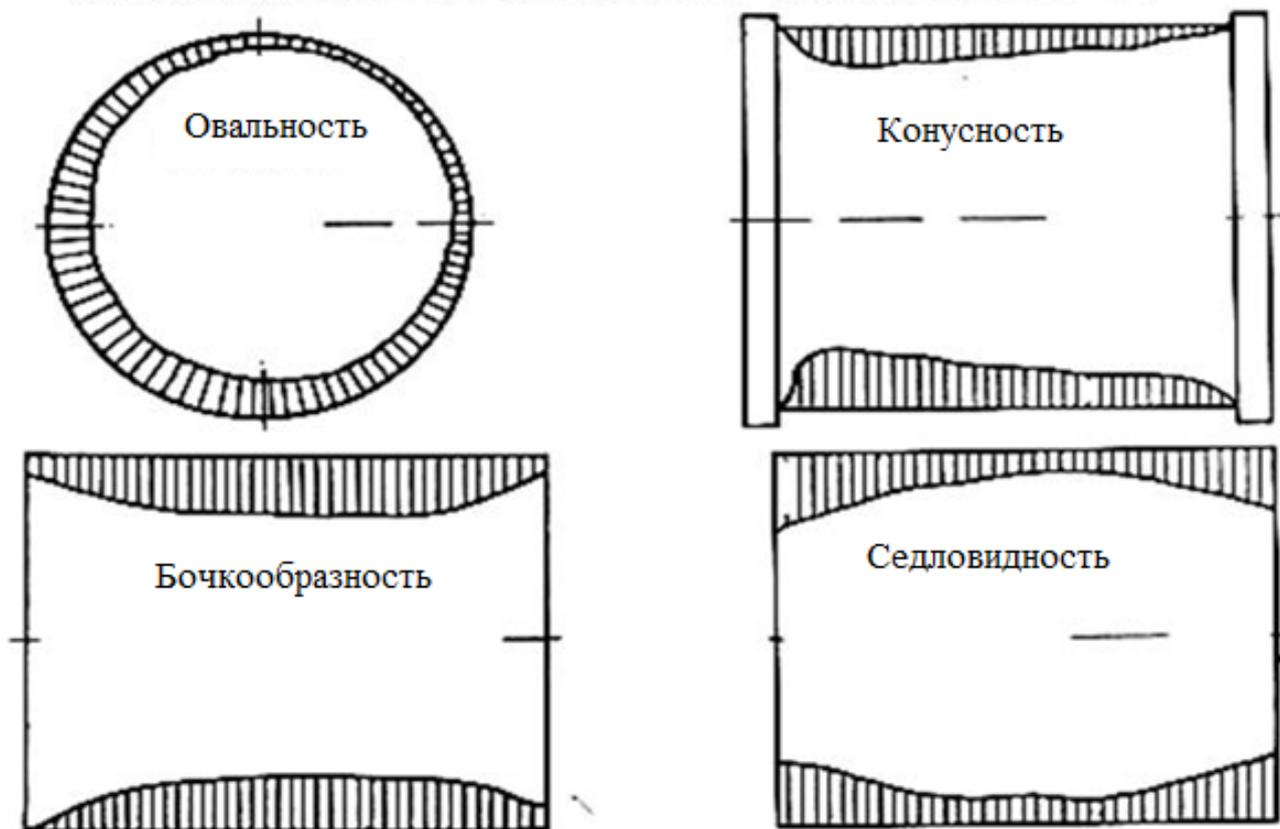


Рис. 23. Виды отклонений формы цилиндрических поверхностей в результате износа

При наличии на валу шлицев производят контроль диаметров, ширины впадины и глубины шлицев с помощью нутромеров, штангенциркулей и калибров. Шпоночные пазы и канавки контролируются с помощью специальных калибров и шаблонов. Шпоночные пазы не должны иметь срезов, сколов, забоин, вмятин и других повреждений, препятствующих нормальной запрессовке в них шпонок.

### *Дефектация крепежных изделий*

Крепежные детали (болты, гайки, шпильки) проверяют посредством визуального осмотра на наличие таких дефектов, как трещины, забоины, вмятины, следы коррозии, заусенцы на резьбе, сорванные нитки резьбы, изгиб стержней, износ головок болтов.

Штифты бракуют при ослаблении посадки. В этом случае проводят развертывание отверстия и установку ступенчатого штифта.

У болтов и шпилек не допускается смятие ниток резьбы, если оно превышает половину профиля высоты резьбы, общая длина превышает 8 % длины всей резьбы и  $\frac{1}{3}$  длины одного витка. У гаек не допускается смятие ниток резьбы, если оно превышает  $\frac{2}{3}$  витка.

Для болтов, шпилек с диаметром резьбы свыше 48 мм выкрашивания и смятия ниток резьбы не допускаются, если они по глубине более половины высоты профиля резьбы и их общая длина превышает 2 % длины резьбы по винтовой линии, а в одном витке –  $\frac{1}{5}$  его длины.

Допускается отклонение от прямолинейности (кривизна стержня) болтов, шпилек, не превышающее 0,3 мм на 100 мм длины для диаметров резьб до 24 мм (включительно) и 0,15 мм на 100 мм длины для диаметров свыше 24 мм.

Отклонение от плоскостности шайб не должно превышать допуска на толщину шайбы. Сопрягаемые выпуклые и вогнутые шайбы должны иметь площадь прилегания не менее 80 %. Неудовлетворительное прилегание следует исправлять притиркой по сферическим поверхностям. Притертые шайбы должны иметь одинаковую маркировку.

Не допускаются сколы и смятия металла на гранях шестигранной головки болтов и на гайках высотой более 0,2 высоты головки (гайки) и выводящие размер под ключ за 0,9 номинального размера.

Все болты и шпильки гайки, бывшие в употреблении (признанные годными при дефектации) или с тугей резьбой (гайка не наворачивается вручную), должны пройти прогонку резьбы метчиком, плашкой. Запрещается прогонять резьбу гайками или болтами.

Резьбу контролируют с помощью резьбовых калибров (рис. 24).

Резьбовые калибры предназначены для контроля резьбовых отверстий. Новая гайка или резьбовой калибр должны плотно наворачиваться по всей длине резьбы. Если проходная часть калибра не проходит, значит резьба вытянута, и деталь уходит в брак.



Рис. 24. Резьбовые калибры

Запасные крепежные детали, подбираемые взамен дефектных, контролируют на соответствие материала и других характеристик требованиям конструкторских документов на оборудование и (или) распространяющейся на него и его составные части нормативно-технической документации, а также на отсутствие на всех обработанных поверхностях, включая резьбу, надрывов, закатов, трещин, заусенцев, забоин и вмятин, несмываемой коррозии и других следов коррозии.

#### *Дефектация манжет и уплотнительных прокладок*

При визуальном осмотре рабочие поверхности манжет должны быть без явных дефектов и повреждений – трещин, расслоений, заусенцев. Особые требования предъявляются к рабочим кромкам манжет (рис. 25).

Рабочие поверхности А и Б и рабочая кромка должны быть гладкими и не иметь дефектов на следующем расстоянии от кромки: до 2 мм – для валов диаметром до 19 мм; до 2,5 мм – для валов диаметром от 20 до 52 мм; до 3 мм – для валов диаметром от 55 мм и выше.

Помимо визуального осмотра для манжет проводится контроль геометрических параметров, таких как наружные и внутренние диаметры, а также высота манжеты. Для наружного диаметра проверяют отклонение от круглости (овальность), а предельные отклонения высоты манжеты не должны превышать значений, указанных в стандартах. Внутренний диаметр проверяют с помощью калибров, а наружный диаметр и высоту – с помощью штангенциркуля.

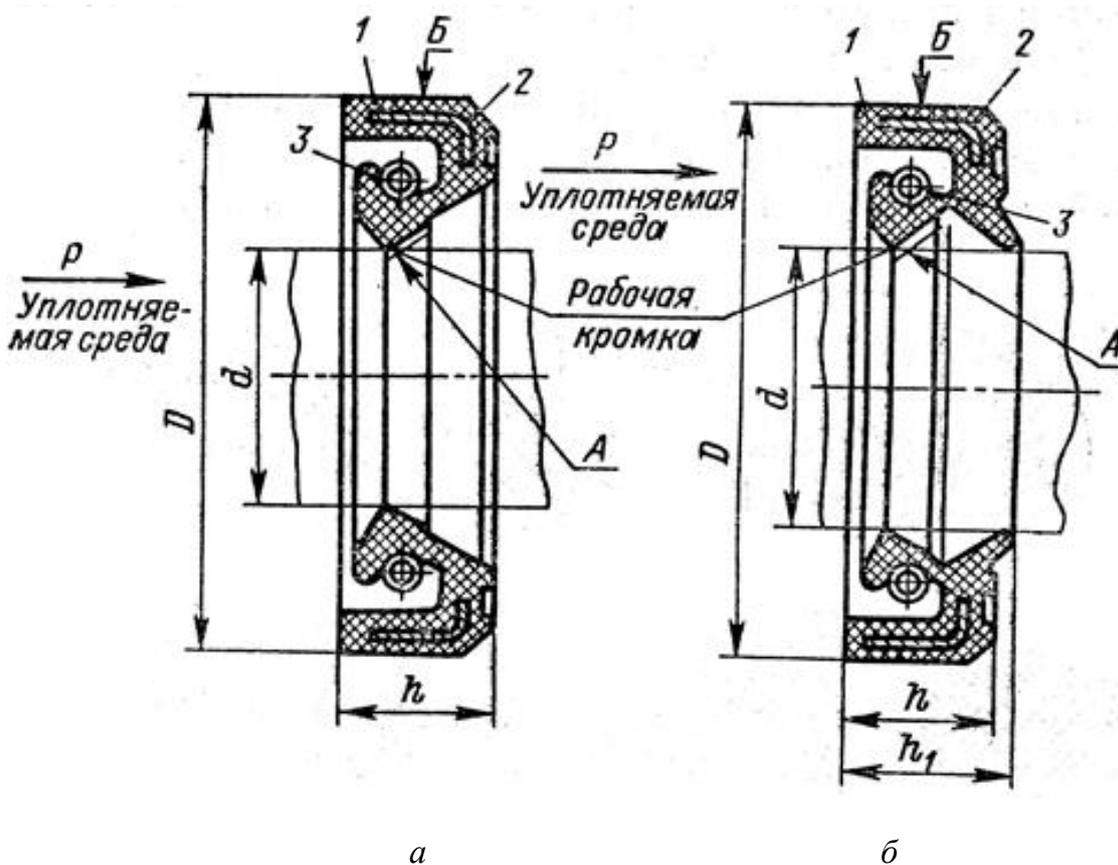


Рис. 25. Манжеты резиновые армированные:  
*а* – однокромочные; *б* – однокромочные с пыльником;  
 1 – резина; 2 – каркас; 3 – пружина

Для уплотнительных прокладок также проводится визуальный осмотр, и они признаются годными при отсутствии явных повреждений, таких как надломы, морщины, выпуклости, складки. Также прокладка не должна выходить за края сопрягаемых деталей. Неравномерность по толщине допускается не более 0,1 мм на всей длине прокладки.

### 3.4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ

Имеющиеся в настоящее время методы износа деталей подразделяются на интегральные и дифференциальные. Интегральными методами определяется общий износ сопрягаемых деталей или сборочной единицы, а дифференциальными – износ отдельных участков поверхности. Примерами интегральных методов являются: определение износа измерением массы или объема детали, измерение зазора в сопряжении, химический, спектральный, весовой или оптико-физический анализ примесей в масле, измерение утечек и расхода рабочей среды, давления, линейных и угловых перемещений, виброакустических параметров [8].

К дифференциальным методам относятся: метод микрометрических измерений, метод искусственных баз, радиометрический и активационный анализ примесей в масле, метод поверхностной активации и метод радиоактивных вставок [8].

К методам определения износа предъявляются следующие требования:

- 1) для определения износа тем или иным методом должно затрачиваться как можно меньше времени;
- 2) желательно определять износ без разборки узлов и агрегатов;
- 3) не допускается сильный износ деталей во время испытаний (если для этого не ставятся специальные цели, например при испытании на машинах трения).

#### *Метод микрометрических измерений*

Наиболее простым и часто применяемым методом определения износа является метод микрометрических измерений. Суть этого метода заключается в измерении размеров поверхности до износа и после работы детали в узле. Измерения проводят с помощью штангенциркулей, микрометров, нутромеров, рычажно-оптических приборов, и в зависимости от применяемого инструмента точность метода колеблется от 0,01 мм до 0,001 мм. На точность метода значительное влияние оказывает каче-

ство очистки поверхностей от загрязнений. На рис. 26 представлена схема определения износа коренных шеек коленчатого вала с помощью датчиков индикаторного типа.

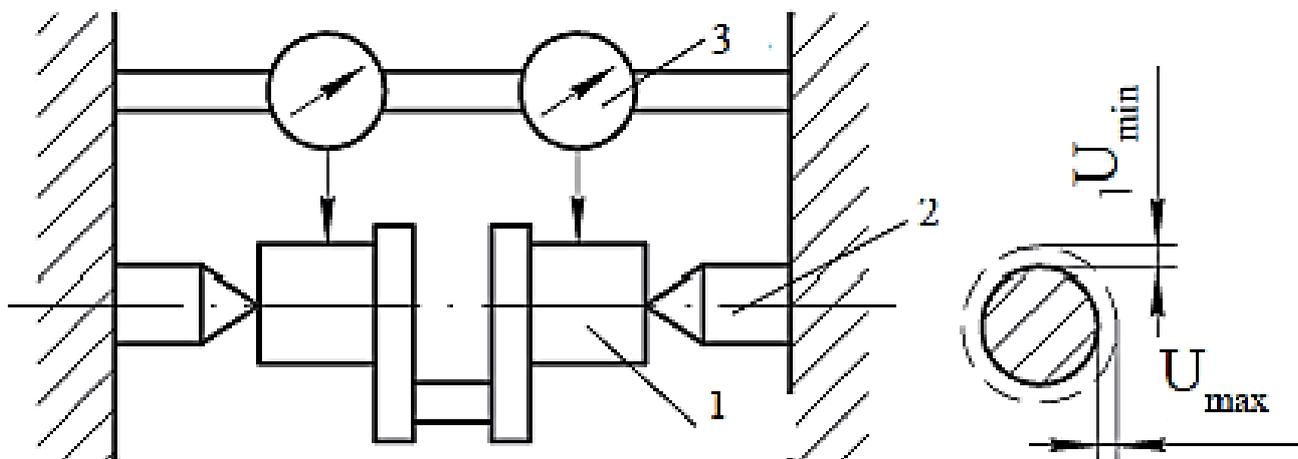


Рис. 26. Схема измерения износа с помощью датчиков индикаторного типа:  
1 – коленчатый вал; 2 – центры; 3 – микрометр

Измерения проводят следующим образом: вал устанавливают в центрах и настраивают микрометр. Производится вращение вала, и по колебаниям стрелки прибора определяют величину минимального  $U_{\min}$  и максимального  $U_{\max}$  износа поверхности. Замеры производятся в плоскости, проходящей через оси коренных шеек, и в плоскости, перпендикулярной оси шеек. Таким образом определяют овальность шейки, а также конусообразность, седлообразность и бочкообразность.

Существенным недостатком метода микрометрических измерений является невозможность определения износа при малой длительности работы машины. Также при определении износа данным методом часто приходится разбирать узлы и агрегаты машины. Иногда изменение размеров поверхности происходит не только от износа, но и от деформации, поэтому точное определение износа методом микрометрирования в таком случае невозможно. При измерении малых величин износа размером в несколько микрометров могут возникать погрешности от непостоянства температуры микрометра и измеряемой детали. Исходя из этого, можно

сделать вывод, что измерение износа методом микрометрирования дает приблизительные результаты при определении износа в каком-либо месте детали.

Одним из методов микрометрических измерений является *метод профилографирования*, основанный на том, что с помощью различных профилографов и профилометров (ИЗП-5, ИЗП-17, ИТП-21) снимают профилограмму поверхности детали до работы в узле и после определенной наработки и по изменению высоты микронеровностей профиля определяют износ.

На рисунке 27 представлена схема измерения износа с помощью профилографа.

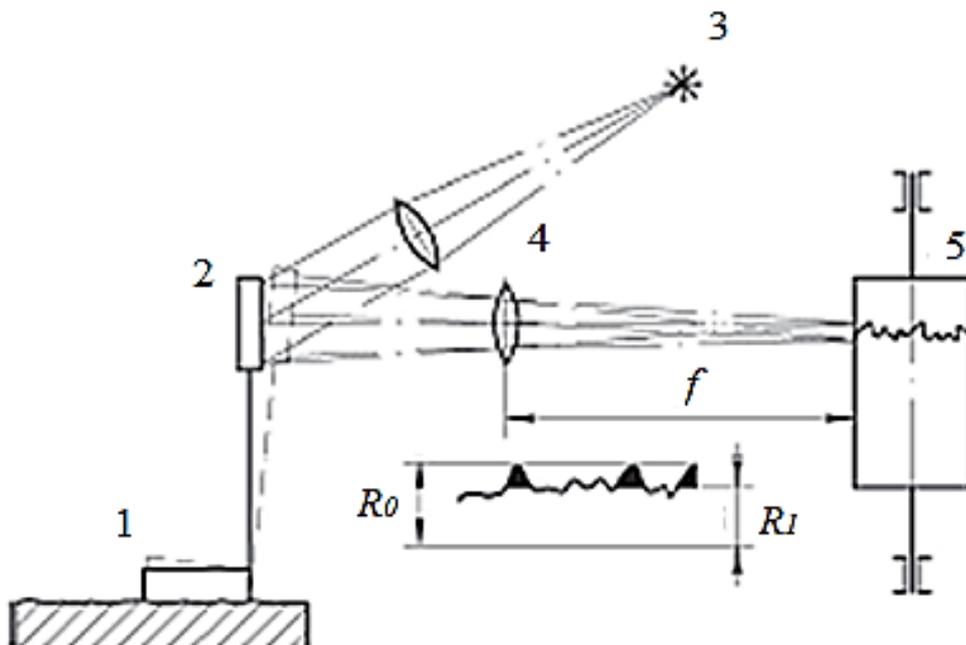


Рис. 27. Схема измерения износа с помощью профилографа:  
1 – измерительный наконечник; 2 – зеркало; 3 – источник света;  
4 – объектив; 5 – барабан

Принцип действия: измерительный наконечник 1 перемещается по поверхности детали. Его перемещение вызывает поворот жестко связанного с ним зеркала 2. Лучи, падающие от источника света 3, отражаются от зеркала и через объектив 4 фокусируются на светочувствительной

пленке, установленной на вращающемся барабане 5. Величину линейного износа определяют как разность высот микронеровностей до начала работы поверхности на трение и после, т. е.  $I = R_0 - R_1$ .

Если на поверхности детали имеется участок, не подверженный износу в процессе работы, то он используется как базовый. В таком случае снимают только одну профилограмму – после периода работы и высоту неровностей сравнивают с базовым участком. Точность такого метода определяется точностью установки измерительного наконечника относительно поверхности и точностью совмещения профилограмм. Однако недостатком данного метода является необходимость разборки механизма.

### *Метод искусственных баз*

Метод искусственных баз, разработанный М. М. Хрущовым и Е. С. Берковичем, является более точным методом определения износа. Его суть заключается в следующем: на исследуемой поверхности вырезаются углубления правильной геометрической формы с помощью алмазного или твердосплавного инструмента. Ширина и длина отпечатка связаны соотношением с его глубиной. Поэтому величину износа определяют по изменению длины и ширины отпечатка после работы на трение и износ. Измерение осуществляют с помощью оптических измерительных приборов. Точность данного метода в среднем составляет 1–1,5 мкм. Кроме того, преимуществом такого метода является то, что износ определяется в одном и том же месте, что исключает некоторые погрешности, свойственные методу микрометрических измерений.

Способами образования искусственных баз являются:

- внедрение индентора, имеющего форму шарика или пирамидки, в поверхность детали;
- вырезание лунки вращающимся резцом;
- вышлифовывание лунки диском.

На рисунке 28 представлены схемы получения искусственных баз вдавливанием шарика и алмазной пирамидки [11].

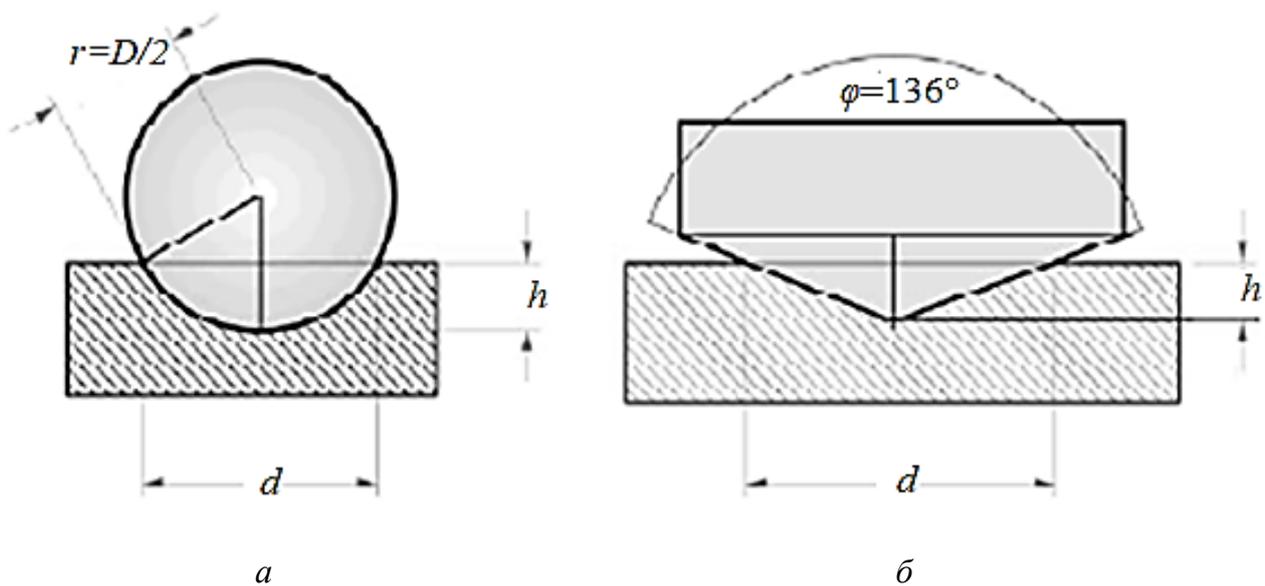


Рис. 28. Схема получения искусственных баз с помощью шарика (а) и алмазной пирамидки (б)

Искусственная база получается путем вдавливания индентора с помощью твердомера, предназначенного для измерения твердости по Бринелю (рис. 28, а), или микротвердомера, предназначенного для измерения твердости по Виккерсу (рис. 28, б).

Формула для определения глубины отпечатка на схеме, представленной на рисунке 28, а, будет иметь вид

$$h = \frac{D}{2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} \right). \quad (2)$$

Формула для определения глубины отпечатка на схеме, представленной на рисунке 28, б:

$$h = \frac{d}{2} \cdot \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right). \quad (3)$$

Еще одним методом получения искусственных баз является *метод вырезанных лунок*. Эта процедура выполняется по ГОСТ 27860–88

и по ГОСТ 23.301–78 прибором УПОИ-6 [11]. Лунки получают с помощью алмазного резца, заточенного в виде трехгранной пирамиды. В результате прохода образуется лунка длиной  $l$ , связанная с глубиной соотношением 1:50 – 1:80. Необходимо учитывать, что глубина лунки должна быть значительно больше глубины микронеровностей (рис. 29).

