

The background of the cover is a photograph of a large industrial chemical plant. It features several tall, vertical distillation columns connected by a complex network of pipes and walkways. The sky is clear and blue. The overall scene is industrial and technical.

Э.А. Козловский, И.А. Повтарев

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА  
И ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебное пособие

Иваново  
2017

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

Э.А. Козловский, И.А. Повтарев

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА  
И ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебное пособие

Иваново 2017

УДК 66-7 (07)  
ББК 34.724.1я7  
К 592

Козловский, Э. А. Технология ремонта и основы технической диагностики химического оборудования : учеб. пособие / Э. А. Козловский, И. А. Повтарев ; Иван. гос. хим-технол. ун-т. – Иваново : ИГХТУ, 2017. – 148 с.

В учебном пособии рассматриваются виды и причины износа оборудования с учетом условий его работы, меры повышения износостойкости и долговечности. Описаны явления и факторы, влияющие на износ. Рассмотрены основные способы восстановления и ремонта изношенных деталей, дана их сравнительная характеристика, описана технология восстановления. Приведены сведения по ремонтным чертежам, правилам их выполнения.

Рассмотрены цели и задачи технической диагностики, вопросы экспертизы промышленной безопасности технических устройств, содержание программы технического диагностирования, методы неразрушающего контроля, определение остаточного ресурса оборудования с учетом характера нагрузок и условий эксплуатации.

Предназначено для студентов-бакалавров, обучающихся по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование» и магистров, обучающихся по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование» дневной и заочной форм обучения.

Табл.: 6. Ил.: 61. Библиогр.: 26.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

кафедра «Технологические машины и оборудование» Ивановского государственного политехнического университета;

кандидат технических наук Е.В. Гусев (Ивановский государственный политехнический университет)

© Козловский Э.А., Повтарев И.А., 2017

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. ИЗНОС ОБОРУДОВАНИЯ</b> .....	6
1.1. МЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗНОС.....	6
1.1.1. Материалы трущихся пар.....	8
1.1.2. Деформации в зоне контакта.....	10
1.1.3. Влияние оксидных пленок.....	12
1.1.4. Влияние температуры трущихся поверхностей.....	12
1.1.5. Влияние чистоты обработки поверхности.....	13
1.1.6. Взаимный избирательный перенос.....	17
1.1.7. Контактная усталость металлов.....	18
1.2. СМАЗКА ОБОРУДОВАНИЯ.....	18
1.2.1. Виды смазочных материалов и их основные свойства.....	20
1.2.1.1. Минеральные (нефтяные) масла.....	20
1.2.1.2. Консистентные смазки.....	23
1.2.1.3. Твердые смазки.....	25
1.2.2. Подбор смазочных материалов.....	25
1.2.3. Регенерация отработанных масел.....	26
1.3. КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС.....	27
1.3.1. Защита оборудования от коррозии.....	29
1.3.1.1. Гуммирование аппаратуры.....	31
1.3.1.2. Эмалирование аппаратуры.....	33
1.4. АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС.....	36
1.5. ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС.....	38
1.6. КАВИТАЦИОННЫЙ ИЗНОС.....	38
1.7. ДЕФОРМАЦИИ И ИЗЛОМЫ.....	39
<b>Глава 2. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	41
2.1. ПОВЕРХНОСТНОЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ.....	41
2.1.1. Дробеструйная обработка.....	42
2.1.2. Упрочнение обкаткой.....	43
2.1.3. Лазерное термоупрочнение.....	46
2.1.4. Электромеханическое упрочнение.....	47
2.2. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	47
2.3. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	50
<b>Глава 3. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	55
3.1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ.....	55
3.1.1. Сварка стальных деталей.....	56
3.1.2. Сварка чугуна.....	58
3.1.