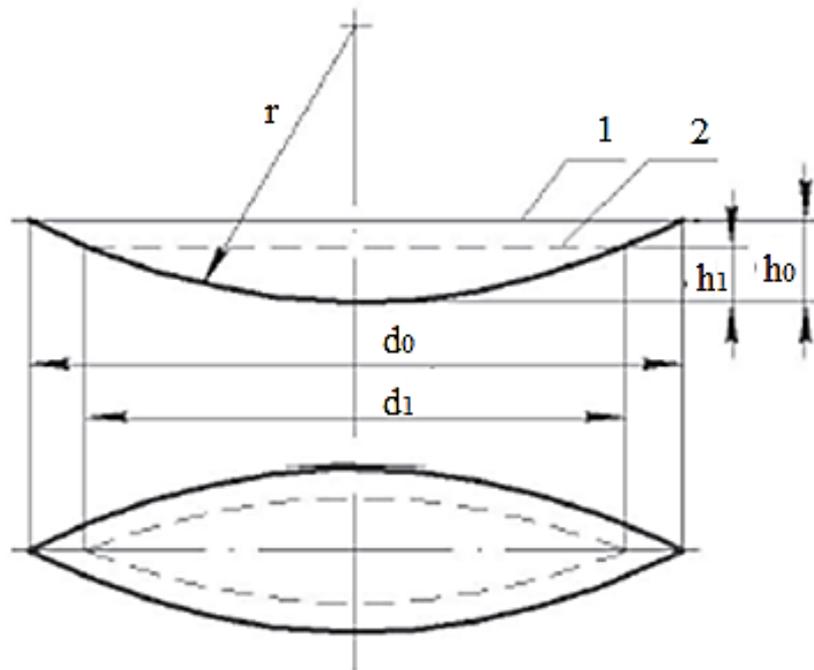


Рис. 29. Схема измерения износа методом вырезанных лунок:

1 – поверхность трения до изнашивания;

2 – поверхность трения после изнашивания

Глубина лунки для плоских и выпуклых цилиндрических поверхностей определяется по формуле

$$h = \frac{l^2}{8 \cdot R}. \quad (4)$$

Для вогнутых цилиндрических поверхностей:

$$h = \frac{l^2}{8} \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right). \quad (5)$$

В приведенных формулах:  $l$  – длина лунки, мм;  $r$  – радиус вращения вершины резца, мм;  $R$  – радиус кривизны поверхности трения в месте расположения лунки, мм.

Стоит отметить, что метод вырезанных лунок по сравнению с методом отпечатков имеет такие преимущества, как отсутствие вспучивания материала и более точное измерение длины лунки из-за удлиненной формы углубления. Однако данный метод имеет более высокую трудоемкость и дороговизну.

Для образования лунок могут также использоваться сверла для керамики, дрели для гравировки, отрезные диски. Выбор инструмента для получения искусственных баз зависит от многих факторов. Не допускается ослабление прочности исследуемых деталей, например метод вырезанных лунок не применим на шейках коленчатого вала. В этом случае больше подходит способ отпечатков с помощью шарового индентора, который не создает концентрацию напряжений. Для поверхностей трения, не подверженных значительным деформациям, применимы все три метода с учетом твердости инструмента и поверхности.

### *Метод слепков*

Иногда измерение износа сопряжений методами искусственных баз на рабочей поверхности произведено быть не может. В этом случае применяют метод слепков (негативных оттисков), заключающийся в нанесении на поверхность быстро твердеющей массы (стиракрила) и снятии оттиска поверхности (рис. 30).

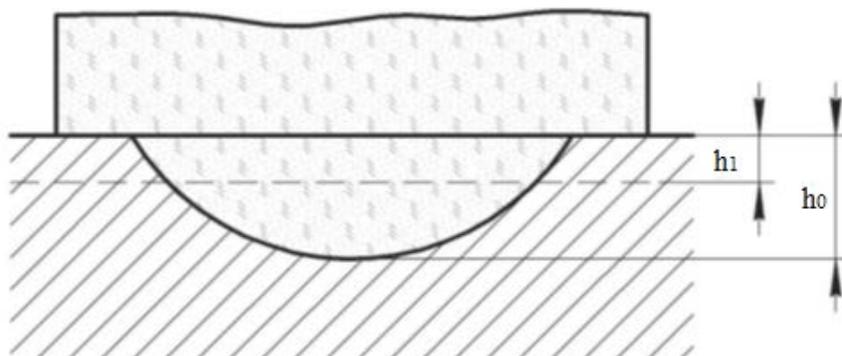


Рис. 30. Определение износа с помощью метода негативных оттисков

Износ оценивают по разнице высоты слепков, снятых до и после изнашивания поверхности:  $U = h_0 - h_1$ . Недостатками такого метода являются: низкая точность измерений, высокая трудоемкость и необходимость разборки механизмов.

*Метод определения износа  
по содержанию продуктов изнашивания в смазочном масле*

Существенным преимуществом такого метода является то, что для определения износа нет необходимости в разборке всего механизма, а сам износ определяется по результатам анализа отработавшего масла, где накапливаются продукты износа – частицы металлов, окислы металлов и продукты химического взаимодействия металлов с активными компонентами смазочных материалов. Данный метод применяют для определения интегрального износа в различных машинах – технологическом оборудовании, транспортных машинах, двигателях внутреннего сгорания и т. д. Для повышения точности метода необходимо определить среднее содержание примесей в масле. Для этого слитое масло тщательно перемешивают. Точность метода зависит от чувствительности прибора к содержанию в масле металлических примесей и в среднем составляет  $10^{-6} - 10^{-8}$  г в  $1 \text{ см}^3$  масла.

Для анализа содержания металлических частиц в масле используют химический, спектральный, радиометрический, активационный и оптико-физические методы.

Суть *химического метода* определения износа состоит в анализе частиц износа в продуктах сгорания масляной пробы. Данный метод обладает довольно низкой точностью, поэтому для определения износа применяется крайне редко.

Гораздо более точным методом является *спектральный метод* определения износа. При *спектральном* анализе определяют спектральный состав пламени при сгорании пробы масла. Спектральный анализ масел на продукты износа элементов машин проводят с помощью квантомера, представляющего собой многоканальную фотоэлектрическую установку.

В состав установки входят полихроматор с рельсом и растровым конденсатором, электронно-регистрирующее устройство с цифровым вольтметром, источник возбуждения спектра, электромагнитный и электромеханический стабилизаторы напряжения, штатив для сжигания проб масел (рис. 31).

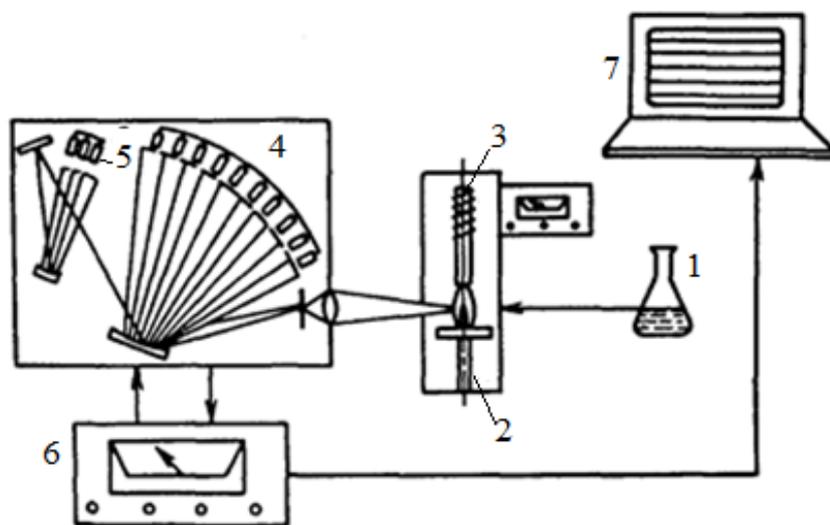


Рис. 31. Принципиальная схема установки для спектрального анализа масел:  
1 – анализируемая проба масла; 2 – угольный диск; 3 – верхний угольный электрод;  
4 – полихроматор; 5 – фотоэлектронные умножители; 6 – электронно-регистрирующее устройство; 7 – экран дисплея

Представленная на рисунке 31 установка работает на основе принципа спектрального анализа. Исследуемая проба масла 1 помещается в штатив. В ванночку с маслом устанавливают вращающийся угольный диск 2, являющийся нижним электродом. При вращении диска масло с продуктами износа перемещается между нижним и верхним угольным электродом 3. Под действием разряда происходит испарение масла и возбуждение излучения атомов элементов, имеющих в исследуемой пробе.

Полихроматор 4 с вогнутой дифракционной решеткой разлагает излучение в спектр, характеризующий химический состав вещества пробы. Каждому элементу соответствует своя совокупность спектральных линий. Интенсивность спектральных линий зависит от концентрации элементов

в данной пробе. С помощью выходных щелей, установленных на фокальной поверхности полихроматора, выделяют из спектра пробы 16 аналитических линий различных элементов (табл. 5).

Таблица 5

**Химические элементы, определяемые с помощью квантометра**

Номер щели	Элемент	Длина волны, нм
1	Ca	239,8
2	Fe	226,0
3	Fe	259,9
4	Cr	267,7
5	Ba	279,5
6	Pb	287,7
7	Mo	313,2
8	Sn	317,5
9	Si	288,1
10	Al	308,2
11	P	255,3
12	Ti	324,2
13	Cu	327,4
14	Zn	334,5
15	Ni	341,4
16	Si	298,7

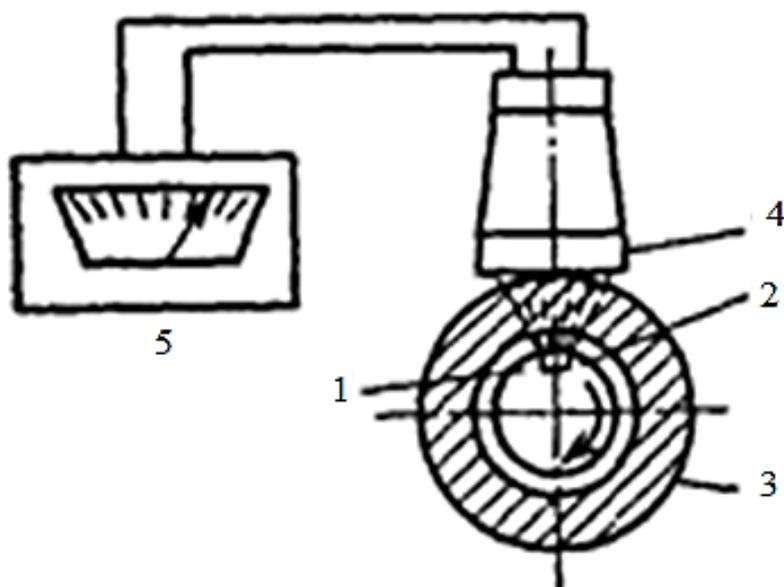
Выделенные таким образом монохроматические излучения проецируются на фотокатоды фотоэлектронных умножителей 5 (см. рис. 31) и вызывают фототоки в их анодных цепях. Электронно-регистрирующее устройство 6 автоматически высвечивает результат на шкале цифрового вольтметра или на экране дисплея 7.

Для оценки износа в последнее время часто применяются *оптико-физические методы*. При таких методах используются современные приборы, которые могут регистрировать механические частицы продуктов износа, находящихся во взвешенном состоянии в прозрачной жидкости.

Одной из разновидностей оптико-физических методов является метод феррографии, позволяющий определять не только вид и количество частиц, находящихся в масле, но и их форму и размеры. Однако высокая стоимость оборудования для феррографического анализа значительно снижает возможности его применения.

### *Активационный метод*

*Активационный метод* основывается на измерении снижения радиоактивности в результате износа поверхности исследуемой детали, в которой до начала работы устанавливается радиоактивный слой толщиной 0,05–0,4 мм с помощью облучения участка поверхности или внедрения в нее заряженных частиц (рис. 32).



*Рис. 32.* Схема измерения износа методом поверхностной активации:

- 1 и 3* – детали сопряжения; *2* – радиоактивная вставка;
- 4* – счетчик радиоактивности; *5* – регистрирующий прибор

Несомненным достоинством такого метода является возможность его применения при стендовых испытаниях без остановки и разборки машин. Точность данного метода позволяет определить малые величины износа,

снижать длительность испытаний, смотреть динамику износа и осуществлять дистанционный контроль качества изделий.

Перед началом исследований участок детали активируется в течение 20–40 мин обычно дейтронами с энергией  $E_d = 11,2\text{--}13,2$  МэВ «на воздухе» или в вакууме на специальном ускорителе (циклотроне) до активности  $37 \cdot 10^{10}$  Бк. Толщина активированного слоя (обычно 130–260 мкм), зависящая от энергий дейтронов и ряда других факторов, устанавливается исследователем, который заранее оценивает возможную величину износа поверхности с учетом условий эксплуатации изделия. Определение радиоактивности основано на измерении гамма-излучений различными методами.

Для определения износа крупногабаритных деталей используют специальные вставки, которые проходят поверхностную активацию и устанавливаются на исследуемую поверхность. Причем материал таких вставок может отличаться от материала поверхности, поскольку износ вставок и поверхности происходит одновременно. Применяя вставки из таких материалов, как кобальт или медь, можно увеличить срок действия радиоактивности, достаточной для определения износа в течение 2,5 лет, что очень важно при натурных испытаниях.

#### *Метод определения износа по изменению показателей функционирования*

Данный метод основан на определении утечек, снижения давления рабочей среды, линейных и угловых перемещений деталей, уровня шума и вибраций.

Определение износа по расходу рабочей среды состоит в том, что в механизме устанавливается прибор, фиксирующий расход масла между двумя трущимися поверхностями (рис. 33).

Повышение расхода масла, фиксируемое расходомером 2, свидетельствует об увеличении зазора  $E_0$  между валом 4 и втулкой 5 вследствие износа вала на величину  $E_1$ . Главный недостаток такого метода заключается

в том, что расход масла является лишь косвенным признаком износа вала, к тому же невозможно определить величину износа.

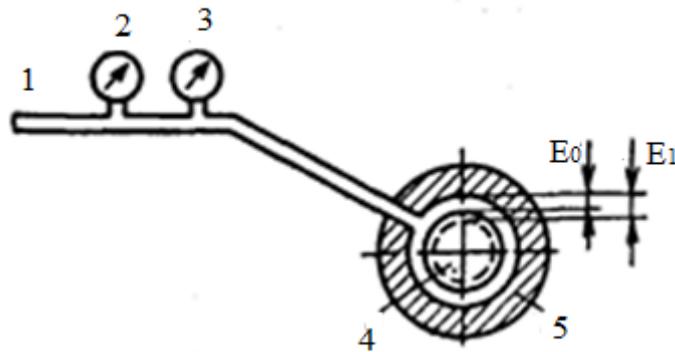


Рис. 33. Схема измерения износа по изменению расхода или давления рабочей среды:

1 – трубопровод; 2 – расходомер; 3 – манометр;  
4 – вал; 5 – втулка

Схему, представленную на рисунке 33, можно применять для определения износа по снижению давления рабочей среды (жидкости или газа). Уменьшение давления является следствием увеличения зазора между валом 4 и втулкой 5, которое фиксируется самопишущим манометром 3.

Для определения износа в результате линейных или угловых перемещений используют метод *тензометрического микрометрирования* (рис. 34).

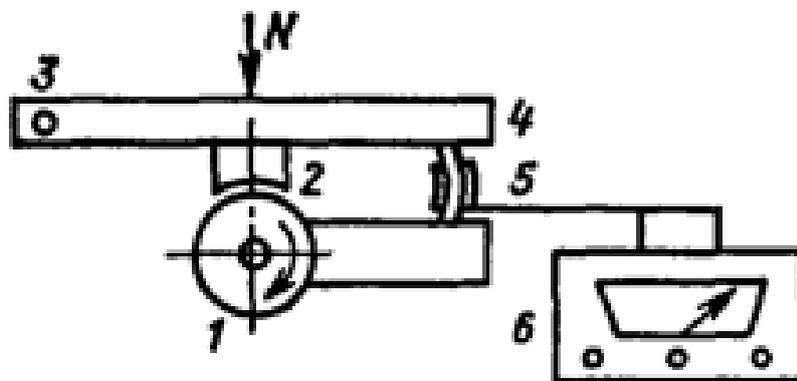


Рис. 34. Схема измерения износа

методом тензометрического микрометрирования:  
1 и 2 – детали сопряжения; 3 – шарнир; 4 – каретка;  
5 – тензометрические датчики; 6 – гальванометр

Принцип работы схемы, представленной на рисунке 34, заключается в следующем: в контакт с изнашивающейся деталью *1* вводят упругий элемент с установленными на нем тензометрическими датчиками *5*. При изменении зазора между деталями сопряжения *1* и *2* вследствие износа происходит изгиб тензобалки и посылается электрический сигнал на гальванометр *6*. Недостатком такого метода является малый диапазон определяемого износа – от 0,0001 до 1 мм.

Для этих же целей применяется метод электромагнитной индукции (рис. 35).

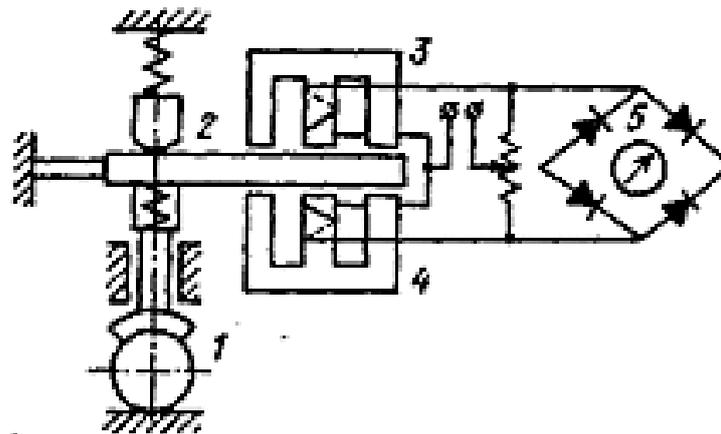


Рис. 35. Схема измерения износа методом электромагнитной индукции:  
*1* – исследуемое сопряжение; *2* – якорь; *3* и *4* – электромагниты индуктивного датчика; *5* – регистрирующий прибор

На одной из деталей сопряжения *1* устанавливают индуктивный датчик, якорь которого *2* перемещается вследствие увеличения зазора в сопряжении. С помощью магнитов *3* и *4* сигнал передается на регистрирующий прибор *5*. Недостатки метода – малая точность, узкая область применения.

Следствием увеличения зазоров в сопряжениях является повышение шума и вибраций при работе механизма. Поэтому в качестве оценки интегрального износа могут применяться виброакустические параметры. Однако данные параметры не позволяют определить износ с достаточной

точностью, но такой метод может применяться при оценке состояния сборочной единицы в процессе работы.

Помимо перечисленных методов для оценки износа применяют метод определения износа по *потере массы*, заключающийся в периодическом взвешивании детали с помощью аналитических весов. Точность такого метода зависит от точности весов и составляет (0,05–5) мкг. Аналогичным является метод измерения износа по *изменению объема детали*.

### 3.5. Методы определения скрытых дефектов в деталях машин

Во время эксплуатации машин происходит не только износ трущихся поверхностей в парах трения, но и возникают скрытые дефекты, которые трудно определить при визуальном осмотре. К таким дефектам относятся различные трещины, раковины, поры, шлаковые включения, газовые пузыри, непровары сварных швов и т. д. Для обнаружения такого рода дефектов используются капиллярный, магнитный, ультразвуковой методы контроля.

#### *Капиллярный метод контроля*

Капиллярный метод контроля предполагает два этапа:

- 1) капиллярное проникновение индикаторных жидкостей в трещины или поры;
- 2) регистрация микроповреждений визуально или с помощью специальных приборов.

Такой метод контроля применяют для обнаружения сквозных и поверхностных дефектов, которые невозможно определить при визуальном осмотре. Причем капиллярный метод применяется вне зависимости от формы и размеров детали.

Материалом контролируемых деталей являются черные и цветные металлы и сплавы, а также стекло, пластмассы и другие неферромагнитные материалы [1].

Капиллярный метод может применяться также и для ферромагнитных материалов в случае, если магнитопорошковым методом не удастся обнаружить микроповреждения.

Капилляры в контролируемых изделиях различают двух типов:

- выходящие на поверхность объекта только с одной стороны (поверхностная несплошность);
- соединяющие противоположные стенки объекта (сквозная несплошность).

Чувствительность капиллярного метода зависит от контрастности дефектного и неповрежденного участков. Это достигается повышением светоотдачи дефектных участков при нанесении на контролируемые участки специальных составов дефектоскопических материалов (индикаторных пенетратов). Основной задачей капиллярного метода контроля является наибольшее заполнение микроповреждений пенетратом, т. е. микротрещины в данном случае выступают в роли сосудов, всасывающих жидкость под действием капиллярных сил. Эффективность данного метода будет зависеть и от усиления эффекта регистрации дефекта под действием проявляющего состава, нанесенного на исследуемую поверхность.

На рисунке 36 приведены основные этапы процесса капиллярного контроля. При регистрации дефекта (рис. 36, з) фиксируют проекцию дефекта на наружную поверхность объекта. Полученное изображение, образованное пенетратом и соответствующее форме сечения дефекта у выхода на поверхность объекта, называют индикаторным рисунком или индикацией [10].

Непременным фактором, влияющим на определение дефектов данным методом, является отсутствие на исследуемой поверхности посторонних загрязнений.

Капиллярные методы контроля делятся на два вида в зависимости от проникающего вещества:

- с применением исходного индикаторного раствора в качестве проникающего вещества;

– с применением индикаторной суспензии, образующей индикаторный рисунок из отфильтрованных частиц указанного вещества.

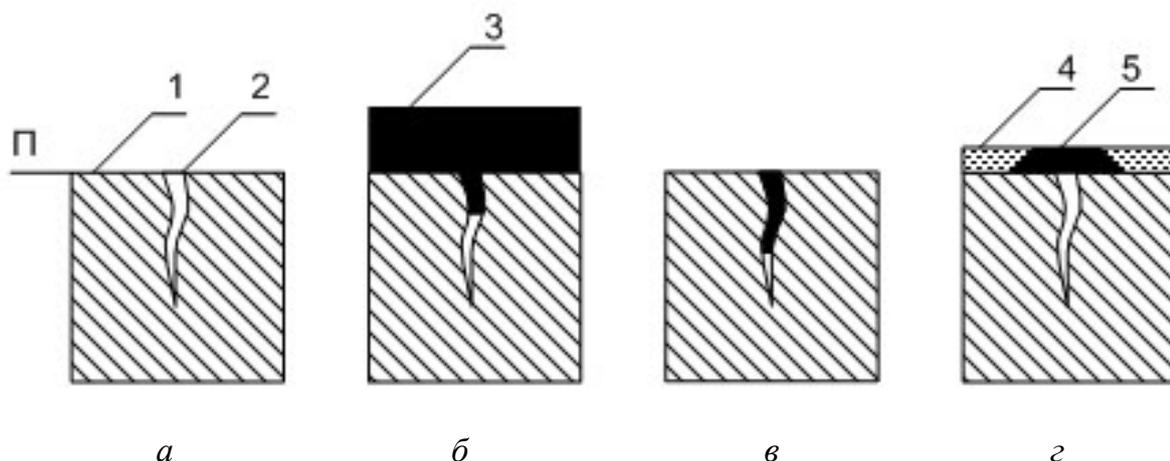


Рис. 36. Основные этапы капиллярного контроля:

*а* – нанесение и проникновение пенетрата; *б* – нанесение проявляющего состава; *в* – проникновение проявляющего состава в несплошности; *г* – регистрация несплошности при люминесцентном облучении; 1 – изделие; 2 – определяемый дефект; 3 – пенетрат; 4 – проявитель; 5 – след дефекта (окрашенный проявитель)

Для капиллярного метода контроля свойственны определенные характеристики выявляемых дефектов:

- локализация дефектов на контролируемой поверхности;
- ориентация дефектов относительно конфигурации поверхности контролируемого объекта;
- размеры и форма дефектов.

Диапазон чувствительности капиллярного контроля ограничен верхним и нижним пределами размеров выявляемых дефектов. Эти пределы определяются максимальной и минимальной величинами раскрытия дефекта. Существуют четыре уровня чувствительности, зависящие от размеров выявляемых дефектов (табл. 6).

Достижение более высокого уровня чувствительности требует применения дорогостоящих материалов, специальной подготовки и увеличения времени контроля. Например, для применения люминесцентного метода

необходимо затемненное помещение, ультрафиолетовое излучение, оказывающее вредное действие на персонал.

Таблица 6

**Характеристики уровней чувствительности**

Уровень чувствительности	Размеры выявляемого дефекта, мкм		
	Ширина	Глубина	Длина
I	До 1	До 10	До 0,1
II	До 10	До 100	До 1
III	До 100	До 1000	До 10
IV	Свыше 100	Свыше 1000	Свыше 10

Технологический процесс капиллярного контроля включает в себя следующие этапы: подготовки поверхности, нанесения пенетрата, нанесения проявляющего состава, контроля, регистрации дефектов и окончательной очистки объекта.

На этапе подготовки поверхности происходит очистка детали от загрязнений, в результате чего исследуемая поверхность и, соответственно, возможные микрповреждения (трещины, поры) очищены и готовы для нанесения пенетрата.

На следующем этапе производится нанесение пенетрата и удаление с поверхности его излишков. В результате возможные трещины заполнены пенетратом.

Затем наносится проявляющий состав, необходимый для регистрации возможных микрповреждений, и удаляются его излишки.

Следующим этапом является процесс контроля выявленных дефектов, т. е. проявляются места и размеры дефектов.

И в завершение производится окончательная очистка объекта от остатков пенетрата и проявляющего состава.

После нанесения пенетрата необходим определенный промежуток времени для его проникновения в микротрещины. Например, для термических и шлифовальных трещин при температуре 5–25 °С это время со-

ставляет от 20 до 60 минут, для трещин в сварных соединениях при тех же условиях – от 15 до 40 минут, для пор в сварных швах – от 15 до 25 минут.

Определение дефектов при помощи капиллярного контроля проводят визуально или с помощью специальных аппаратов. Для люминесцентного контроля применяются стационарная установка КД-20Л (рис. 37, *а*) и переносная установка КД-32Л (рис. 37, *б*).

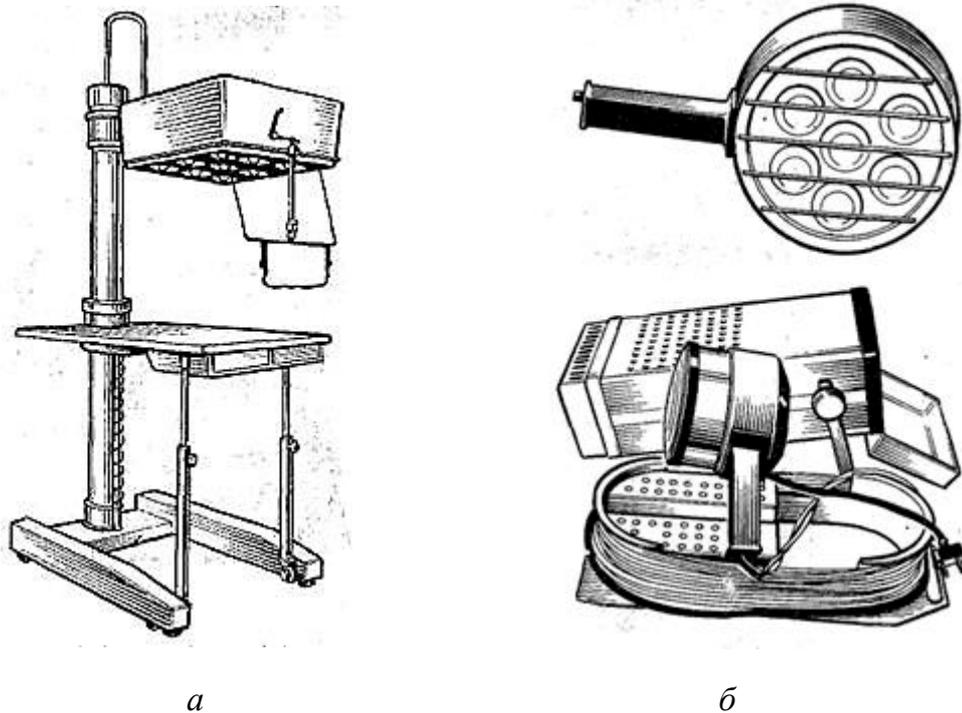


Рис. 37. Аппаратура для люминесцентного контроля:  
*а* – прибор КД-20Л; *б* – прибор КД-32Л

Установка КД-20Л имеет облучатель, подвижный в трех направлениях, контролируемое изделие располагают на столе переменной высоты. Прибор КД-32Л применяется для контроля крупногабаритных изделий.

Ультрафиолетовая облученность объекта контроля должна находиться в пределах  $750\text{--}3000 \text{ мкВт/см}^2$ . Ее проверяют по схеме (рис. 38, *а*). В затемненном помещении под проверяемым УФ-облучателем *1* устанавливают белый люминесцентный экран, изготовленный по технологии, изложенной в ГОСТ 18442–80. Расстояние *D* должно быть равным расстоянию от облучателя до места контроля. Параллельно экрану устанавливают

датчик люксметра 2 типа Ю-16 или Ю-116, перед входным окном которого располагают светофильтр 3 из стекла типа ЖС4 толщиной 5 мм. Светофильтр поглощает УФ- и пропускает видимое излучение.

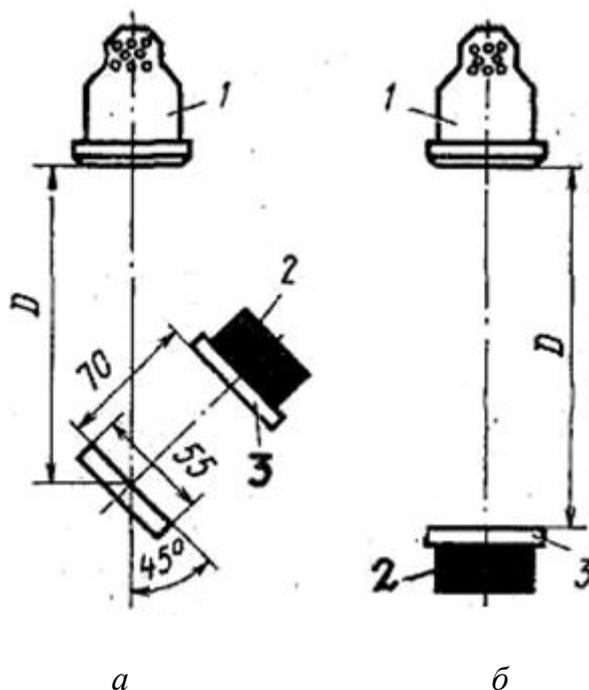


Рис. 38. Схема проверки ультрафиолетовой облученности (а) и подсветки видимым светом (б) от ультрафиолетового облучателя

Облученность определяют по показаниям люксметра в относительных единицах. За относительную единицу интегральной облученности принимают облученность, при которой люминесцирующий экран излучает световой поток, создающий освещенность в 1 лк. Проверяют также подсветку объекта контроля видимым светом, излучаемым УФ-облучателем 1. Для этого датчик 2 с фильтром 3 располагают на месте экрана (рис. 38, б). Подсветка не должна превосходить 30 лк [8].

Большинство дефектов, выявляемых капиллярным методом, можно определить с помощью визуального осмотра. Капиллярные методы применяются в авиационной и ракетно-космической технике, химической промышленности, судостроении. С помощью капиллярных методов контролируют как основной металл, так и сварные соединения из нержавеющей сталей, алюминия, титана и т. д.

В качестве примера дефектов, которые можно обнаружить данным методом, на рисунке 39 приведены дефекты пера лопатки.

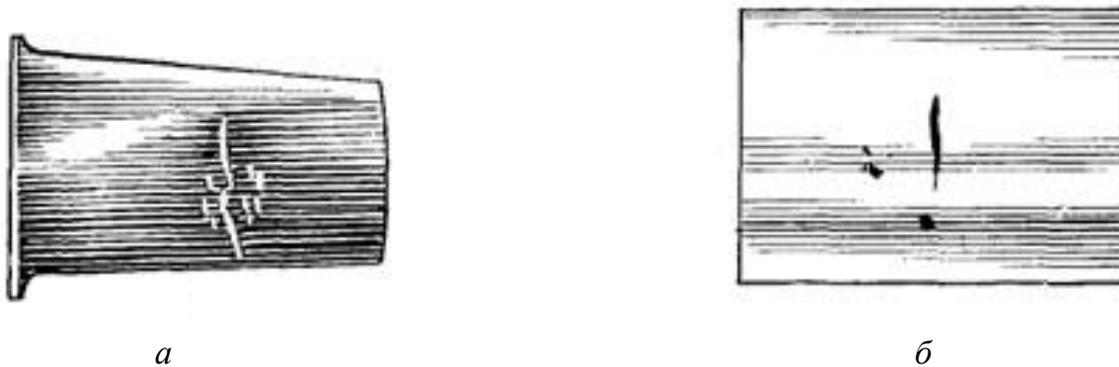


Рис. 39. Дефекты в пере лопаток:

*а* – усталостная трещина, выявлена люминесцентным методом;

*б* – заков, выявлен цветным методом

Подавляющее большинство дефектов, обнаруживаемых при контроле капиллярным методом, может выявляться при обычном визуальном осмотре, особенно если изделие предварительно протравить (дефекты при этом чернеют) и применить средства увеличения. Однако преимущество капиллярных методов состоит в том, что при их применении угол зрения на дефект возрастает в 10–20 раз (за счет того, что ширина индикаций больше, чем дефектов), а яркостный контраст – на 30–50 %. Благодаря этому нет необходимости в тщательном осмотре поверхности, и время контроля многократно уменьшается [8].

### *Магнитный метод*

Магнитный метод контроля применяют для выявления сварочных, шлифовочных трещин, отслаиваний, металлургических дефектов и непровара сварочного шва, растрескиваний и других дефектов изделий. Данный метод используется для контроля ферромагнитных сталей и сплавов и основан на способности таких материалов изменять магнитные характеристики под действием внешнего намагничивающего магнитного поля [8].

Сущность методов магнитного контроля состоит в том, что в процессе намагничивания ферромагнитной детали при наличии дефекта магнитные силовые линии огибают дефект и выходят за пределы поверхностей детали (рис. 40, а).

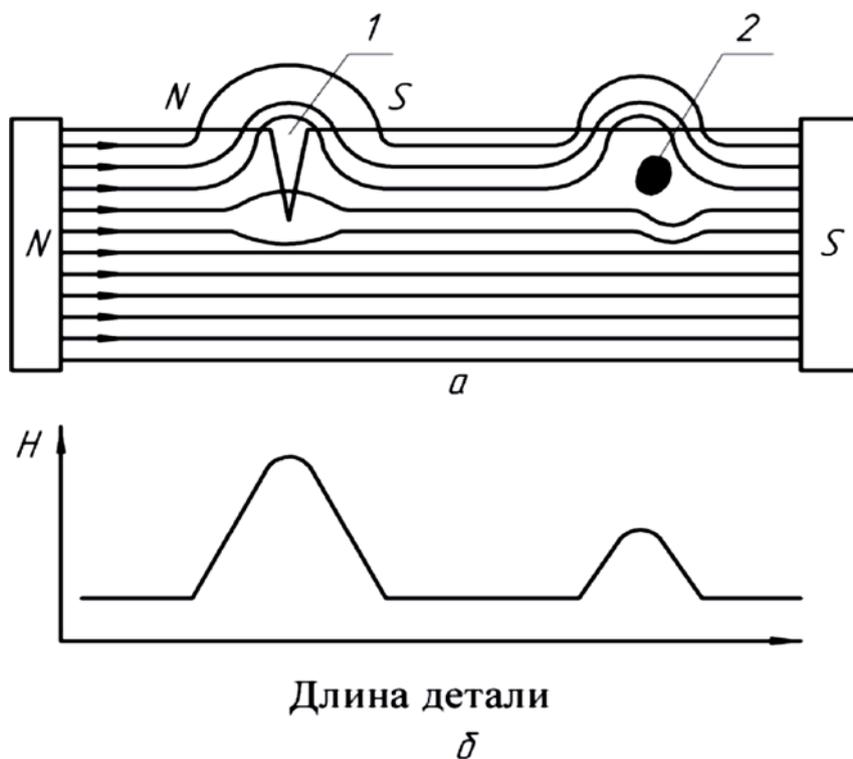


Рис. 40. Поток магнитных линий:

а – схема рассеивания магнитных силовых линий; 1 – трещина;  
2 – неметаллическое включение; б – изменение напряженности магнитного поля

У границ дефекта в местах выхода и входа магнитных силовых линий возникают магнитные полюсы  $N$  и  $S$ , и происходит изменение напряженности магнитного поля (рис. 40, б).

Существуют четыре метода магнитного контроля:

- 1) магнитопорошковый метод, который основан на способности ферромагнитных частиц специального порошка оседать на краях трещин;
- 2) магнитно-люминесцентный метод – основан на использовании специальных эмульсий и порошков, светящихся в ультрафиолетовом свете;

3) магнитографический метод – основан на применении магнитной ленты, прикладываемой к поверхности и намагничивающейся пропорционально потоку;

4) феррозондовый метод – основан на регистрации изменений магнитного поля с помощью феррозондового датчика.

При магнитопорошковом и магнитно-люминесцентном методах контроля последовательно осуществляются: намагничивание, нанесение индикаторных средств, регистрация и анализ дефектов, размагничивание.

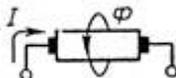
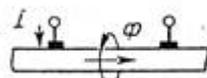
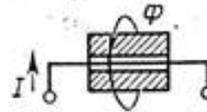
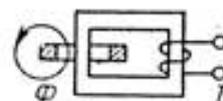
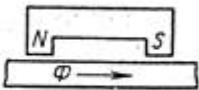
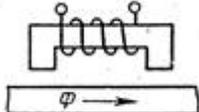
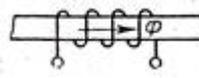
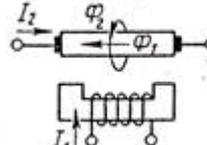
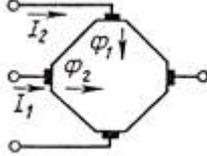
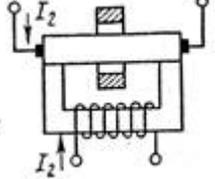
Выявление дефектов определяется параметрами намагничивания. Для наиболее эффективного определения дефектов необходимо, чтобы силовые линии магнитного поля были направлены перпендикулярно дефекту. Поэтому изделия простой формы намагничивают в двух направлениях, а детали сложной формы – в нескольких направлениях.

Применяют следующие виды намагничивания: продольное, циркулярное и комбинированное. Продольное намагничивание применяют при анализе поперечных трещин, циркулярное – при контроле деталей с соотношением  $l/d$  более 5 и при наличии продольных дефектов, а комбинированное – в случае неопределенности характера залегания дефекта. В таблице 7 приведены способы намагничивания изделий при магнитном контроле.

Магнитопорошковый метод обеспечивает обнаружение поверхностных и подповерхностных дефектов типа трещин, расслоений, непровара сварных соединений и т. п. Подповерхностные дефекты на глубине до 100 мкм могут быть обнаружены при такой же чувствительности, как и поверхностные дефекты. При глубине залегания дефектов до 2–3 мм могут быть обнаружены более грубые дефекты.

Для магнитной дефектоскопии применяются магнитно-люминесцентные порошки (Люмагпор 1, Люмагпор 2, Люмагпор 3), магнитно-люминесцентные пасты (МЛ-1, МЛ-2, МЛ-3), черный магнитный порошок по ТУ 6-14-1009–74, паста магнитная МП-70 по ТУ 6-09-38–71.

## Способы намагничивания изделий при магнитном контроле

Вид намагничивания	Способ намагничивания	Схема намагничивания
Циркулярное	Пропусканием тока по всему объекту	
	С помощью контактов, устанавливаемых на деталь	
	Пропусканием тока с помощью проводника, помещенного в сквозное отверстие детали	
	Путем индуцирования тока в объекте	
Продольное	При помощи постоянного магнита	
	При помощи электромагнита	
	При помощи соленоида	
Комбинированное	Пропусканием тока по объекту и при помощи электромагнита	
	Пропусканием по объекту двух токов во взаимно перпендикулярных направлениях	
	Индуцированием тока в объекте и пропусканием тока по проводнику, помещенному в сквозное отверстие в объекте	

В соответствии с ГОСТ 21105–75 выделяют три уровня чувствительности. Критерием уровня чувствительности является ширина дефекта, при этом предусмотрено отношение глубины дефекта к его ширине, равное 10 [12].

Для осуществления магнитопорошкового контроля применяют дефектоскопы. Комплект дефектоскопов включает источник тока и устройства для подвода тока к детали, устройства для намагничивания, устройства для нанесения суспензии на контролируемую деталь, измерители тока или напряженности поля и другие устройства. Применяют дефектоскопы типа УМДЭ-10000, УМДЭ-2500, МД-10П, МД-30П, У-604-68, МДС-5. Большинство дефектоскопов работает в автоматизированном режиме (кроме операции осмотра).

### *Магнитографический метод*

При использовании магнитографического метода проводится запись полей дефектов на магнитной ленте с помощью магнитографического дефектоскопа. Такой способ регистрации дефектов улучшает их обнаружение в условиях, когда структура материала на соседних участках неоднородна, например в случае контроля стыков сварного шва.

Метод имеет более высокую чувствительность по сравнению с магнитопорошковым контролем. Это объясняется взаимодействием записывающей магнитной ленты с полем дефекта. Так, минимальная напряженность поля, обнаруживаемого магнитной лентой, составляет 40 А/см, а при магнитопорошковом контроле – 160 А/см.

Изделия с глубинными дефектами намагничивают постоянным током, а с поверхностными дефектами – переменным или импульсным током. Глубина обнаруживаемых дефектов ограничивается мощностью намагничивающих устройств и возможностью равномерного намагничивания изделия. Современная аппаратура позволяет обнаруживать дефекты на глубине 20–25 мм.

Магнитографический метод диагностики предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовка участка изделия к контролю;
- намагничивание изделия или его части с магнитной лентой, прижатой к контролируемому участку;
- запись поля дефекта на магнитную ленту;

– воспроизведение записи с помощью магнитографического дефектоскопа;

– разбраковка изделий по результатам воспроизведения записи.

Применяются дефектоскопы типов МД-9, МД-11, МДУ-24, МД-10ИМ. Настройку магнитографических дефектоскопов проводят по эталонным магнитным лентам. Такие ленты намагничивают на специальных сварочных копировальных станках на конкретном предприятии по технологии, которая впоследствии будет объектом контроля.

### *Ультразвуковой метод*

Метод ультразвукового контроля основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в теле в виде направленной волны и отражаться от границ дефекта, поскольку область дефекта представляет собой среду с резко отличающейся величиной акустического сопротивления [11].

С помощью данного метода становится возможным определение таких скрытых дефектов, как трещины, поры, раковины, шлаковые включения, непровар в изделиях из стали, алюминия, меди, бетона.

Для выявления скрытых дефектов подобным методом необходимо, чтобы их размеры были меньше (или равны) длины ультразвуковой волны. Известно, что скорость распространения волны зависит от частоты и длины волны, т. е.

$$V = \lambda \cdot f, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость распространения ультразвуковой волны, м/с;

$\lambda$  – длина волны, м;

$f$  – частота колебаний, Гц.

Для повышения чувствительности метода необходимо увеличить частоту колебаний, а поскольку  $V = \text{const}$ , то уменьшится длина волны и станет возможным определение более мелких по размерам дефектов.

Чувствительность контроля зависит также от размеров надежно выявляемого дефекта в данном материале. Она зависит от частоты устройства, акустических свойств материала, чистоты исследуемой поверхности, структурного состояния материала и глубины залегания дефекта. В реальных условиях могут быть выявлены трещины площадью 1–10 мм<sup>2</sup> [11].

Для передачи ультразвуковых колебаний в исследуемый объект применяется устройство, называемое щупом. По времени распространения ультразвука в изделии (если известна скорость ультразвука, скорость распространения ультразвуковых волн в различных материалах, в данном металле) определяют расстояние до дефекта, а по амплитуде отраженного импульса – его относительный размер. Наибольшее распространение получили теневой и эхо-импульсный методы ультразвукового контроля (рис. 41, *а* и *б*).

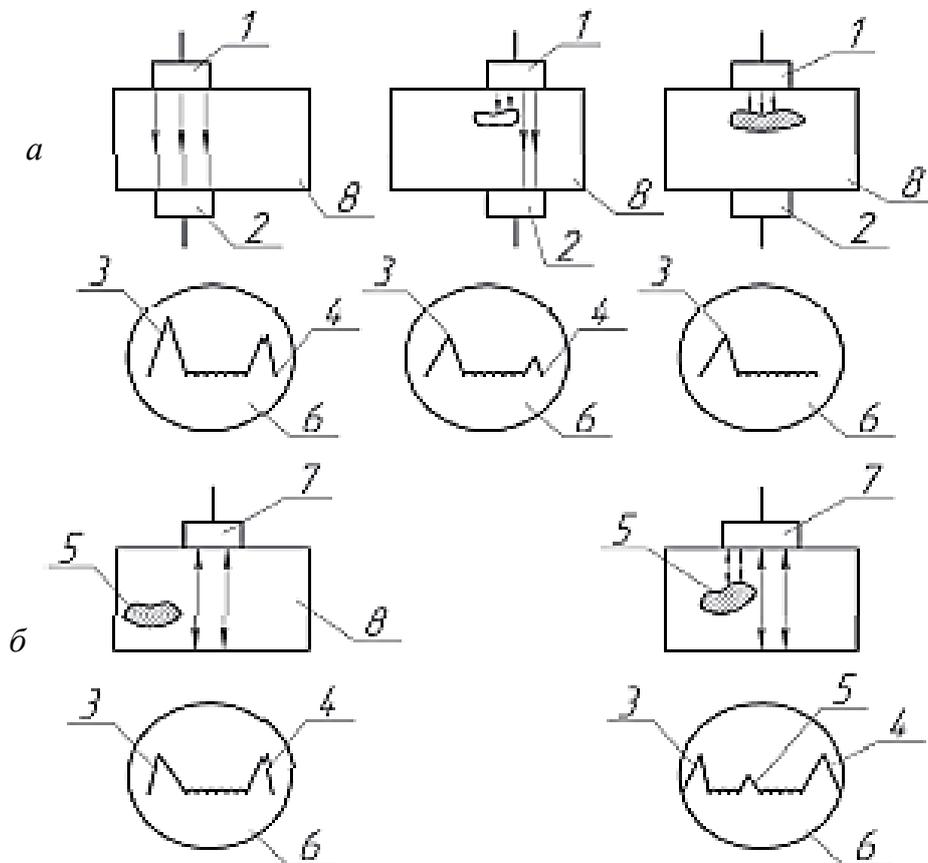


Рис. 41. Теневой (*а*) и эхо-импульсный (*б*) методы ультразвукового контроля:  
 1, 2 – искательные головки; 3 – начальный импульс; 4 – конечный импульс;  
 5 – внутренний дефект; 6 – экран осциллографа; 7 – щуп; 8 – изделие

При теновом методе (рис. 41, *а*) используются два щупа (поз. 1 и 2), один из которых является источником ультразвуковых волн, а другой – приемником. При контроле щупы располагают на противоположных поверхностях строго соосно. Способ обладает довольно высокой чувствительностью, однако необходимо соблюдение ряда условий:

- 1) высокая квалификация оператора, так как работа осуществляется двумя щупами;
- 2) качественная подготовка обеих поверхностей к контролю;
- 3) возможность доступа к изделию с обеих сторон, иначе метод неприменим.

Импульсы от искательных головок отражаются на экране осциллографа б. При отсутствии внутренних дефектов величина конечного импульса довольно высока, при частичном попадании ультразвуковой волны на дефект сигнал конечного импульса ослабевает, а при полном попадании на дефект – полностью исчезает.

При эхо-импульсном методе контроля (см. рис. 41, *б*) используется один щуп, который может работать как излучатель и как приемник. Таким образом, контроль возможен при одностороннем доступе к изделию.

Существуют следующие виды искательных головок: прямые, наклонные, раздельно-совмещенные (рис. 42).

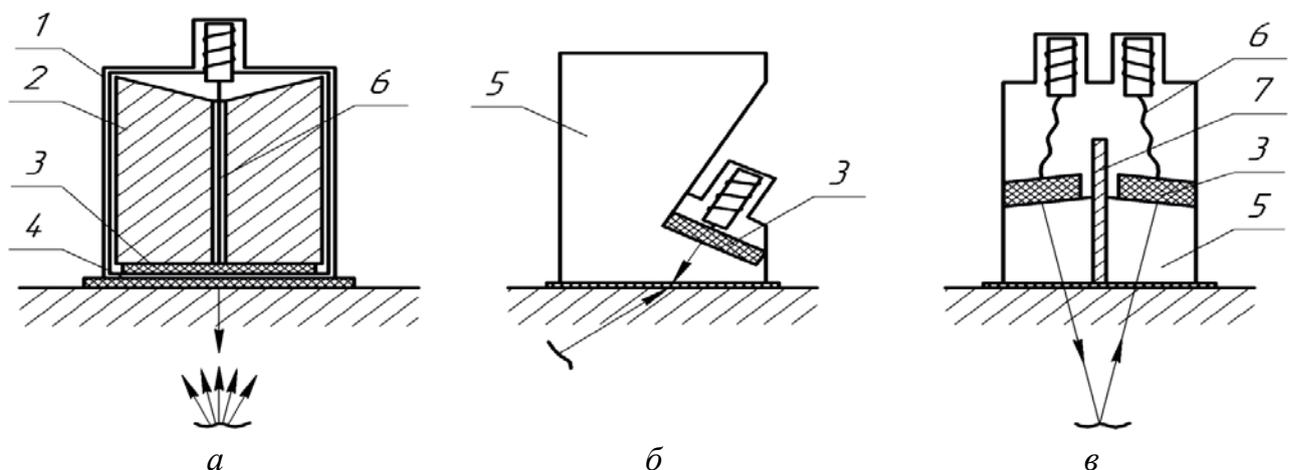


Рис. 42. Схема ультразвуковых преобразователей искательных головок:  
*а* – прямой; *б* – наклонный; *в* – раздельно-совмещенный; 1 – корпус;  
 2 – демпфер; 3 – пьезопластина; 4 – защитное доньшко (протектор);  
 5 – призма; 6 – токопровод; 7 – акустический экран

В раздельно-совмещенных головках (рис. 42, в) один элемент является источником, а другой приемником. Процесс излучения и приема в таких головках является непрерывным.

В некоторых случаях внутренний дефект может быть расположен в зоне, недоступной для нормальной головки. В таком случае применяется призматический щуп (рис. 43).

Особенностью конструкции призматического щупа является то, что плоскость пьезоэлемента образует постоянный угол с поверхностью исследуемой детали. Поэтому при перемещении такой головки перпендикулярно шву становится возможным обнаружение дефектов, недоступных для нормальной головки. Ультразвуковой сигнал отражается от дефекта и принимается щупом в период паузы.

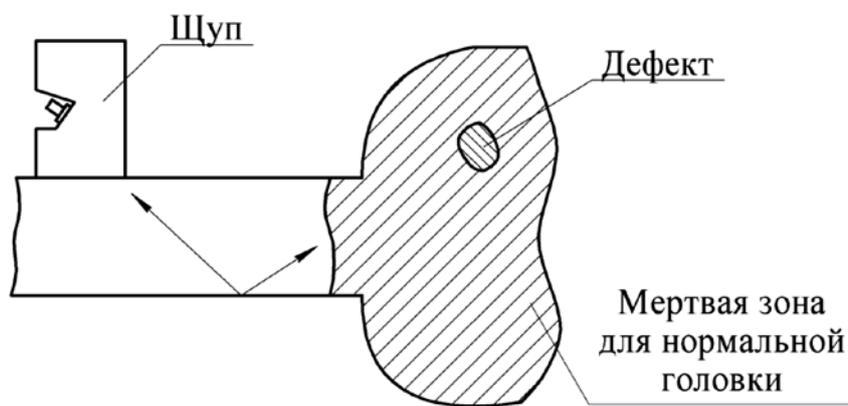


Рис. 43. Определение дефекта при помощи призматического щупа

При проведении ультразвукового контроля (УЗК) необходимо, чтобы поверхность имела высокое качество ( $Rz10 - Rz20$ ), обязательно используется контактная жидкость (тонкий слой мыльной воды или специальная паста) для исключения прослойки воздуха между щупом и поверхностью, так как появление такой прослойки может привести к рассеиванию или полной потере сигнала.

Для каждой детали разрабатывают свою методику контроля, где отражают: назначение методики; метод контроля, тип выбранной волны и частоту УЗК; тип дефектоскопа и искателя; стандартные образцы для наст-

ройки; порядок проверки и настройки дефектоскопа; порядок проведения контроля [11].

Преимущества ультразвукового контроля:

- 1) высокая точность и скорость исследования, а также низкая стоимость;
- 2) безопасность для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией);
- 3) высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
- 4) возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, т. е. на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации;
- 5) безопасность исследуемого объекта, т. е. при проведении ультразвукового контроля объект не повреждается.

Недостатками ультразвукового контроля являются:

- 1) невозможность определения реальных размеров дефекта;
- 2) трудности при ультразвуковом контроле металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука;
- 3) подготовка поверхности изделия к контролю для ввода ультразвуковых волн в металл;
- 4) необходимость применения контактных жидкостей.

#### *Импедансный метод*

Данный метод применяется для контроля дефектов в клеевых, паяных соединениях (непроклей, непропай) и основан на различии механических импедансов бездефектного и дефектного слоев (рис. 44).

Для определения дефектов подобным методом в многослойной конструкции создаются изгибные колебания. При отсутствии дефектов конструкция изгибается как единое целое, поэтому механический импеданс

будет максимальным  $F_p$ . При наличии дефектов импеданс будет значительно ниже  $F'_p$ , поскольку изгибные колебания возбуждаются только в наружном слое, жесткость которого значительно меньше жесткости всей конструкции. Для успешного применения данного метода необходимо, чтобы соотношение  $F_p/F'_p$  было достаточно большим.

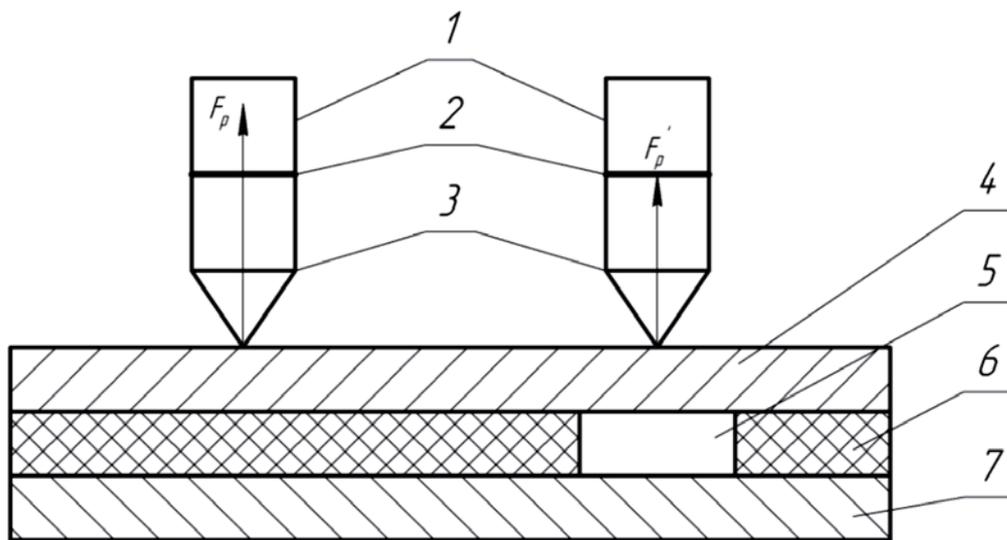


Рис. 44. Схема контроля деталей импедансным методом:

1 – искатель; 2 – пьезоэлемент-излучатель; 3 – пьезоэлемент-приемник;  
4, 7 – обшивка контролируемой конструкции; 5 – непроводящий материал (отслоение, непропай);  
6 – соединительный элемент (припой, клей);  $F_p$  и  $F'_p$  – реакции

Для подбора оптимальных режимов контроля используют образцы с искусственными или естественными дефектами, имеющие такие же параметры, что и контролируемое изделие. Для контроля используются дефектоскопы типа ИАД-2, ИАД-3, АД-40И. При контроле датчик перемещают по поверхности, при этом необходимо следить, чтобы нормаль датчика не отклонялась более чем на  $10^\circ$ .

На эффективность контроля импедансным методом влияют такие факторы, как разброс значений механических импедансов в бездефектных зонах, наличие участков со смятыми сотами, крупных ячеек сот с размерами более 6 мм, увеличение толщины обшивки, увеличение шероховатости и кривизны поверхности.

## Контрольные вопросы

1. Какие задачи решаются в процессе диагностики на стадии, предшествующей плановому ремонту?
2. На какие группы делятся детали при дефектации?
3. Какие методы контроля используются для выявления скрытых дефектов?
4. Приведите классификацию методов дефектации.
5. В какой последовательности выполняется контроль деталей?
6. В каком порядке проводится дефектация подшипников качения?
7. В каком порядке проводится дефектация шестерен?
8. В каком порядке проводится дефектация валов?
9. В чем суть метода определения износа с помощью искусственных баз?
10. Какие этапы предполагает капиллярный метод контроля скрытых дефектов?
11. В чем суть магнитного контроля скрытых дефектов?
12. В чем суть ультразвукового контроля скрытых дефектов?

## 4. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

### 4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

*Технологический процесс (ТП) восстановления деталей* – это процесс, содержащий целенаправленные действия по изменению определенного состояния детали с целью восстановления ее эксплуатационных свойств.

Применение в процессе ремонта восстановленных деталей позволяет значительно снизить его стоимость, поскольку стоимость восстановленных деталей составляет 10–50 % стоимости изготовления новых деталей. При изготовлении деталей стоимость материалов и заготовок для них (отливок, штамповок) составляет 70–75 % общей стоимости, в то время как стоимость восстановления этих же самых деталей составляет 6–8 % от стоимости изготовления. Такое различие объясняется тем, что при восстановлении деталей заготовкой является сама деталь, и обрабатываются только поверхности, требующие восстановления. Чем сложнее деталь и выше затраты на ее изготовление, тем ниже затраты на её восстановление [11].

Еще одним фактором в пользу применения различных способов восстановления является то, что примерно 65 % деталей имеют износ не более 0,15 мм, а 85 % – износ не более 0,3 мм. Повторно после восстановления могут использоваться до 70 % деталей. Количество операций при восстановлении в 5–8 раз меньше, чем при изготовлении. Современные технологии восстановления способны обеспечить ресурс восстановленной детали на уровне 70–80 % от ресурса новой детали.

Однако трудоемкость восстановления иногда выше, чем при изготовлении. Это объясняется мелкосерийным характером производства, использованием универсального оборудования, частыми переналадками оборудования и мелкими партиями деталей.

Согласно исследованиям наблюдается следующее распределение по форме изнашивающихся поверхностей: износ больших отверстий – 7,7 %; износ малых отверстий – 31 %; износ шеек валов и осей – 11,5 %; износ шпоночных канавок и шлицев – 5,5 %; износ фасонных поверхностей –

10,3 %, износ резьб – 5 %; коробление плоскостей – 18 %; прочие износы – 11 % [13].

В таблице 8 приведены сведения по распределению износа рабочих поверхностей к общему числу деталей.

Таблица 8

**Износ рабочих поверхностей**

Износ, мм	0,01– 0,07	0,07– 0,14	0,14– 0,21	0,21– 0,28	0,28– 0,35	0,35– 0,42	0,42– 0,49	Свыше 0,49
% к об- щему числу	42,2	23,2	11,1	7,5	5	3,7	2,2	5,1

Различные способы восстановления можно применять для устранения таких дефектов, как: износ рабочих поверхностей, вызывающий нарушение точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей; механические повреждения в виде трещин, обломов, пробоин, рисок; нарушение сплошности покрытий, нанесенных окраской, гальваническими или химическими способами.

В результате высоких нагрузок на рабочих поверхностях деталей возникают дефекты в виде трещин, забоин, которые снижают статическую и усталостную прочность деталей. Поэтому при назначении способа восстановления необходимо применять способ, восстанавливающий прочностные свойства.

Детали, работающие на трение, а также подверженные ударам абразивных частиц, имеют такой дефект, как износ рабочих поверхностей. Нарушение шероховатости поверхности и изменения в поверхностных слоях снижают прочностные характеристики детали. В таких деталях восстанавливают шероховатость поверхности и качество поверхностного слоя. Это достигается удалением поврежденных слоев металла с соблюдением требований к форме и размерам поверхностей.

Детали, работающие в агрессивной среде, при изготовлении защищаются от коррозии специальными металлическими, полимерными и другими покрытиями, которые в процессе работы постепенно разрушаются и начинают подвергаться коррозии. При ремонте необходимо восстановить эти покрытия.

Таким образом, для устранения перечисленных дефектов применяются разнообразные способы восстановления (табл. 9), которые можно разделить на две группы: способы обработки и способы наращивания.

Таблица 9

**Классификация способов восстановления**

Способы наращивания		Способы обработки	
Сварка и наплавка	Лазерная	Пластическое деформирование	Правка
	Плазменная		Накатка
	Газовая		Обжатие
	Дуговая		Раздача
Гальванические покрытия	Меднение	Слесарно-механическая обработка	Чеканка
	Никелирование		Раскатка
	Железнение		Вытяжка
	Хромирование		Осадка
Газотермическое напыление	Детонационное газопламенное (газовоздушное, газокислородное, высокочастотное)	Слесарно-механическая обработка	Постановка дополнительной ремонтной детали (ДРД)
	Газоэлектрическое (плазменное, электродуговое)		Обработка под ремонтный размер
Нанесение синтетических материалов	Газопламенное		Слесарно-механическая обработка
	Под давлением		
	Прессованием		
	В псевдосжиженном слое		

Первоначальную посадку в сопряжениях восстанавливают путем изменения начальных размеров сопрягаемых деталей (способ ремонтных размеров), постановкой дополнительной ремонтной детали, а также способами, основанными на перемещении металла детали к ее изношенной части.

Наплавка оказывает на изделие термическое влияние, вызывающее возникновение деформаций и напряжений. Поэтому после применения наплавки необходимо предусмотреть использование методов термической обработки, таких как отпуск и нормализация, и применение технологических операций для исправления формы детали.

Нанесение покрытия вызывает снижение сопротивления усталости, поэтому с целью его повышения необходимо предусмотреть дополнительные технологические операции, такие как термообработка и упрочнение. Особенно это актуально для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок.

Прочность сцепления покрытий с основным металлом часто является решающим фактором при выборе способа восстановления детали. Наибольшей прочностью обладают покрытия, выполненные газовой, электро- и вибродуговой наплавкой и электроискровым нанесением слоя металла. Прочность сцепления металлизационного покрытия с поверхностью основного металла является главным эксплуатационным свойством, определяющим работоспособность восстановленных по этому способу деталей.

При назначении способов восстановления учитываются такие факторы, как материал детали, условия работы детали в узле, производственные возможности предприятия, величина износа, форма, размеры детали, возможность термической обработки, себестоимость ремонта. Если деталь можно восстановить несколькими способами, то предпочтение отдают наиболее экономичному способу, при котором обеспечивается максимальный межремонтный ресурс и наименьшая величина удельной себестоимости ремонта на единицу времени работы детали.

Таким образом, при выборе оптимальной технологии восстановления деталей конкретной номенклатуры необходимо предусмотреть решение комплекса вопросов, отражающих условия производственной деятельности предприятия, его тип, форму организации и учитывающих объем и конструктивно-технологическую классификацию восстановления деталей, транспортные затраты.

## **4.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СПОСОБАМИ ОБРАБОТКИ ПОД РЕМОНТНЫЙ РАЗМЕР**

Одним из способов восстановления деталей механической обработкой является обработка под ремонтный размер. Так восстанавливают различные детали пар трения типа «вал – втулка» или «поршень – цилиндр». Суть способа состоит в следующем: наиболее дорогостоящую деталь (например, коленчатый вал) восстанавливают, обрабатывая под ремонтный размер, а вторая деталь (например, вкладыш) заменяется на новую или тоже восстанавливается под ремонтный размер. С помощью данного способа восстанавливают геометрическую форму, шероховатость и прочностные характеристики изношенных поверхностей деталей.

Ремонтные размеры подразделяют на регламентированные и нерегламентированные. Регламентированные размеры назначает предприятие-изготовитель, и детали с регламентированными размерами выпускает промышленность. Примерами таких деталей могут служить поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, тонкостенные вкладыши. Ремонтные предприятия обрабатывают сопряженные детали под регламентированные размеры, в этих деталях сохраняются класс точности и посадка, предусмотренные в рабочих чертежах. В качестве примера в таблице 10 приведены значения регламентированных ремонтных размеров шеек коленчатого вала двигателей для автомобилей ЗИЛ-130 и ЗИЛ-131.

**Номинальные и ремонтные размеры шеек коленчатого вала двигателя  
для ЗИЛ-130 и ЗИЛ-131**

Размеры	Уменьшение диаметра, мм	Диаметр шеек, мм	
		коренных	шатунных
Номинальный	–	74,98–75,00	65,5 <sup>-0,013</sup>
Ремонтные:			
1-й	0,05	74,93–74,95	65,45 <sup>-0,013</sup>
2-й	0,3	74,68–74,70	65,2 <sup>-0,013</sup>
3-й	0,6	74,38–74,40	64,9 <sup>-0,013</sup>
4-й	1,00	73,98–74,00	64,5 <sup>-0,013</sup>
5-й	1,25	73,73–73,75	64,25 <sup>-0,013</sup>
6-й	1,5	73,48–73,50	64,00 <sup>-0,013</sup>
7-й	2,0	72,98–73,00	63,5 <sup>-0,013</sup>

Нерегламентированные размеры – это размеры с учетом припуска на пригонку детали «по месту». В таком случае восстанавливаемую деталь обрабатывают до получения необходимой шероховатости и правильной геометрической формы. В качестве примера можно привести обработку фаски седла клапана в головке цилиндров лишь до выведения следов износа, в которой затем по месту притирается клапан двигателя.

Преимуществами способа обработки под ремонтный размер являются увеличение срока службы сложных и дорогих деталей и повышение качества ремонта. Однако имеется и ряд недостатков: ограничение взаимозаменяемости восстановленных деталей и снижение их износостойкости после снятия поверхностного слоя металла.

Значение и число регламентированных ремонтных размеров зависят от износа деталей за межремонтный период, от припуска на механическую обработку и от запаса прочности детали или глубины термической обработки ее поверхностного слоя [14].

На рис. 45 представлены расчетные схемы для определения величины и количества ремонтных размеров при восстановлении вала и отверстия. На данном рисунке размеры вала и отверстия по рабочему чертежу обо-

значены соответственно  $d_n$  и  $D_n$ . Первые ремонтные размеры –  $d_{p1}$  и  $D_{p1}$ , максимальный и минимальный износ поверхности на сторону –  $U_{max}$  и  $U_{min}$ , припуск на механическую обработку на сторону –  $z$ .

Исходя из представленных расчетных схем, первый ремонтный размер для наружных цилиндрических поверхностей можно определить по формуле  $d_{p1} = d_n - 2 \cdot (U_{max} + z)$ ; для внутренних цилиндрических поверхностей –  $D_{p1} = D_n + 2 \cdot (U_{max} + z)$ .

Для упрощения определения величины износа вводится коэффициент неравномерности износа:

$$\beta = U_{max} / U, \beta = 0,5-1.$$

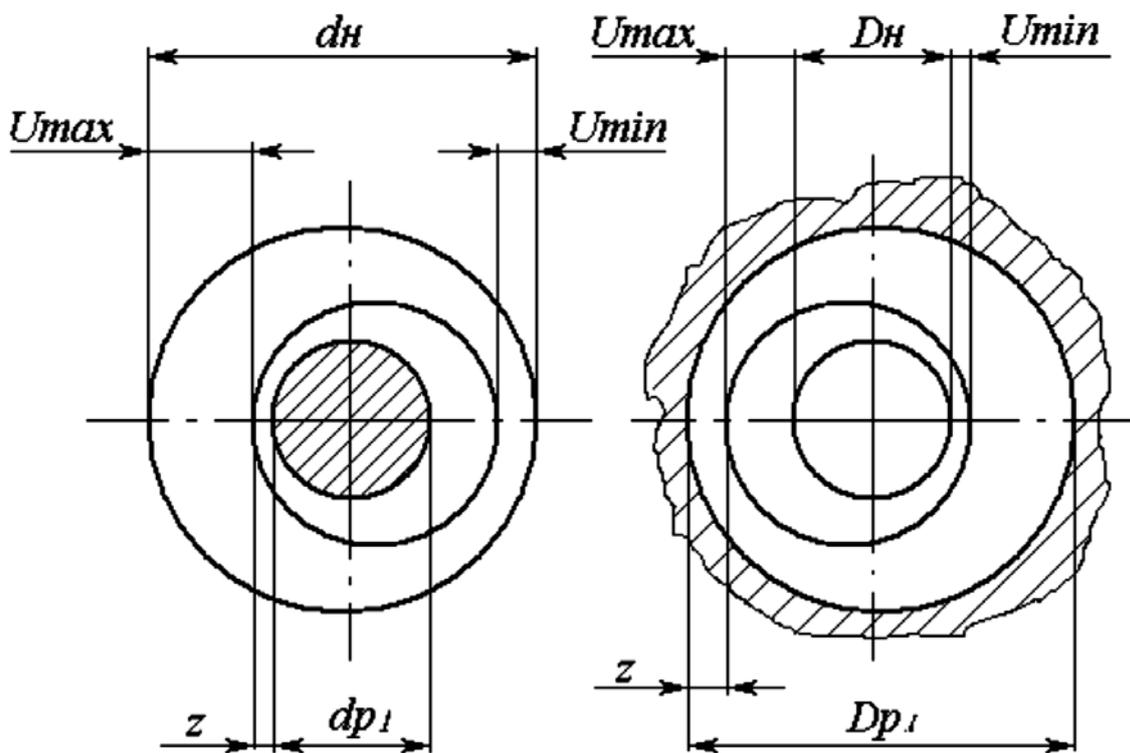


Рис. 45. Расчетные схемы для определения величины и количества ремонтных размеров

При симметричном износе  $\beta = 0,5$ , поскольку  $U_{max} = U_{min} = U/2$ ; при одностороннем износе  $U_{max} = U$ ,  $U_{min} = 0$ ,  $\beta = 1$ . Для конкретных случаев износа  $\beta$  устанавливают опытным путем.

Подставив  $\beta$  в приведенные формулы, получаем выражения для практического использования:

$$d_{p1} = d_n - 2 \cdot (\beta \cdot U + z);$$
$$D_{p1} = D_n + 2 \cdot (\beta \cdot U + z).$$

Обозначим  $2 \cdot (\beta \cdot U + z) = \gamma$  – межремонтный интервал.

Тогда ремонтные размеры для вала будут определяться как:

$$d_{p1} = d_n - \gamma;$$
$$d_{p2} = d_n - 2 \cdot \gamma;$$

.....

$$d_{pn} = d_n - n \cdot \gamma.$$

Ремонтные размеры для отверстия:

$$D_{p1} = D_n + \gamma;$$
$$D_{p2} = D_n + 2 \cdot \gamma;$$

.....

$$D_{pn} = D_n + n \cdot \gamma.$$

Количество ремонтных размеров для вала и отверстия можно определить по формулам:

$$n_{\text{вала}} = (d_n - d_{\min})/\gamma;$$
$$n_{\text{отв}} = (D_{\max} - D_n)/\gamma,$$

где  $d_{\min}$  и  $D_{\max}$  определяют по условиям прочности деталей из конструктивных соображений или исходя из минимального слоя химико-термической обработки.

В качестве примера применения способа восстановления обработкой под ремонтный размер рассмотрим технологический процесс восстанов-

ления гильзы цилиндров, который включает в себя операции растачивания и хонингования.

Растачивание производится на вертикальных алмазно-расточных станках марок 278 и 2А78Н (рис. 46). Перед растачиванием проверяют соосность оси шпинделя и оси симметрии цилиндра, причем эксцентриситет не должен превышать 0,03 мм. При растачивании гильз цилиндров следят за толщиной стенок, причем разница в толщине стенок, измеренная в разных поясах, не должна превышать 0,06 мм.

При проектировании операции растачивания определяют припуск по формуле

$$z = D_{pp} - D_{и} - z_x,$$

где  $D_{pp}$  – ближайший ремонтный размер, мм;  $D_{и}$  – диаметр изношенного цилиндра, мм;  $z_x = 0,03-0,05$  мм – припуск на хонингование.

Затем определяют глубину резания, которая составляет 0,1–0,15 мм; назначают нормативную подачу, составляющую 0,05–0,10 мм/об, и скорость резания 80–120 м/мм.

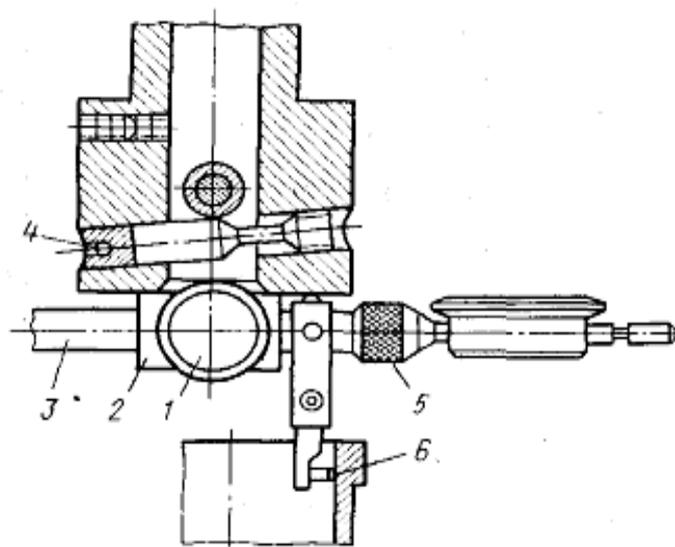


Рис. 46. Резцовая головка станка 2А78Н с приспособлением для центрирования гильз:  
1 – винт; 2 – колодка; 3 – рычаг; 4 – шариковая оправка;  
5 – гайка; 6 – упор рычага

После растачивания производят доводочную операцию на вертикально-хонинговальных или вертикально-сверлильных станках с использованием хонинговальной головки с подачей охлаждающей жидкости в зону обработки (рис. 47).

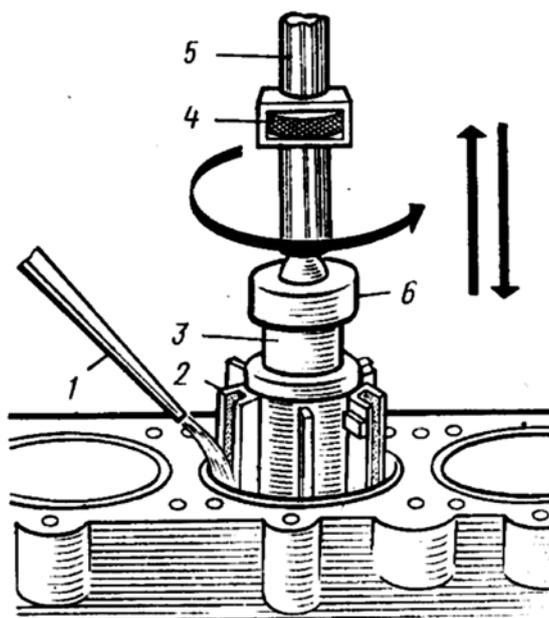


Рис. 47. Схема процесса хонингования блока цилиндров:

1 – подача охлаждающей жидкости; 2 – сменные абразивные бруски;  
3 – хонинговальная головка; 4 – кольцо подачи; 5 – хвостовик; 6 – шарнир

В качестве охлаждающей жидкости при хонинговании используют керосин или смесь керосина (80–90 %) с машинным маслом, обильно подаваемую в цилиндр в ходе всего процесса. На хонинговальной головке по окружности расположены 5–6 сменных абразивных брусков. Бруски разжимаются вручную, а также гидравлическим или пневматическим приводом.

При хонинговании определяют следующие режимы обработки:

1) скорость вращения головки

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000, \text{ м/мин,}$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемого отверстия, мм;

$n$  – частота вращения хонинговальной головки, об/мин;

2) скорость возвратно-поступательного движения

$$V_{В.П} = 2 \cdot L \cdot n_2 / 1000, \text{ м/мин,}$$

где  $n_2$  – число двойных ходов головки за 1 минуту;

$L$  – длина рабочего хода хонинговальной головки, мм;

$$L = l_{\text{отв}} + 2l_{\text{пер}} - l_{\text{бр}},$$

где  $l_{\text{отв}}$  – длина отверстия цилиндра, мм;

$l_{\text{пер}}$  – величина перебега брусков за край цилиндра ( $l_{\text{пер}} = (0,2-0,3) \cdot l_{\text{бр}}$ );

$l_{\text{бр}}$  – длина абразивного бруска, мм.

Одним из преимуществ хонингования является формирование в процессе обработки микрорельефа с плоскими выступами и углублениями для смазки (рис. 48). Таким образом увеличивается маслосъемность и опорная площадь обработанной поверхности, в результате чего значительно сокращается время приработки, повышается износостойкость поверхности и повышается ресурс работы двигателя.

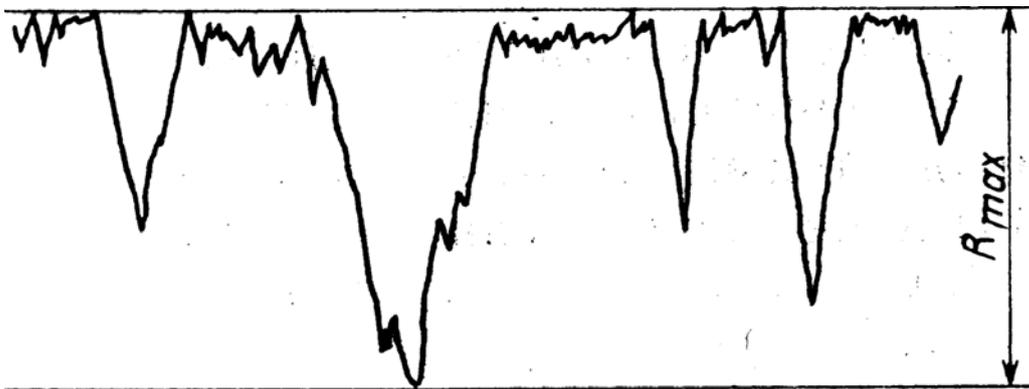


Рис. 48. Профиль участка гильзы при плосковершинном хонинговании

Для увеличения износостойкости цилиндров и ресурса двигателя используют хонингование алмазными брусками на эластичной каучукодержавшей связке. Бруски при этом обладают локальной эластичностью.

Алмазные зерна погружаются в связку и выступают из нее, когда зерно расположено над впадиной микропрофиля, это делает края рисок микропрофиля овальными, без заусенцев.

Преимущества:

- исключаются прихваты поршневых колец и задиры;
- снижаются механические потери, частота вращения коленчатого вала повышается от 200 до 500 об/мин;
- увеличивается мощность;
- стабилизируется и снижается расход масла;
- снижается удельный расход топлива от 1,5 до 2 г/л.с.·ч;
- увеличивается долговечность двигателя на 30–40 %.

При хонинговании антифрикционными брусками риски на поверхности детали заполняются менее твердыми металлами и антифрикционными веществами, входящими в состав брусков.

### **4.3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПОСОБОМ ПОСТАНОВКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РЕМОНТНОЙ ДЕТАЛИ (ДРД)**

Дополнительные ремонтные детали применяются для компенсации износа поверхности или для замены части поврежденной детали. В первом случае дополнительная ремонтная деталь устанавливается непосредственно на изношенную поверхность. Таким способом можно восстановить посадочные отверстия под подшипники качения, отверстия с изношенной резьбой и т. д.

Дополнительные ремонтные детали могут иметь форму втулки, гильзы, шайбы, резьбовой втулки (рис. 49).

При восстановлении деталей сложной формы, имеющих поврежденные части, осуществляется полное удаление этих частей и постановка заранее изготовленной дополнительной ремонтной детали. Таким способом, например, восстанавливают блоки шестерен (рис. 50).

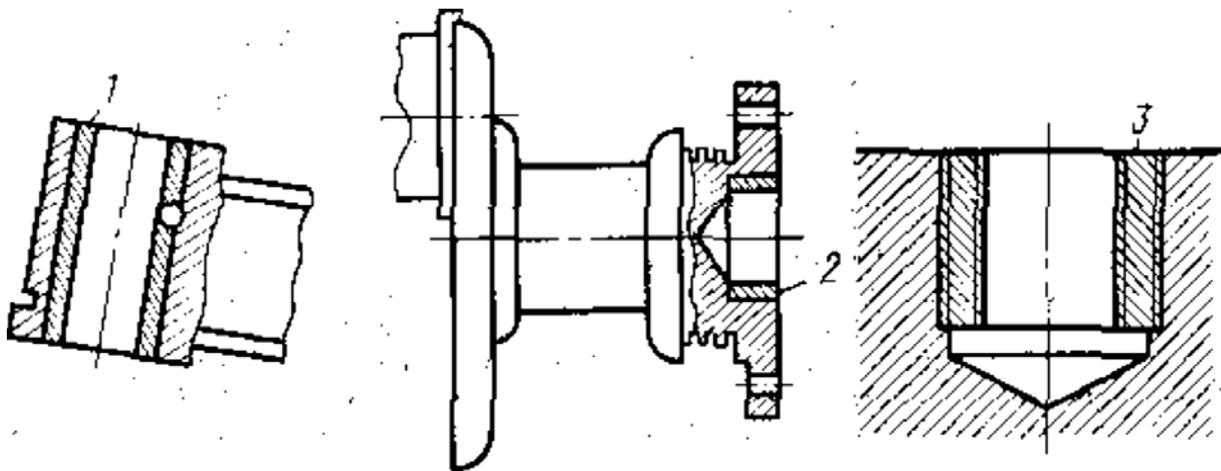


Рис. 49. Виды дополнительных ремонтных деталей:

1, 2 – втулки; 3 – ввёртыш

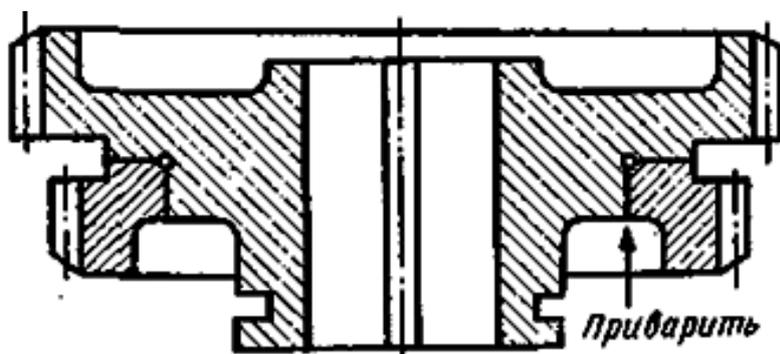


Рис. 50. Применение дополнительной ремонтной детали при восстановлении блока шестерен

Дополнительная ремонтная деталь должна быть изготовлена из того же материала, что и восстанавливаемая деталь, и свойства рабочей поверхности должны соответствовать свойствам восстанавливаемой детали [15].

Крепление дополнительных ремонтных деталей осуществляют посадкой с натягом, приваркой или установкой стопорных винтов и штифтов. Чтобы обеспечить прочную посадку ДРД в виде втулок, сопрягаемые поверхности детали и втулки обрабатывают по допускам посадки  $h7/H6$  второго класса точности. Шероховатость поверхности должна быть не менее  $Ra = 1,25-0,32$  мкм. Сопрягаемые поверхности при запрессовке покрывают графитом в смеси с маслом. После установки дополнительной ремонт-

ной детали проводят ее механическую обработку до восстановления требуемых размеров и свойств рабочих поверхностей.

Преимуществом данного метода восстановления является простота технологических процессов и применяемого оборудования. В качестве недостатков можно выделить то, что данный метод не всегда экономически оправдан из-за расхода материалов на изготовление дополнительных ремонтных деталей. Также возможно снижение механической прочности восстанавливаемых деталей.

Разновидностью способа ДРД является пластинирование – способ облицовки рабочих поверхностей деталей машин тонкими износостойкими легкоменяемыми пластинами. Областью его применения является производство и ремонт машин, имеющих детали с интенсивно изнашивающимися поверхностями в виде гладких замкнутых и разомкнутых цилиндрических и конических отверстий, а также плоских поверхностей.

В таблице 11 приведена классификация видов пластинирования.

*Таблица 11*

**Виды пластинирования**

Назначение	Виды пластинирования	Цели
Восстановление эксплуатационных характеристик	Износостойкое	Увеличение ресурса деталей
		Повышение ремонтпригодности деталей
		Увеличение долговечности деталей в результате обработки пластин
	Восстановительное	Восстановление ранее пластинированных деталей
		Восстановление не пластинированных ранее деталей
	Регулировочное	Регулирование взаимного расположения деталей в сопряжении
Компенсация износа деталей в сопряжении		

Назначение	Виды пластинирования	Цели
Восстановление технологических характеристик	Напряженное	Поясное (для восстановления внутренних цилиндрических и конических поверхностей)
		Продольное (для восстановления внутренних цилиндрических и конических поверхностей)
		Спиральное (для восстановления внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностей)
	Свободное	Восстановление разомкнутых цилиндрических поверхностей
		Восстановление плоских поверхностей
		Восстановление деталей, передающих крутящий момент
	Связанное	Клеевой композицией (для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей)
		Шовной приваркой (для восстановления валов)
		Механическим креплением (для восстановления направляющих станин металлорежущих станков)

На рисунке 51 приведены формы пластин для различных видов пластинирования.

По способам установки пластин на рабочую поверхность пластинирование бывает напряженным, свободным и связанным. Напряженным пластинированием называется способ, при котором пластину перед установкой на поверхность детали обжимают и устанавливают на деталь в напря-

женном состоянии. Фиксация пластины производится в результате действия сил трения. Напряженное пластинирование делится на поясное (рис. 51, *а*), продольное (осевое) (рис. 51, *б*) и спиральное (рис. 51, *в*).

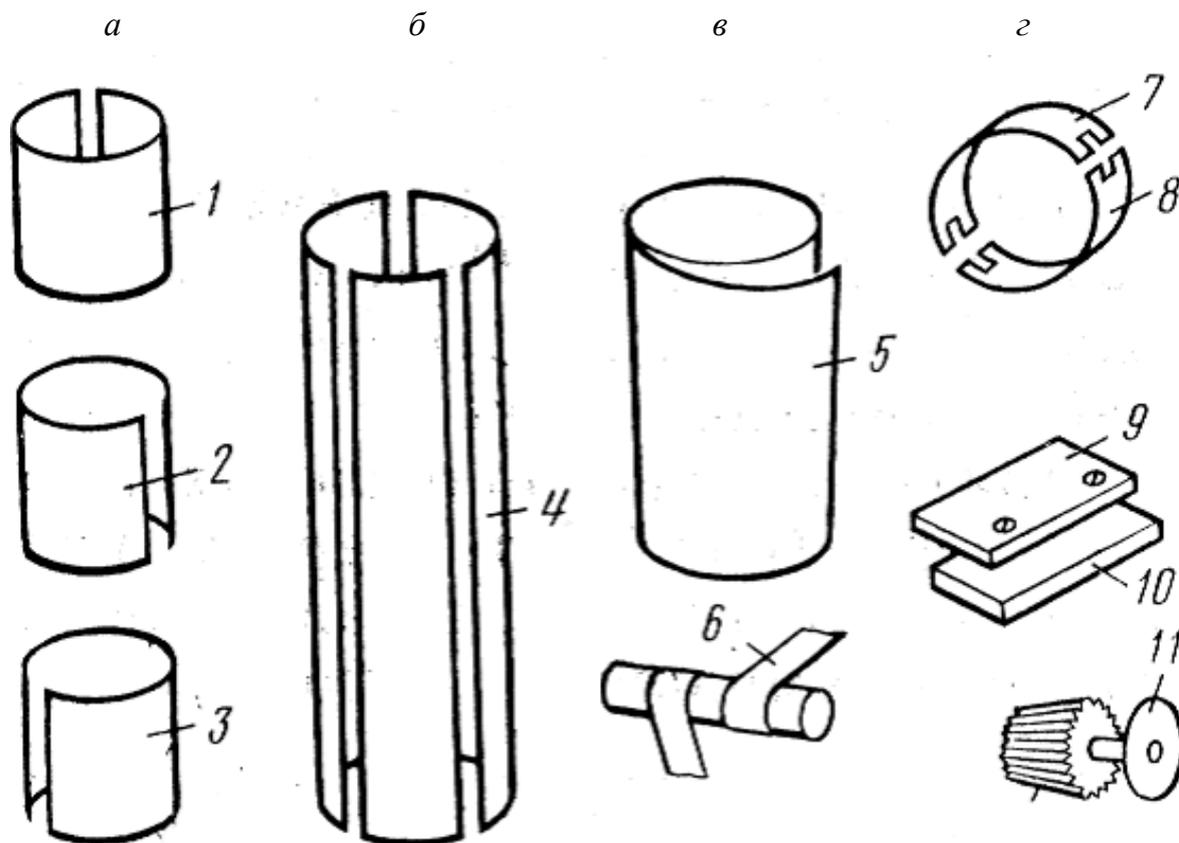


Рис. 51. Формы пластин при различных видах пластинирования деталей машин: 1, 2 и 3 – разновидности поясов, изготовленных из пластин; 4 – пластины, подготовленные для продольного пластинирования внутренних цилиндрических поверхностей; 5 и 6 – спирали, предназначенные для облицовки соответственно внутренних и наружных цилиндрических поверхностей; 7 и 8 – пластины для пластинирования разомкнутых цилиндрических поверхностей; 9 и 10 – соответственно плоская пластина и деталь, подлежащая облицовке; 11 и 12 – облицовочная пластина и деталь, предназначенная для передачи крутящего момента

Свободным пластинированием называется способ, при котором пластина устанавливается свободно и удерживается на поверхности детали благодаря конструкции детали. Формы пластин для свободного пластинирования показаны на рисунке 51, *г*. Данным способом можно восстанавливать постели под вкладыши коренных подшипников двигателей внут-

ренного сгорания, регулирующих прокладок в зацеплениях главных передач ведущих мостов автомобилей.

Связанное пластинирование предусматривает применение дополнительных средств крепления пластин – приварки, приклеивания или установки механических стопоров. Пластины при этом можно устанавливать поясами, продольно или спирально [15].

В качестве примеров применения данного способа восстановления можно привести восстановление гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Основными операциями при восстановлении будут: подготовка гильз цилиндров под облицовку пластинами; изготовление пластин; облицовка внутренней поверхности пластинами; обработка гильз цилиндров после облицовки.

Подготовку гильз под облицовку пластинами проводят растачиванием гильз эльборовыми резцами, обеспечивающими шероховатость от 0,16 до 0,32 мкм. Пластины изготавливают из холоднокатаной ленты углеродистой стали У8А и У10А. Максимальная толщина гильзы определяется исходя из обеспечения максимальной упругости (например, для двигателей КамАЗа максимальная толщина составляет 0,6 мм). Облицовка внутренней поверхности гильз цилиндров пластинами осуществляется свертыванием пластин в цилиндр в пресс-форме и перемещением их из пресс-формы в гильзу цилиндров штоком гидравлического пресса. Запрессовка производится прессом с усилием от 15 до 18 кН. Место стыка пластины не должно ощущаться пальцами. При простукивании звук должен быть звонким. После облицовки производят хонингование гильз, причем должно соблюдаться условие отклонения от овальности и конусности не более 0,025 мм.

Дополнительные ремонтные детали можно также применять для восстановления резьбовых отверстий. Основные способы восстановления резьбовых отверстий представлены на рисунке 52. В качестве дополнительных ремонтных деталей применяют свертыши и спиральные вставки.

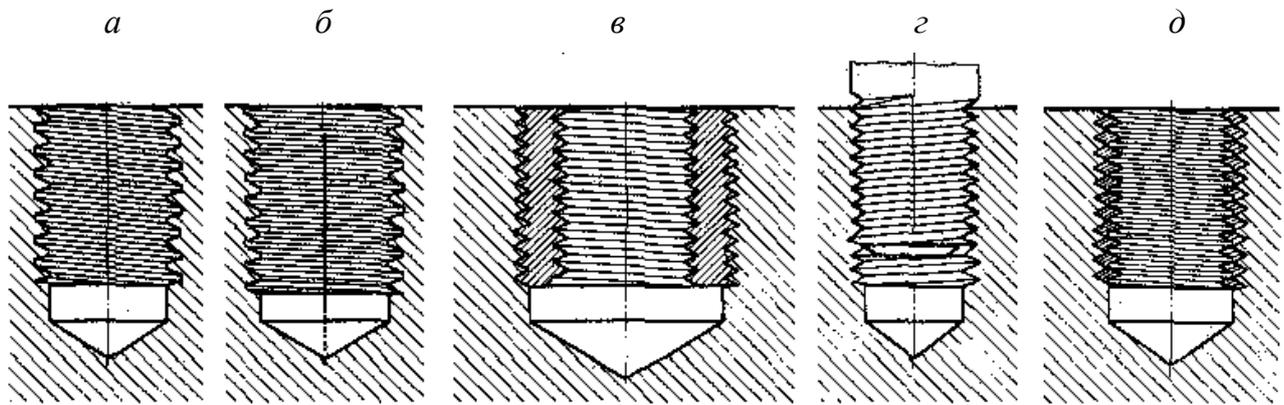


Рис. 52. Способы ремонта резьбовых соединений:

*а* – заварка отверстий с изношенной резьбой с последующим нарезанием резьбы номинального размера; *б* – нарезание резьбы увеличенного размера (под ремонтный размер); *в* – установка свертыша; *г* – стабилизация резьбовых соединений полимерной композицией; *д* – установка спиральной вставки

На рисунке 53 приведены основные типы свертышей.

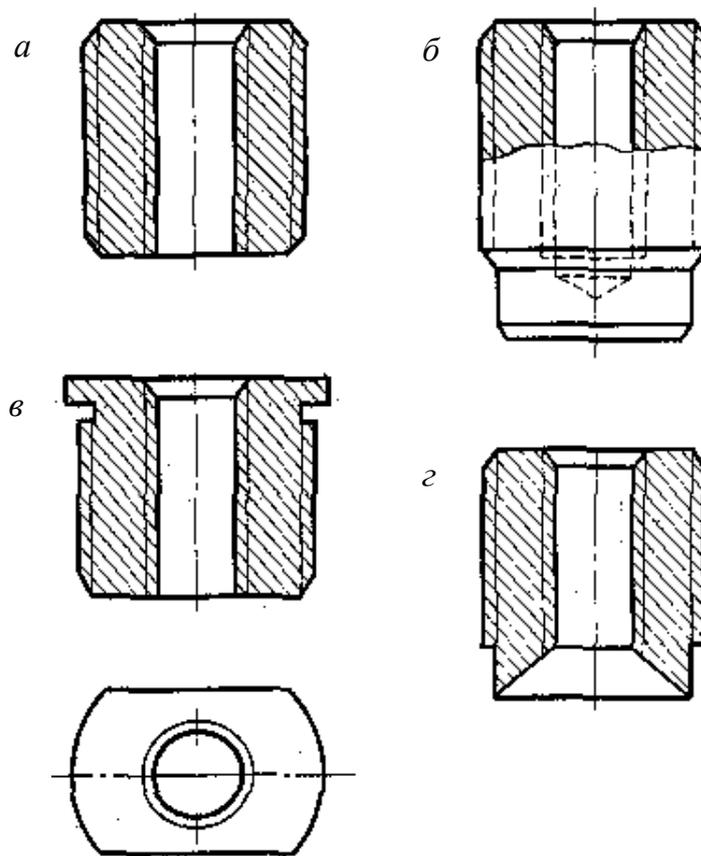


Рис. 53. Основные типы свертышей:

*а* – прямой открытый; *б* – прямой закрытый; *в* – прямой открытый с буртиком под ключ; *г* – ступенчатый (под развальцовку одного конца)

Наружный диаметр свертыша определяется по следующей формуле:

$$D = d \cdot \sqrt{\sigma_{1B} / \sigma_{2B}},$$

где  $d$  – наружный диаметр резьбы болта, мм;

$\sigma_{1B}$  – предел прочности материала болта;

$\sigma_{2B}$  – предел прочности материала корпуса.

Преимуществами восстановления резьбовых отверстий применением свертыша являются: возможность восстановления сильно изношенного отверстия, хорошее качество восстановленного отверстия, сохранение термообработки детали. Среди недостатков такого способа можно отметить высокую трудоемкость и сложность ремонта, а также невозможность применения способа, если конструкция детали не позволяет увеличить отверстие.

Для восстановления резьбовых отверстий применяется способ постановки резьбовой спиральной вставки, т. е. пружины из ромбической проволоки, наружная поверхность которой образует резьбовое соединение с корпусом. Такой способ имеет ряд преимуществ: повышенную прочность резьбового соединения, возможность восстановления тонкостенных деталей, снижение износа резьбовой поверхности при многократном завинчивании и развинчивании, улучшение восприятия динамических нагрузок, увеличение срока службы резьбового соединения.

Технологический процесс восстановления резьбовых отверстий с помощью резьбовой спиральной вставки включает в себя следующие операции:

- очистку резьбовых отверстий от грязи сверлом и ершом;
- продувку отверстий сжатым воздухом;
- рассверливание отверстия;
- продувку отверстия воздухом;
- нарезание резьбы в отверстии;
- установку спиральной вставки.

Для контроля восстановленных резьбовых отверстий после установки спиральных вставок следует завернуть в деталь резьбовой калибр соответствующего размера и проверить качество восстановленного резьбового отверстия. Контроль восстановленных резьбовых отверстий с установленными спиральными вставками можно проводить новыми болтами соответствующих размеров, изготовленными по второму классу точности.

#### **4.4. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СПОСОБАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Восстановление деталей способами пластической деформации основано на явлении пластичности – способности материалов под действием нагрузки менять свою форму и размеры без нарушения целостности. Эти процессы схожи с процессами получения заготовок методами обработки давлением, только вместо заготовок используются детали, требующие восстановления. Данные способы восстановления применяются для материалов, обладающих хорошей пластичностью; для непластичных материалов такие способы восстановления неприменимы [15].

Существуют два способа пластического деформирования – холодное и горячее. Пластическая (остаточная) деформация при холодной обработке происходит в результате внутрикристаллических сдвигов металла, требующих приложения больших внешних усилий. При этом в деформированных слоях металла происходит изменение физико-механических свойств: пластичность металла снижается, предел текучести, предел прочности и твердость повышаются. Горячая обработка давлением проводится при температурах выше температуры рекристаллизации. Для сталей она обычно соответствует температурам 1300–1500 К.

Способы восстановления пластическим деформированием применяются в случаях необходимости получения требуемых размеров изношенных поверхностей детали, исправления геометрической формы, восста-

новления механических характеристик поверхностного слоя. В таблице 12 приведена классификация способов восстановления пластической деформацией.

Таблица 12

**Способы восстановления пластической деформацией**

Цель применения способа	Способ	Разновидности
Восстановление размеров изношенных поверхностей	Осадка	Со свободным формированием поверхности
		С принудительным формированием поверхности
	Раздача	Электрогидравлическая
		Гидротермическая
		С нагревом в процессе деформации
		С предварительным нагревом
		В холодном состоянии
	Обжатие	Механическое
		Термопластическое
	Накатка	Механическая
		Электромеханическая
Восстановление геометрической формы	Правка	Статическим изгибом
		Ударом
		Термическая
Восстановление механических свойств	Поверхностное пластическое деформирование	Дробеструйная обработка
		Обработка шариками
		Виброобработка
		Выглаживание

Восстановление размеров изношенных поверхностей осуществляется путем перемещения металла из нерабочих участков детали к изношенным поверхностям. Для восстановления размеров применяют способы осадки, раздачи, обжатия и накатки.

Осадку (рис. 54) применяют для восстановления наружного диаметра сплошных деталей и внутреннего диаметра полых деталей, а в некоторых случаях (при восстановлении деталей типа втулок) – для восстановления наружного и внутреннего диаметра. При этом уменьшается высота или длина детали. Например, длина втулки при осадке уменьшается в среднем на 8–15 %.

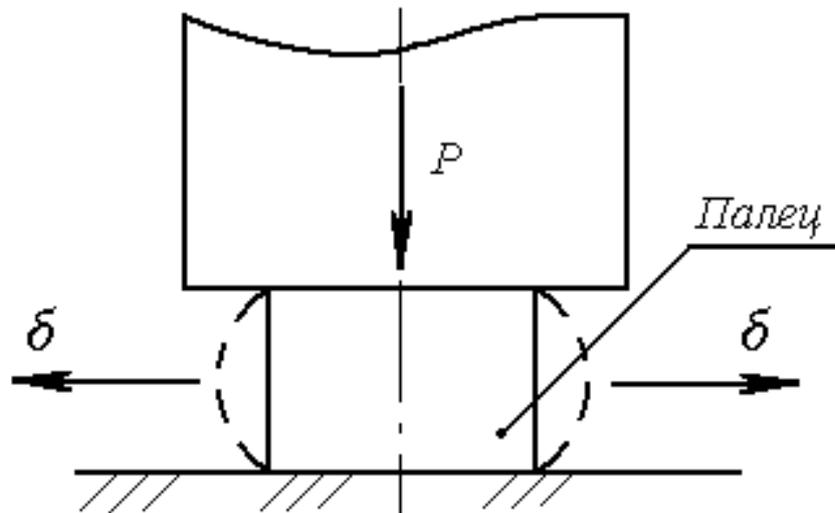


Рис. 54. Схема осадки пальца

При осадке направление действия внешней силы перпендикулярно направлению деформации  $\delta$ . Усилие, необходимое для осадки, определяют по формуле

$$P = \sigma_m \cdot (1 + 0,166 \cdot d/h) \cdot F,$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести при температуре осадки, Н/мм<sup>2</sup>;

$d$  – диаметр детали до осадки, мм;

$h$  – высота детали до осадки, мм;

$F$  – площадь поперечного сечения до осадки, мм<sup>2</sup>.

Осадку используют для восстановления втулок из цветных сплавов (рис. 55).

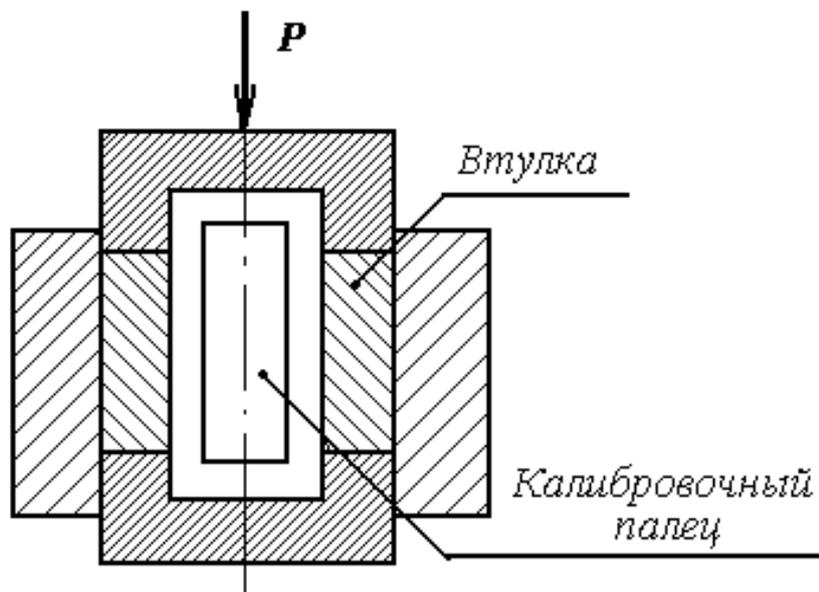


Рис. 55. Схема осадки втулки

В осаживаемую втулку вставляют калибровочный палец, диаметр которого на 0,2 мм меньше диаметра внутренней поверхности втулки. Втулку вместе с пальцем устанавливают в приспособление для осадки. При давлении  $P$  втулка осаживается, заполняя пространство между пальцем и изношенной поверхностью. После осадки проводят механическую обработку внутренней поверхности до требуемого качества и точности размера.

Раздача заключается в увеличении наружных размеров деталей путем увеличения внутренних размеров. Причем направление действия силы  $P$  совпадает с направлением деформации  $\delta$  (рис. 56).

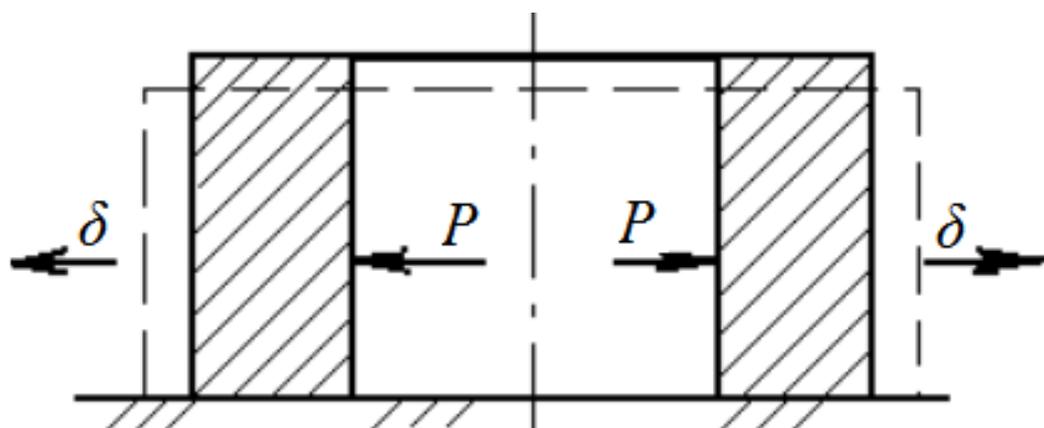


Рис. 56. Схема раздачи втулки

Давление, необходимое при раздаче, определяют по формуле

$$P = 1,15 \cdot \sigma_m \cdot \ln(D/d),$$

где  $D$  и  $d$  – наружный и внутренний диаметры детали соответственно, мм.

Восстановление раздачей осуществляется при холодном и нагретом состоянии деталей. При холодной раздаче восстанавливаемые детали сначала подвергают химико-термической обработке, затем – отжигу либо высокотемпературному отпуску. Раздачу выполняют специальными стальными или твердосплавными прошивками, дорнами, шариками. После раздачи повторяют химико-термическую обработку и проводят механическую обработку деталей [15]. Таким способом восстанавливают шипы крестовин карданного вала (рис. 57), поршневые пальцы. В качестве инструментов для раздачи используются дорны, шарики, прошивки.

В качестве примера применения данного способа можно привести раздачу крестовины карданного вала (рис. 57).

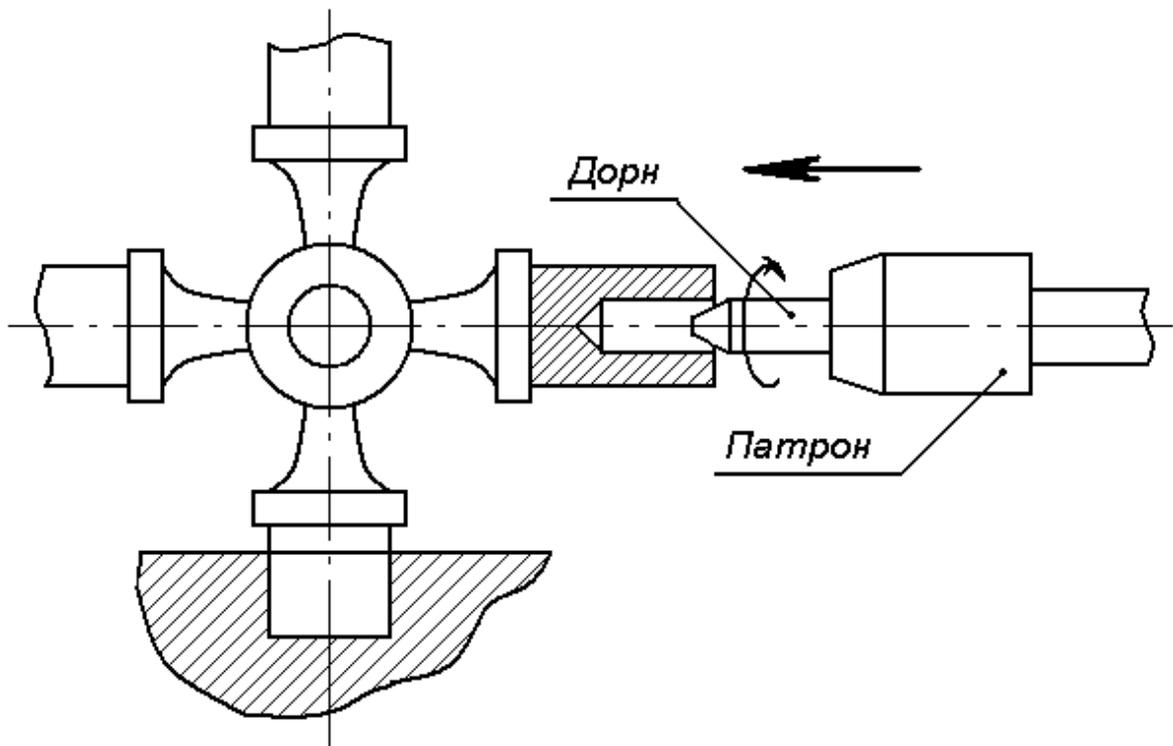


Рис. 57. Раздача крестовины карданного вала

Раздача осуществляется твердосплавным дорном при обильной подаче смазочно-охлаждающей жидкости в зону деформации. Усилие для деформирования материала шипа не превышает 110 кН, а время цикла раздачи лежит в пределах 45 с. Увеличение наружного диаметра шипов крестовин после раздачи – на 0,30–0,35 мм, при этом линейные размеры детали не изменяются. После раздачи крестовины проходят цикл химико-термической обработки – цементацию, закалку и низкотемпературный отпуск. Механическая обработка розданных крестовин заключается в черновом и чистовом шлифовании шипов по наружному диаметру и по торцам.

Гидротермическая раздача (ГТР) относится к числу высокоэффективных и недорогих способов восстановления трубчатых деталей, типа поршневых пальцев. Способ заключается в том, что изношенный поршневой палец нагревают в индукторе токами высокой частоты до температуры 1063–1103 К. После достижения требуемой температуры нагрев прекращают и быстро охлаждают палец, пропуская поток воды через внутреннюю полость детали. В результате происходит увеличение наружного диаметра с одновременной закалкой. Приращение наружного диаметра пальца лежит в пределах 0,1–0,3 мм [15].

Для восстановления поршневых пальцев применяют способ электрогидравлической раздачи (рис. 58).

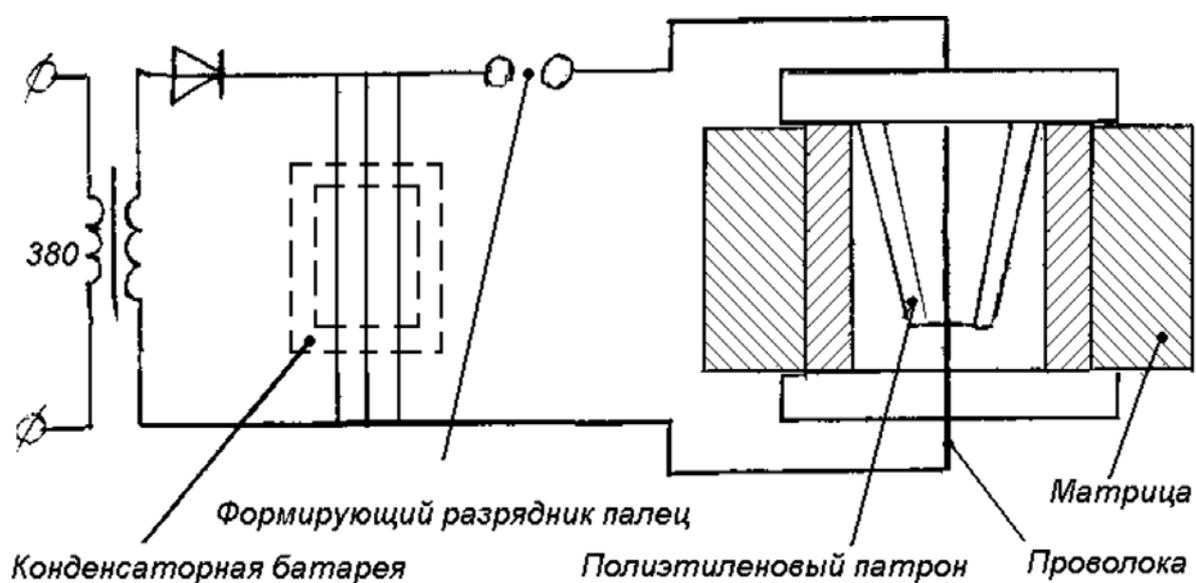


Рис. 58. Схема электрогидравлической раздачи поршневого пальца

Процесс электрогидравлической раздачи осуществляется следующим образом: поршневой палец устанавливают в разовый полиэтиленовый патрон с целью направления электрического разряда по оси пальца и исключения пробоя на стенке пальца. Для эффективности устанавливают специальный проводник – алюминиевую проволоку диаметром 0,7 мм, в полость пальца подают рабочую жидкость – техническую воду. Высоковольтный импульс от конденсаторной батареи проходит через проводник, при этом в результате электрогидравлического взрыва возникает ударная волна, которая раздает поршневой палец. Используемое напряжение – 37 кВ, емкость конденсатора – 6 мкФ. В результате электрогидравлической раздачи деформация пальца, изготовленного из стали 15Х, составляет 0,15 мм, а из стали 45 – 0,2 мм.

*Обжатие* применяют для восстановления внутренних размеров полых деталей за счет уменьшения их наружных размеров. При обжатии направление деформирующей силы  $P$  (рис. 59) совпадает с направлением деформации  $\delta$ .

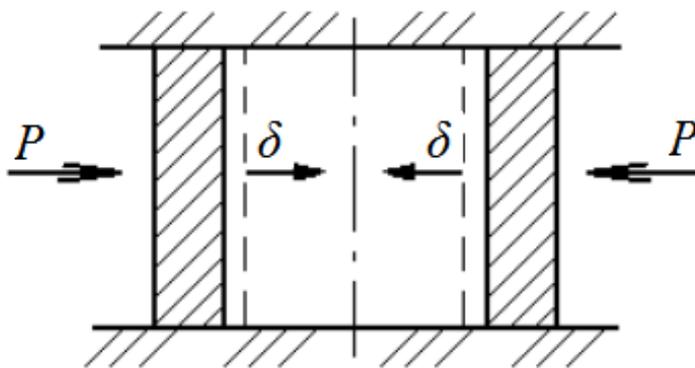


Рис. 59. Схема свободного обжатия втулки

Такой способ используют для восстановления полых деталей, имеющих рабочую внутреннюю поверхность (втулки, внутренняя поверхность цилиндров амортизаторов, гильзы цилиндров двигателя внутреннего сгорания и т. д.).

При механическом обжатии деталей типа втулок предварительно изготавливают штампы (рис. 60).

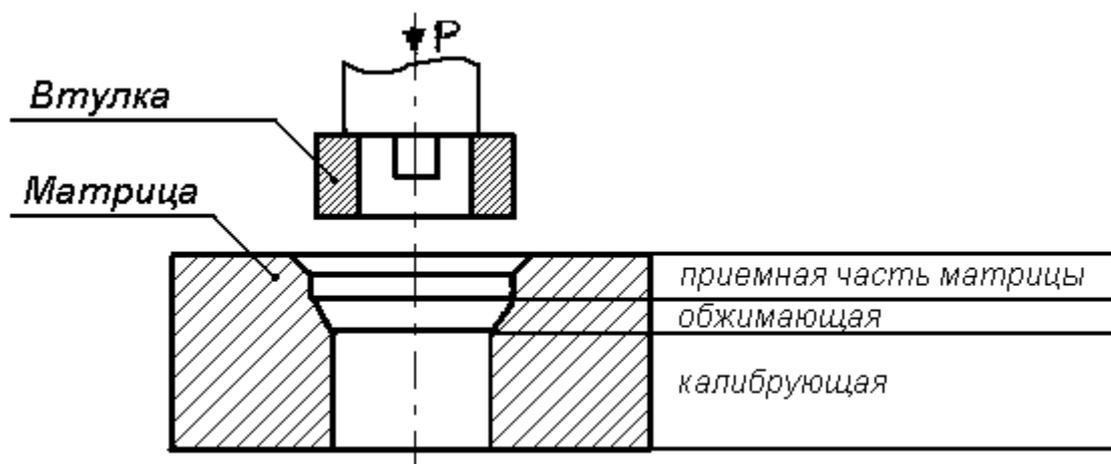


Рис. 60. Схема механического обжатия втулки в матрице

Матрица штампа состоит из трех частей (рис. 60): приемной, обжимающей и калибрующей. Внутреннюю поверхность матрицы для уменьшения сил трения обрабатывают до высокой степени чистоты. Чем меньше будет шероховатость на рабочей поверхности матрицы, тем меньше требуется усилие при обжатии.

При восстановлении втулки по внутреннему диаметру обжимающий и калибрующий участки матрицы могут быть соединены. Внутренний диаметр втулки после ее обжатия пуансоном обрабатывают, а наружный диаметр наращивают на требуемый размер одним из способов, например гальваническим путем [15].

*Накатку* используют для восстановления поверхностей деталей, воспринимающих удельную нагрузку, не превышающую 7 МПа. Минимальная потеря опорной поверхности обеспечивается использованием накатки с углом заострений зуба в пределах 60–70°. В сравнении с гладкими поверхностями износостойкость восстановленных накатыванием поверхностей снижается на 20–25 %, а усталостная прочность повышается на 10–12 %. К достоинствам данного способа восстановления следует отнести простоту технологического процесса, оборудования и оснастки, малую трудоемкость и высокую эффективность процесса. Недостаток способа – ограниченная номенклатура восстанавливаемых деталей, в основном этот способ используют для восстановления посадочных мест под подшипники качения.

При ремонте узлов и агрегатов многие детали выбраковываются из-за изменения первоначальной геометрической формы. Поэтому для восстановления геометрической формы применяются такие методы, как *холодная* и *горячая правка*. Суть правки состоит в том, что детали восстанавливают первоначальную геометрическую форму под действием внешних сил без заметных искажений металла в поверхностных слоях.

Для восстановления формы тонкостенных деталей и конструкций применяется холодная правка. В результате такого способа правки под действием внешних сил в поверхностном слое возникает наклеп и остаточные напряжения сжатия. Поэтому после холодной правки для выравнивания внутренних напряжений необходимо произвести отпуск детали.

Способ холодной правки применяется для восстановления геометрической формы валов, в частности устранения изгиба вала (рис. 61).

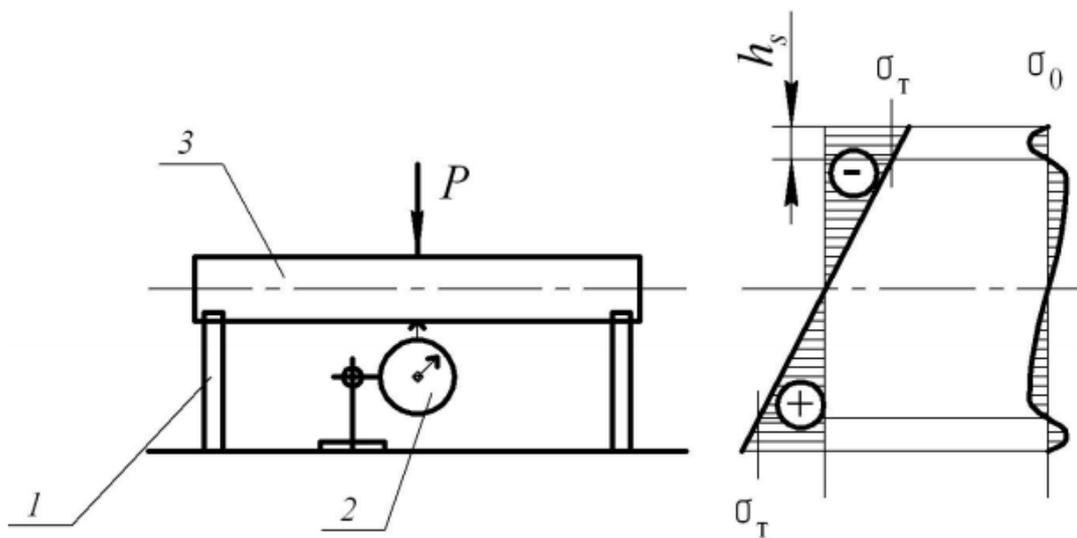


Рис. 61. Схема правки изогнутого вала и эпюры напряжений в исправляемой детали:  
1 – призма; 2 – индикатор часового типа; 3 – восстанавливаемый вал

Правку установленной в призмах детали производят при помощи прессы. Под действием силы  $P$  осуществляют перегиб вала, который контролируют индикатором часового типа. Величина перегиба обусловлена упругой деформацией (отдачей) изделия, возникающей после снятия нагрузки. В зависимости от жесткости деталей их перегиб в момент прав-

ки может превышать исходный прогиб до 10 раз, т. е. если исходный прогиб равен 0,1 мм, то при правке величина перегиба будет составлять 1,0 мм. При этом со стороны приложенного усилия деформирования возникают напряжения сжатия, а с противоположной стороны – напряжения растяжения, превосходящие в поверхностных слоях  $h_s$  предел текучести материала  $\sigma_T$  (рис. 61), что вызывает пластическую деформацию металла в этих слоях.

Для устранения относительно небольших прогибов валов применяют способ *правки ударом*. При данном способе производятся удары кожаными или текстолитовыми молотками массой 300–500 грамм по восстанавливаемой поверхности детали, установленной на подставках, имеющих форму детали. При правке ударом в поверхностном слое создается наклеп и возникают остаточные напряжения сжатия, которые повышают усталостную прочность. Преимуществами такого вида правки являются точность выправленной поверхности и устойчивое сохранение формы.

Для восстановления деталей со значительными деформациями применяют *горячую правку* с нагревом детали до температуры 600–800 °С. После восстановления деталь подвергают термической обработке до получения необходимой структуры и механических свойств металла. Правка местным нагревом основана на использовании внутренних напряжений, возникающих при этом способе. После остывания детали в материале возникают остаточные напряжения растяжения, способствующие выпрямлению детали. Наиболее эффективен этот метод при правке сварных трубчатых элементов [15].

Для восстановления механических свойств деталей в ремонтном производстве применяются различные методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Наиболее часто применяемыми способами ППД являются способы механического упрочнения – обкатка шариками или роликами, выглаживание и дробеструйная обработка. Обработка способами ППД имеет такие преимущества, как малая трудоемкость, простота технологии, возможность обработки поверхностей практически любой формы. Возникающий при ППД наклеп повышает усталостную прочность

вследствие возникновения остаточных напряжений сжатия и способствует улучшению износостойкости в парах трения.

*Дробеструйная обработка* обеспечивает неглубокую пластическую деформацию (0,5–0,8 мм) при соударении стальной или чугунной дроби диаметром 0,8–2 мм с упрочняемой поверхностью детали. После дробеструйной обработки поверхность детали приобретает некоторую шероховатость и последующей обработке не подвергается [16]. Режимы обработки при дробеструйном упрочнении являются: скорость подачи дроби (30–90 м/с), расход дроби и время обработки поверхности. Режимы обработки устанавливаются экспериментально для каждой детали.

Установки для дробеструйного упрочнения подразделяются на две группы – механические и пневматические. В механических установках подача дроби в зону обработки осуществляется за счет действия центробежной силы от вращающегося ротора, лопасти которого выбрасывают дробь. В пневматических установках подача осуществляется с помощью сжатого воздуха под давлением 0,4–0,6 МПа. В настоящее время более распространенными являются механические установки из-за высокой производительности, более точного регулирования параметров обработки, возможности поддержания стабильности процесса.

*Упрочняющее накатывание и раскатывание* применяют для повышения твердости поверхностей валов или отверстий, а также для повышения усталостной прочности. Применяются также совмещенные методы обработки, например нанесение на изношенный слой поверхности детали металла наплавкой с последующей расточкой и раскатыванием.

Усилие прижатия роликов при обработке чугунных и стальных деталей 50–200 Н, скорость движения детали 150–450 м/мин, продольная подача 0,06–0,08 мм/об. Обработка ведется в два-три прохода. Увеличение числа проходов ведет к чрезмерному наклепу и шелушению поверхности детали. Глубина наклепанного слоя в зависимости от режимов ведения процесса составляет 0,05–0,15 мм. Перед раскатыванием отверстие растачивают с припуском на раскатку 0,03–0,06 мм [16]. При *выглаживании* в качестве деформирующих элементов используются алмазы, поскольку они имеют низкий коэффициент трения по металлу. Это позволяет

при небольшом статическом усилии (50–300 Н) упрочнять детали с малой жесткостью и твердостью HRC 60–65. Поскольку алмазный индентор имеет высокую твердость и небольшой радиус (0,5–3,5 мм), то поверхность контакта имеет незначительную площадь. В результате создаются высокие контактные давления, необходимые для пластической деформации при небольших усилиях. Режимы обработки при алмазном выглаживании следующие: радиус рабочей части индентора 0,5–3,5 мм, скорость 0,5–3,5 м/с, подача 0,02–0,1 мм/об. Для изготовления выглаживающего инструмента помимо натуральных используют синтетические алмазы (баллас, карбонадо), а также синтетический корунд (рубин и лейкосапфир), минералокерамику и твердые сплавы [16].

#### **4.5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СПОСОБАМИ СВАРКИ И НАПЛАВКИ**

В соответствии с ГОСТ 2601–84 по технологическому признаку *сварка* – процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого. При ремонте и восстановлении сварка используется для восстановления разрушенных сварных швов, удаления трещин и сколов, прогаров и других дефектов.

В зависимости от состояния металла в зоне соединения способы сварки подразделяются на *сварку давлением (в твердой фазе)* – когда температура металла в зоне соединения не превышает температуры свариваемых металлов; *сварку плавлением (в жидкой фазе)* – когда температура металла в зоне соединения выше температуры его плавления.

Преимуществами методов сварки плавлением являются:

- возможность сварки в монтажных и цеховых условиях;
- разнообразие применяемых типов соединений;
- широкие возможности сварки конструкций различных габаритов;
- большой диапазон свариваемых толщин металла (от нескольких микрометров до одного метра);

- возможность сварки швов в любых пространственных положениях;
- возможность изменения химического состава и свойств наплавленного металла.

Недостатками методов сварки плавлением являются:

- кристаллизация металла шва при растягивающих напряжениях, что приводит к возникновению трещин;
- возможность образования в наплавленном металле неметаллических включений, закалочных структур, развитие ликвационной неоднородности в шве;
- образование напряжений и деформаций при сварке.

Преимуществами сварки давлением являются: более широкий диапазон свариваемых материалов, исключение возникновения трещин, уменьшение деформации сварных узлов, менее значительные изменения свойств основного металла, высокая производительность, возможности механизации и автоматизации.

В таблице 13 приведена классификация способов сварки в зависимости от вида применяемой энергии.

*Таблица 13*

### Способы сварки

Классы сварки	Виды сварки
Термическая сварка	Электродуговая сварка
	Газовая сварка
	Электрошлаковая сварка
	Электронно-лучевая сварка
	Лазерная сварка
Термомеханическая сварка	Контактная сварка
	Диффузионная сварка
Механическая сварка	Холодная сварка
	Сварка взрывом
	Магнитоимпульсная сварка
	Ультразвуковая сварка
	Сварка трением

К термическим классам относятся виды сварки, осуществляемые расплавлением соединяемых элементов при использовании тепловой энергии. Источниками теплоты при этом могут являться электрическая дуга, газовое пламя, теплота, выделяемая при электрошлаковом процессе.

К термомеханическому классу относятся виды сварки, при которых используются тепловая энергия и давление, а к механическому классу – виды сварки, использующие механическую энергию и давление.

*Ручная дуговая сварка (РДС)* покрытыми электродами является самым распространенным методом сварки, что объясняется универсальностью процесса, простотой и мобильностью применяемого оборудования, возможностью выполнения сварки в различных пространственных положениях и местах, труднодоступных для механизированных способов сварки. Недостатками такого вида сварки являются невысокая производительность и зависимость качества сварного шва от квалификации сварщика.

Ручная дуговая сварка покрытым электродом осуществляется следующим образом: к электроду и свариваемому изделию для возбуждения и поддержания сварочной дуги от источника питания подводится постоянный или переменный ток (рис. 62).

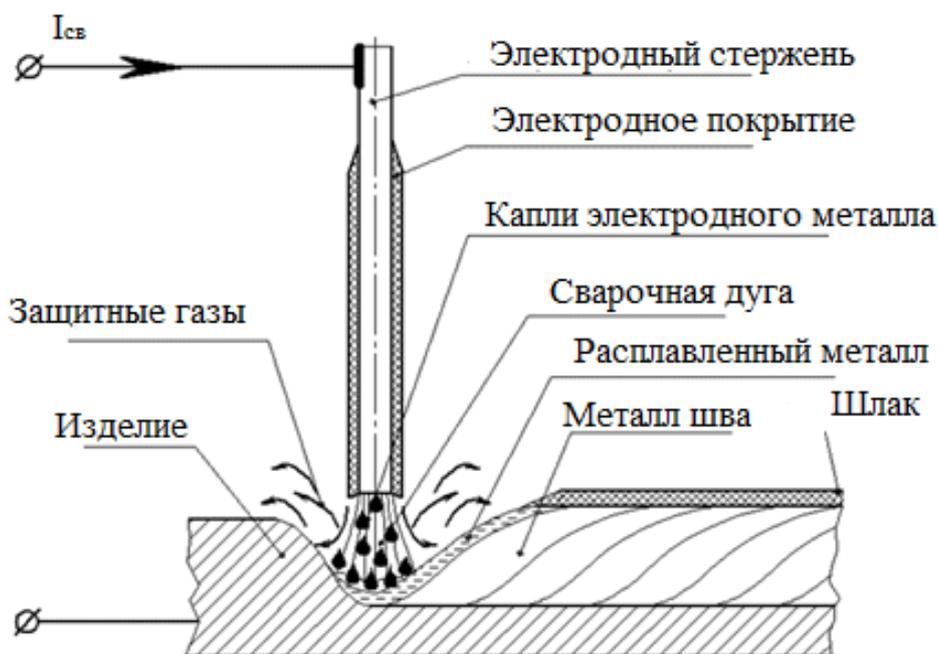


Рис. 62. Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом

Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Расплавляющееся покрытие образует шлак и газы. Шлак обволакивает капли металла, образующиеся при плавлении электродной проволоки. В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия, а шлак всплывает на поверхность ванны.

Расплавленный шлак, покрывая капли электродного металла и поверхность расплавленной сварочной ванны, способствует предохранению их от контакта с воздухом и взаимодействует с расплавленным металлом. Образующиеся при расплавлении покрытия газы оттесняют воздух из зоны дуги и способствуют созданию лучших условий для защиты нагретого металла.

*Автоматическая сварка под флюсом* – самый распространенный способ механизированной дуговой сварки плавящимся электродом. Такой способ целесообразно применять в условиях серийного и массового производства для выполнения кольцевых, прямолинейных, стыковых и угловых швов протяженностью не менее 0,8 м на металле толщиной 3–100 мм со свободным входом и выходом сварочной головки.

Преимуществами сварки под флюсом являются: высокая производительность, стабильно высокое качество и хороший внешний вид сварочных соединений, высокий уровень локальной механизации сварочного процесса и возможность его комплексной автоматизации, снижение удельного расхода электродного металла и электроэнергии.

Недостатками данного способа сварки являются: возможность сварки только в нижнем положении шва, необходимость более тщательной (по сравнению с ручной сваркой) подготовки кромок и более точной сборки деталей под сварку, невозможность сварки стыковых швов на весу, т. е. без подкладки или предварительной проварки корня шва.

Сущность процесса сварки под флюсом заключается в применении непокрытой сварочной проволоки и гранулированного флюса, насыпаемого впереди дуги слоем толщиной 30–50 мм. Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом приведена на рис. 63.

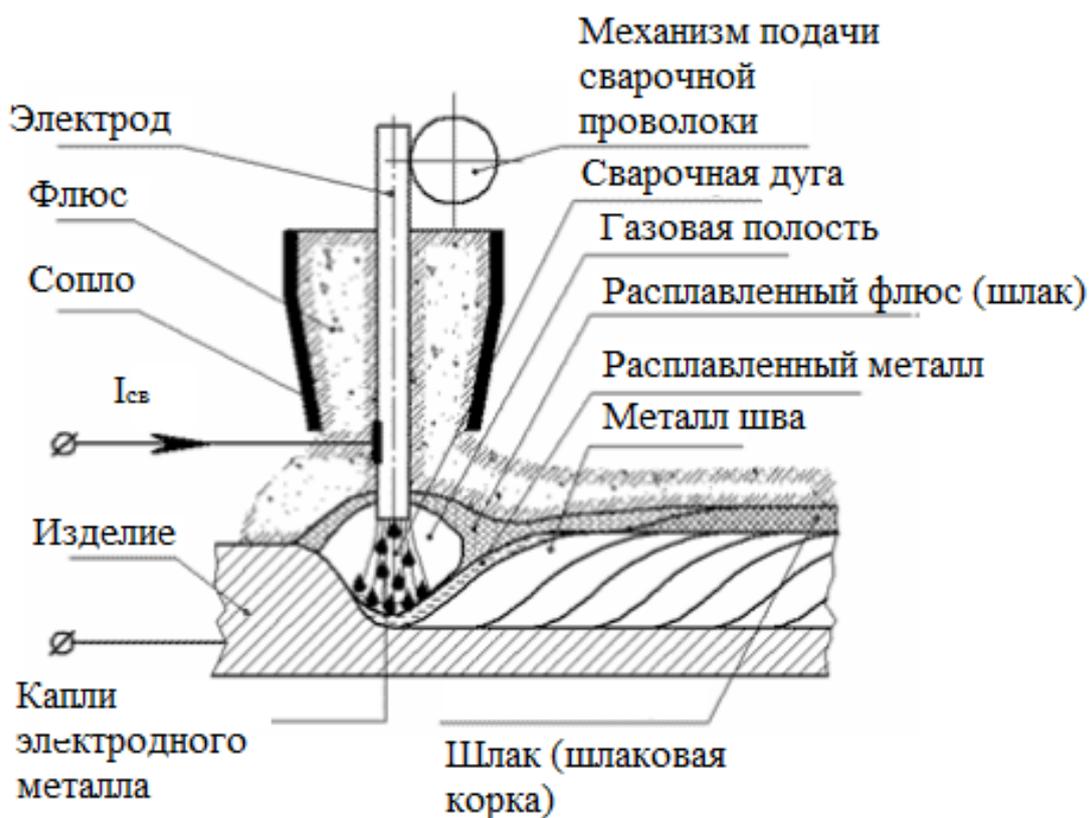


Рис. 63. Схема автоматической сварки под флюсом

Под действием тепла расплавляются проволока, основной металл и флюс. В зоне сварки образуется полость, заполненная парами металла, флюса и газами. Газовая полость ограничена в верхней части оболочкой расплавленного флюса. Расплавленный флюс, окружая газовую полость, защищает дугу и расплавленный металл в зоне сварки от вредного воздействия окружающей среды, осуществляет металлургическую обработку металла в сварочной ванне. По мере удаления сварочной дуги расплавленный флюс, прореагировавший с расплавленным металлом, затвердевает, образуя на шве шлаковую корку. После прекращения процесса сварки и охлаждения металла шлаковая корка легко отделяется от металла шва. Неизрасходованная часть флюса специальным пневматическим устройством собирается во флюсоаппарат и используется в дальнейшем при сварке.

Областью применения сварки под флюсом является сварка в цеховых и монтажных условиях, сварка металлов толщиной от 1,5 до 150 мм и бо-

лее, а также сварка всех металлов и сплавов (возможна сварка разнородных металлов) [17].

*Сварка в среде инертных газов* производится неплавящимся вольфрамовым электродом или плавящимся электродом, химический состав которого близок к составу свариваемого металла. Она осуществляется вручную, полуавтоматически или автоматически. Такой вид сварки удобен для выполнения сварных соединений в любых пространственных положениях, легко поддается механизации, позволяет наблюдать за сварочной ванной в процессе работы, имеет высокую производительность – 40–50 м/ч при ручной сварке и 200 м/ч при автоматической сварке.

Неплавящийся электрод изготавливают из графита, вольфрама, меди, меди со вставкой из тугоплавкого металла – вольфрама, циркония, гафния. Защитный газ должен быть инертен к металлу электрода и к свариваемому металлу. В качестве защитного газа при сварке вольфрамовым электродом применяют аргон, гелий, смесь аргона и гелия; для сварки меди медным электродом или медным электродом со вставкой из гафния (циркония) можно применить азот.

При ручной дуговой сварке в среде инертного газа (рис. 64) кромки свариваемого изделия и присадочного материала расплавляются дугой, горящей между неплавящимся электродом и изделием. Дуга, сварочная ванна, торец присадочной проволоки и кристаллизующийся шов защищены от воздуха инертным газом, подаваемым в зону сварки горелкой.

Преимуществами способа сварки неплавящимся электродом являются: высокая устойчивость дуги независимо от полярности тока, возможность получения шва с долей участия основного металла от 0 до 100 %, возможность регулирования химического состава металла шва и геометрических параметров сварного шва.

К недостаткам данного способа сварки можно отнести: низкую эффективность использования электрической энергии (КПД от 0,40 до 0,55), необходимость в устройствах, обеспечивающих начальное возбуждение дуги, высокую скорость охлаждения сварного шва.

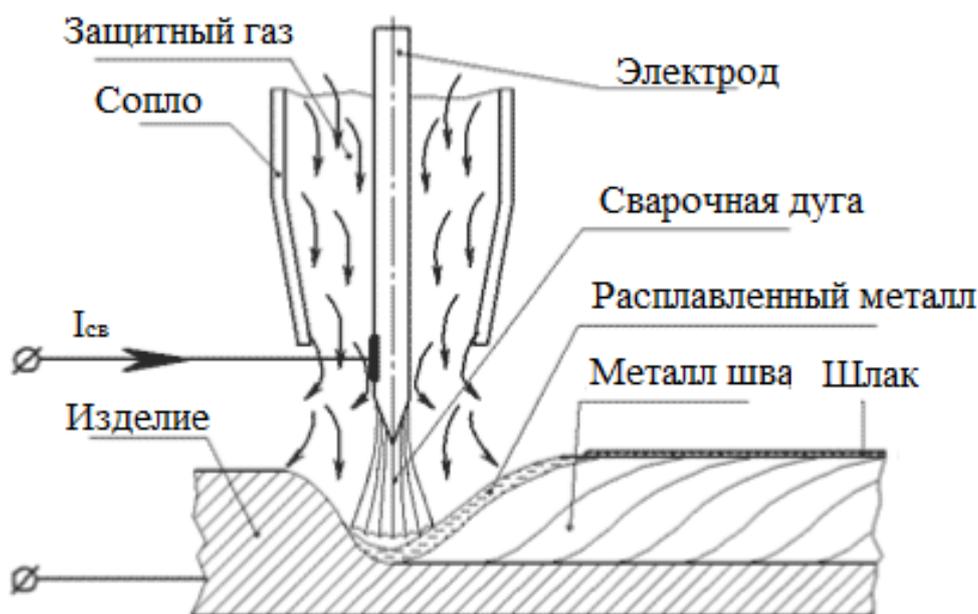


Рис. 64. Схема сварки неплавящимся электродом

Одним из способов наращивания является *наплавка*, обеспечивающая прочное сцепление основного и наплавленного металла. Наплавленный слой обладает высокой твердостью и износостойкостью. Стоимость детали, восстановленной наплавкой, составляет 10–30 % от стоимости изготовления новой детали.

*Наплавка* представляет собой разновидность сварки, заключающуюся в локальном нанесении методом сварки материала на основное изделие для защиты его от коррозии и износа или для наращивания и увеличения его объема. Различаются следующие виды наплавки: восстановление материала, защита материала и плакирование.

*Восстановление* – наплавка слоя из того же или аналогичного основному металлу материала.

*Защита материала (наплавка твердыми сплавами)* – наплавка износостойкого (и жаростойкого) металла для повышения механической и термической стойкости основного металла.

*Плакирование* – наплавка коррозионно-стойкого или жаростойкого металла для защиты основного металла от химического или термического воздействия.

Назначение параметров наплавки сводится к определению их сочетания, обеспечивающего необходимое качество наплавленного слоя при максимальной производительности и минимальных затратах. На процесс наплавки влияют такие параметры, как род и полярность тока, напряжение на дуге, шаг наплавки, диаметр электрода, скорость наплавки, вылет электрода, начальная температура наплавляемой детали, ориентация электрода относительно наплавляемой детали, направление вращения наплавляемой детали, состав газовой среды и место ее подвода, расход охлаждающей жидкости.

На рисунке 65 представлена схема наплавки в защитном газе плавящимся электродом. Наплавка в защитных газах характеризуется универсальностью процесса: возможность наплавки во всех пространственных положениях, на объекты сложной геометрической формы без применения каких-либо специальных приспособлений в зависимости от условий наплавки. Наплавка в защитных газах целесообразна в тех случаях, когда невозможна или затруднена наплавка под флюсом.

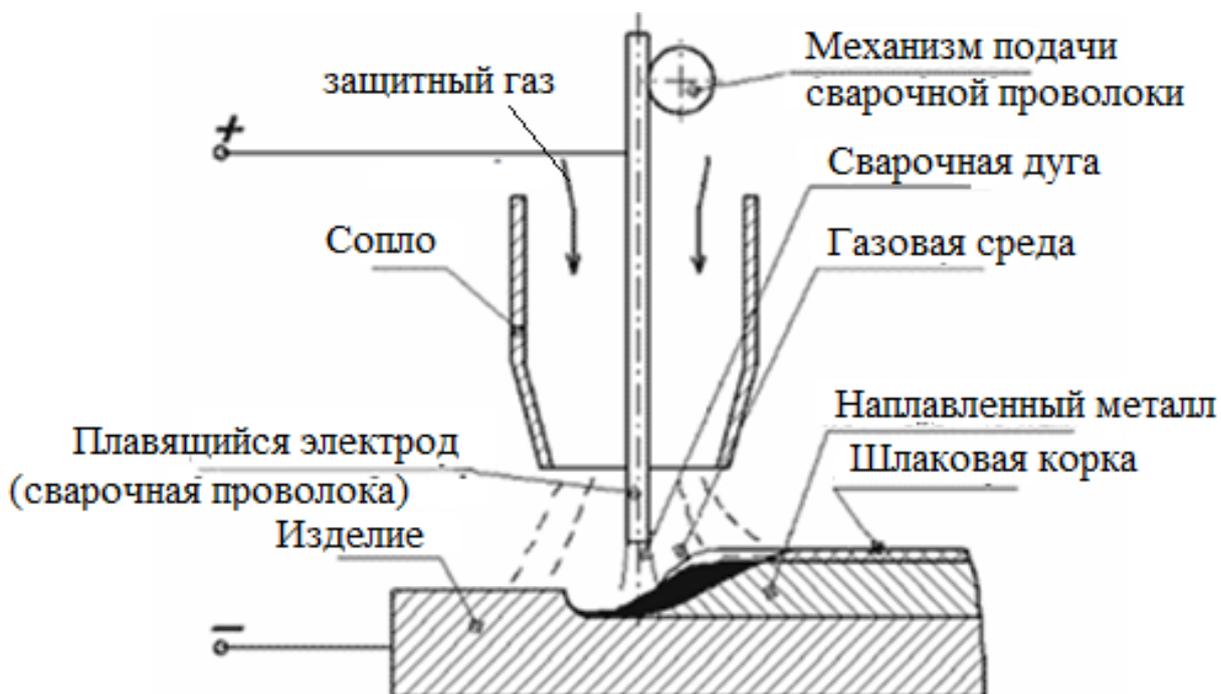


Рис. 65. Схема наплавки в защитном газе плавящимся электродом

При наплавке плавящимся электродом в защитных газах сварочная ванна защищена от воздуха. Количество газа, которое необходимо подавать для оттеснения воздуха от сварочной ванны, зависит от ряда факторов: теплофизических свойств защитного газа, параметров наплавки (силы сварочного тока, напряжения на дуге, вылета электрода, скорости наплавки и т. д.) и конструкции газозащитной горелки.

Наплавка может проводиться как с охлаждением обработанной поверхности на воздухе, так и с применением охлаждающей жидкости. Расход охлаждающей жидкости составляет 0,5–1 л/мин. Место её подвода влияет на качество наплавленных деталей.

Выбор механической обработки проводится с учетом условий эксплуатации наплавленной детали. Наиболее рациональными материалами режущего инструмента могут быть твердые сплавы марок ВК8 и Т15К6. Для черновой обработки наплавленного слоя с целью обеспечения механической прочности режущей части инструмента рекомендуется применять отрицательные передние углы, большие положительные углы наклона главной режущей кромки (10–20°) и большие радиусы закругления при вершине (1,5–2,5 мм).

При обработке наплавленных поверхностей, как и при обработке закаленных сталей, режимы резания должны быть следующими: глубина резания в зависимости от толщины наплавленного слоя для чистовой обработки – 0,2–0,3 мм; подача – 0,1–0,2 мм/об; скорость резания – 12–15 м/мин [18].

#### **4.6. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ**

Формирование наносимого поверхностного слоя напылением представляет собой процесс нанесения покрытия на основу высокотемпературной скоростной струей частиц нагретого или расплавленного материала, который при ударном взаимодействии с поверхностью основы осажда-

ется на ней. Процесс нанесения покрытия напылением осуществляется газотермическим методом, когда газообразная рабочая среда используется в качестве наносимого материала.

Основные этапы напыления: подача напыляемого материала, нагрев напыляемого материала, транспортирование нагретого материала на обрабатываемую поверхность, формирование нанесенного напылением слоя на изделии.

Нанесение покрытий газотермическим напылением имеет ряд преимуществ:

- обеспечивается возможность нанесения поверхностного слоя из материалов широкого диапазона составов;
- обеспечивается возможность нанесения покрытия на неметаллические материалы – стекло или полимеры;
- упрощаются требования к технологическому оборудованию и расширяются геометрические размеры обрабатываемых изделий;
- обеспечивается возможность получения слоя относительно большой толщины – до 2 мм;
- обеспечивается возможность нанесения широкого набора напыляемых материалов, выпускаемых промышленностью.

Недостатками процесса газотермического напыления являются:

- низкий КПД использования напыляемого материала при нанесении покрытий на мелкие детали;
- необходимость тщательной подготовки поверхности под нанесение слоя для высоконагруженных деталей.

В зависимости от вида тепловой энергии, необходимой для расплавления напыляемого материала, напыление делят на газоэнергетическое (газопламенное, детонационное) и электрическое (электродуговое, плазменное) [19].

*Газопламенное напыление* (рис. 6б) в зависимости от вида напыляемого материала подразделяется на напыление проволокой, прутком, порош-

ком. Факел, в котором создается необходимое температурное поле, образуется при сгорании смеси кислорода или воздуха с одним из технологических газов: ацетиленом, пропаном, водородом и др. Температура плавления при этом составляет 1500–3100 °С [19].

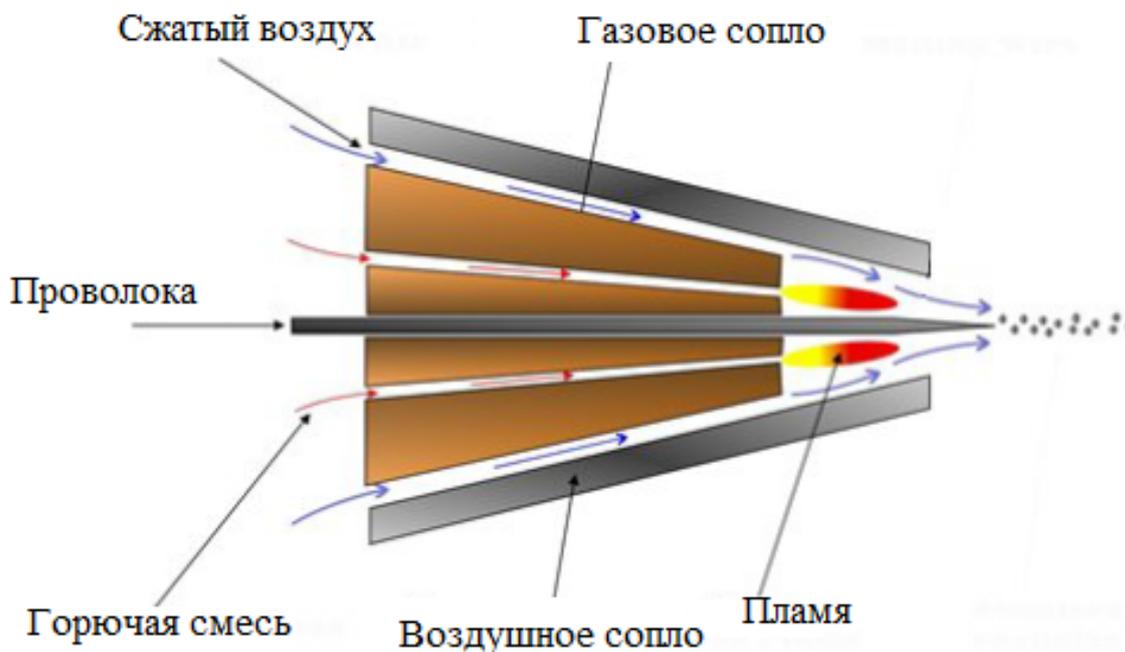


Рис. 66. Схема газопламенного напыления

Транспортирование потока частиц напыляемого материала (рис. 66) выполняется горючей смесью, а иногда и с помощью сжатого воздуха. Для повышения качества покрытия и улучшения характеристик его сцепления с основой после наплавления нанесенный слой подвергают оплавлению, для чего повторно или одновременно с напылением нагревают нанесенный слой пламенем горелки без подачи напыляемого материала.

Покрытия более высокого качества создают путем нанесения подслоя с последующим нанесением основного слоя.

По сравнению с другими рассматриваемыми методами напыления технология и оборудование газопламенного напыления довольно просты при невысокой стоимости реализации процесса. Однако качество нанесенного слоя не всегда соответствует требованиям ресурса и надежности

высоконагруженных деталей в процессе эксплуатации, что ограничивает применение метода.

При *детонационном напылении* нагрев и транспортирование напыляемых материалов осуществляются за счет энергии взрыва. Формирование необходимой рабочей среды происходит в стволе автоматизированной установки для детонационного напыления (рис. 67).

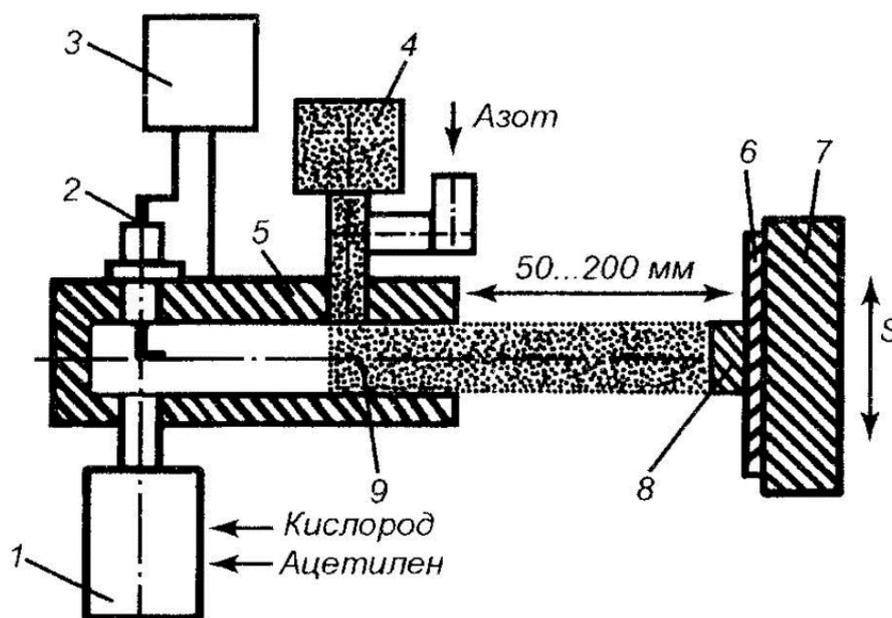


Рис. 67. Схема установки для детонационного напыления:

- 1 – устройство для подачи смеси газов; 2 – электрическая свеча;  
3 – источник питания; 4 – порошковый дозатор; 5 – ствол; 6 – подложка;  
7 – деталь; 8 – покрытие; 9 – порошок

В ствол подают газовую смесь кислорода и ацетилена (рис. 67) и одновременно порошок напыляемого материала. Воспламенение и взрыв рабочей среды вызывают нагрев частиц напыляемого материала до 3000–4000 °С в момент столкновения с обрабатываемой поверхностью, при этом скорость частиц составляет 500–1000 м/мин.

Сочетание высокой скорости частиц и достаточно высоких температур обеспечивает высокую плотность напыляемого материала и прочность его сцепления с основой. В производственных условиях обеспечение оптимальных параметров процесса предусмотрено в автоматическом режиме.

К недостаткам такого способа можно отнести вероятность остаточной деформации тонкостенных элементов изделий при их динамическом нагружении в процессе нанесения покрытия. Для процесса характерен высокий уровень шума (90–150 дБ), поэтому следует соблюдать необходимые требования к производственным площадям и условиям работы персонала.

*Дуговая металлизация* (рис. 68) основана на расплавлении напыляемого материала электрической дугой и подаче расплавленных частиц на обрабатываемую поверхность энергией сжатого воздуха и иногда других газовых сред под давлением 0,4–0,6 МПа [19].

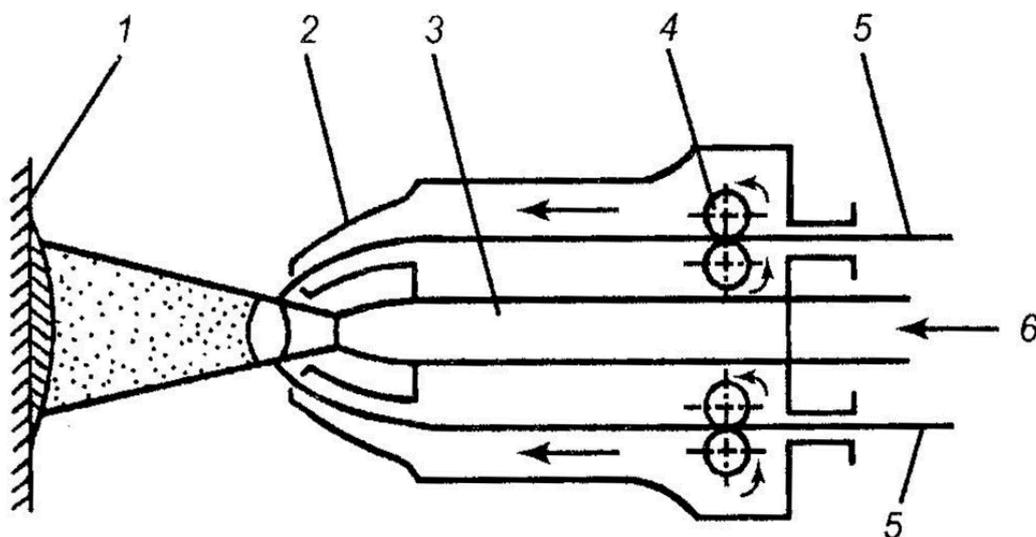


Рис. 68. Схема дуговой металлизации:

- 1 – напыляемая поверхность; 2 – направляющие наконечники;  
3 – воздушное сопло; 4 – подающие ролики; 5 – проволока; 6 – газ

Обеспечение подачи непрерывной дуги производят за счет необходимого сближения с заданной скоростью двух изолированных проволок, состав материалов которых выбирают в соответствии с требованиями к нанесенному покрытию. Температура дуги может достигать 6000 °С.

Для дуговой металлизации характерна значительно более высокая производительность процесса по сравнению с газопламенным напылени-

ем. Недостатком такого способа является возможность перегрева напыляемого материала и его окисления, а также выгорание легирующих элементов.

*Плазменное напыление* (рис. 69) основано на использовании газообразной среды, называемой плазмой, в которой число заряженных частиц электронов и ионов составляет не ниже  $10^9$  в  $1 \text{ см}^3$  и температура смеси  $10\,000\text{--}50\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

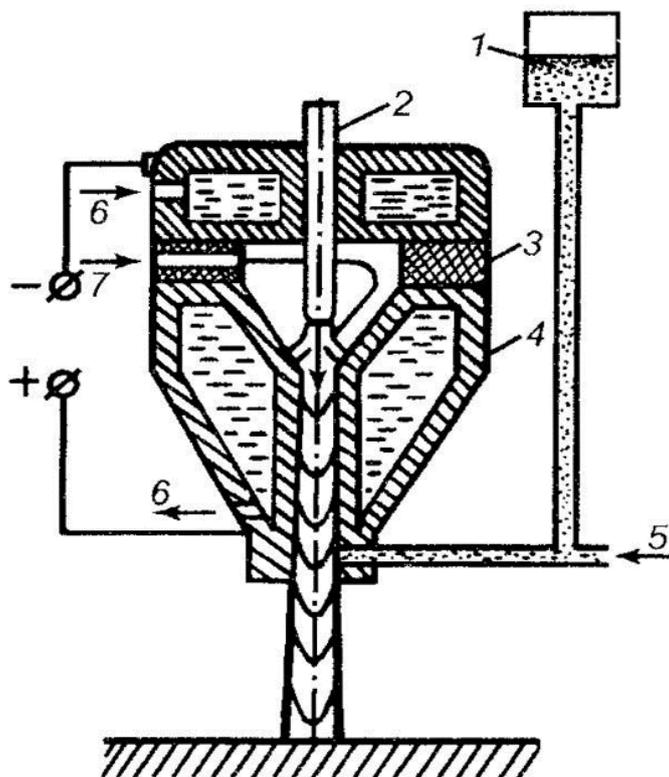


Рис. 69. Схема процесса плазменного напыления:

- 1 – порошок в дозаторе; 2 – катод; 3 – изоляционная проволока;  
4 – анод; 5 – транспортирующий газ; 6 – охлаждающая жидкость;  
7 – плазмообразующий газ

Создание плазмы в чистом виде связано с рядом трудностей, поэтому для технических целей используют дуговой разряд, в котором вместе с заряженными частицами содержатся нейтральные частицы. Такое состояние среды называют низкотемпературной плазмой.

В отличие от рассмотренных выше процессов процесс плазменного напыления имеет такие преимущества, как высокие значения сцепления (15–20 МПа), низкая пористость наносимого покрытия (3–10 %). Значительным преимуществом является также возможность нанесения легкоокисляющихся материалов, а также высокое качество покрытий и стабильность процесса напыления.

#### **4.7. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

В процессе эксплуатации агрегатов и узлов машин возможно возникновение коррозии как отдельных деталей, так и всего узла в целом. Основными видами коррозии являются: общая коррозия (равномерная и неравномерная) и местная коррозия (пятнами, язвами, точками, избирательная, межкристаллитная, транскристаллитная) [17].

Поэтому для устранения воздействия коррозии применяют различные типы покрытий:

- защитные (для защиты от коррозии деталей в агрессивных средах);
- защитно-декоративные (для декоративной отделки деталей с одновременной защитой от коррозии);
- специальные (для придания поверхности детали износостойкости, твердости, электроизоляционных, магнитных свойств и др.).

Основной областью применения гальванических покрытий является восстановление деталей с небольшим износом, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Гальванические покрытия наносят на восстанавливаемые поверхности клапанов, поршневых пальцев, шатунов, отверстий, под подшипники в корпусных деталях и т. д.

Электролитическое осаждение металлов в гальванике осуществляется из электролитов – водных растворов солей, кислот и оснований. При растворении в воде молекулы этих веществ диссоциируют на противополож-

но заряженные частицы: положительные ионы металла  $Me^+$  и водорода  $H^+$ , которые называются катионами, и отрицательные ионы кислотных остатков,  $SO_4^{--}$ , гидроксильных групп  $OH^-$  и кислорода  $O^-$ , называемые анионами. Такие растворы являются проводниками II рода. Когда в электролит помещают металлические пластины, подсоединенные к клеммам источника постоянного или переменного тока, на границе поверхности металлической пластины и электролита протекают электрохимические реакции, т. е. происходит электролиз (рис. 70) [20].

Процесс нанесения гальванических покрытий обеспечивает:

- сохранение структуры материала детали за счет отсутствия вложения тепла в него;
- высокую износостойкость и твердость покрытий;
- равномерную толщину покрытий;
- возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами;
- большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации.

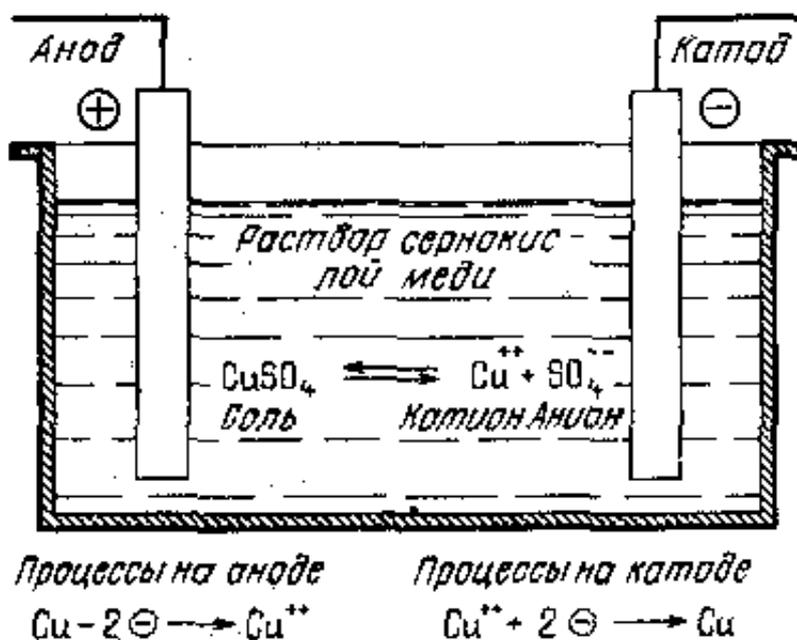


Рис. 70. Схема гальванического процесса

Недостатками применения гальванических покрытий являются: низкая скорость нанесения покрытий, многооперационность процесса, низкая экологичность, большие затраты на материалы.

В зависимости от видов материалов наносимых покрытий гальванические процессы подразделяются на железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. Наиболее часто в ремонтном производстве применяются железнение, хромирование и цинкование.

*Железнение* применяют при восстановлении наружных и внутренних поверхностей деталей, изношенных на 0,2–0,3 мм и требующих высокой поверхностной твердости. Таким способом восстанавливают трущиеся шейки и шейки под неподвижные посадки, поверхности отверстий под втулки и обоймы подшипников в стаканах и корпусных деталях и т. п.

*Меднение* – процесс электролитического осаждения меди на заготовку с целью защиты её от коррозии.

*Никелирование* – процесс электролитического осаждения никеля на заготовку с целью защиты её от коррозии, повышения поверхностной твердости, а также для декоративной отделки.

*Цинкование* – процесс электролитического осаждения цинка на заготовку с целью защиты её от коррозии при эксплуатации в атмосферных условиях и агрессивных средах.

*Хромирование* – процесс электролитического осаждения хрома на заготовку с целью защиты её от коррозии, повышения поверхностной твердости, а также для декоративной отделки. Процесс применяют для восстановления наружных и внутренних поверхностей деталей с износами до 0,2 мм и с высокими требованиями к износостойкости.

Качество поверхности основного металла, на который наносятся гальванические покрытия, должно соответствовать ГОСТ 9.301–78. Параметры шероховатости поверхности основного металла должны быть не более  $Rz = 40$  мкм под защитные покрытия,  $Ra = 2,5$  мкм под защитно-декоративные,  $Rz < 40$  мкм под специальные покрытия в зависимости от функционального назначения,  $Ra = 1,25$  мкм под твердые и электроизоляционные анодно-окисные покрытия [20].

Типовой технологический процесс нанесения гальванических покрытий состоит из следующих операций:

1. Механическая подготовка заготовок:

- очистка в растворах технических моющих средств (ТМС);
- предварительная механическая обработка (шлифование, полирование, галтовка);
- промывка органическими растворителями;
- промывка горячей и холодной водой;
- монтаж заготовок на подвески и изоляция;
- обезжиривание известью.

2. Электрохимическая подготовка заготовок:

- химическое или электрохимическое обезжиривание;
- промывка горячей и холодной водой;
- химическое травление;
- промывка горячей и холодной водой;
- анодная обработка в растворе;
- промывка и прогрев водой при температуре 55–60 °С.

3. Нанесение покрытия:

- выдержка в ванне без тока;
- «разгон» процесса электролиза;
- основной процесс электролиза.

4. Обработка заготовок после нанесения покрытия:

- промывка в дистиллированной воде;
- нейтрализация в щелочном растворе;
- промывка горячей и холодной водой;
- снятие заготовок с подвесок и изоляции;
- сушка заготовок;
- термообработка.

Служебные свойства деталей, восстановленных нанесением гальванических покрытий, определяются: прочностью соединения покрытия с поверхностью детали, твердостью, износостойкостью, внутренними

напряжениями и усталостной прочностью. Наиболее критичны для указанных свойств следующие величины процесса: плотность и вид тока, вид и массовая доля составляющих электролита, температура и скорость перемещения электролита и скорость перемещения электролита у поверхности катода.

Прочность соединения покрытий с деталью зависит от подготовки восстанавливаемой поверхности, условий нанесения покрытия, структуры покрываемого материала, внутренних напряжений в покрытии и т. д.

На твердость покрытий влияют: температура, массовая доля компонентов электролита и катодная плотность тока. Однако рост твердости с повышением плотности тока происходит до определенного предела.

Наиболее износостойкими являются покрытия, имеющие достаточную твердость и вязкость. Мелкокристаллическое строение и наличие пор на поверхностях, служащих масляными резервуарами, повышают износостойкость покрытий. При восстановлении изношенных деталей гальваническими покрытиями наиболее сильное влияние будут оказывать мелкие концентраторы напряжений – трещины в покрытии и риски после механической обработки.

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите классификацию способов восстановления деталей.
2. В чем суть способа восстановления деталей обработкой под ремонтный размер?
3. Какие виды дополнительных ремонтных деталей применяются при восстановлении и ремонте?
4. Какие способы пластической деформации применяются при ремонте и восстановлении?
5. В чем состоит технология сварки под флюсом?
6. Для устранения каких дефектов применяется наплавка?
7. В чем состоит технология газотермического напыления?
8. Какие дефекты деталей устраняются при применении гальванических покрытий?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение ремонта и восстановления деталей и узлов машин осуществляется в несколько этапов: разборка машин на узлы и агрегаты, разборка узлов на детали, очистка деталей, дефектация, выбор способа восстановления деталей, требующих ремонта, разработка технологического процесса ремонта. Выбор оптимального способа восстановления является важной задачей при разработке технологического процесса ремонта и восстановления деталей. Применение современных способов восстановления позволяет не только достичь первоначального ресурса детали, но и в некоторых случаях даже повысить его.

Изложенный в учебном пособии материал позволит будущим специалистам назначать рациональные способы очистки деталей в зависимости от конфигурации и типа производства, проводить дефектацию явных и скрытых дефектов в деталях и применять оптимальные способы восстановления и устранения выявленных дефектов. Предложенные в учебном пособии рекомендации по выбору рациональных способов очистки, дефектации и восстановления позволят грамотно разработать технологический процесс восстановления деталей.

Для расширенного изучения вопросов разработки технологических процессов восстановления и ремонта можно воспользоваться литературой, приведенной в библиографическом списке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология ремонта машин / под ред. Е. А. Пучина. – Москва : Колос, 2007. – 488 с. – ISBN 978-5-9532-0456-9.
2. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения : утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 28 марта 2017 г. № 186-ст : дата введ. 2017-09-01 / разработ. Федер. гос. бюджетным учр. науки Институтом систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сиб. отд. Рос. акад. наук. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 16 с.
3. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения : утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. № 654-ст : дата введ. 2017-03-01 / разработ. ООО «Институт надежности машин и технологий». – Москва : Стандартинформ, 2016. – 28 с.
4. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 239 с. – ISBN 5-217-00060-0.
5. Малкин, В. С. Техническая эксплуатация автомобилей / В. С. Малкин. – Москва : Академия, 2007. – 288 с. – ISBN 978-5-7695-3191-0.
6. Технологичность конструкции изделия : справ. / под общ. ред. Ю. Д. Амирова. – Москва : Машиностроение, 1990. – 768 с.
7. Белянин, П. Н. Промышленная чистота в машиностроении / П. Н. Белянин, В. Н. Данилов. – Москва : Машиностроение, 1982. – 224 с.
8. Неразрушающий контроль и диагностика : справ. / под ред. В. В. Ключева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Машиностроение, 2003. – 656 с. – ISBN 5-217-03178-6.
9. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве : учеб. пособие / под ред. В. И. Черноиванова. – Москва : ГОСНИТИ ; Челябинск : Изд-во Челяб. гос. агроинженер. ун-та, 2003. – 987 с. – ISBN: 5-88156-224-0.

10. Трубопроводный транспорт / под ред. С. М. Вайнштока. – Москва : Недра, 2004. – 621 с. – Т. 2. – ISBN 5-8365-0175-0.
11. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – Москва : Колос, 2000. – 776 с. – ISBN 5-10-003278-2.
12. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля : учеб. пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова ; Дальневосточный гос. техн. ун-т. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2007. – 242 с. – ISBN 978-5-7596-0738-0.
13. Канарчук, В. Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. Кн. 3. Ремонт автотранспортных средств / В. Е. Канарчук, Д. Д. Чигринец. – Киев : Высш. шк., 1992. – 495 с.
14. Суханов, Б. Н. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : пособие по курсовому и диплом. проектированию / Б. Н. Суханов, И. О. Борзых, Ю. Ф. Бедарев. – Москва : Транспорт, 1985. – 224 с.
15. Авдеев, М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. Л. Воловик, И. С. Ульман. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 247 с.
16. Лавринович, М. Ф. Повышение износостойкости деталей автомобилей / М. Ф. Лавринович, М. М. Шустерняк. – Минск : Беларусь, 1985. – 142 с.
17. Лившиц, Л. С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1989. – 336 с.
18. Еремин, Е. Н. Плазменно-дуговые технологические процессы в сварочном производстве : учеб. пособие / Е. Н. Еремин ; Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2000. – 275 с. – ISBN 5-8149-0048-2.
19. Сварка высокопрочных титановых сплавов / С. М. Гуревич, Ф. Р. Куликов, В. Н. Замков [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1975. – 150 с.
20. Сварка разнородных металлов и сплавов / В. Р. Рябов, Д. М. Рабкин, Р. С. Курочко, Л. Г. Стрижевская. – Москва : Машиностроение, 1984. – 239 с.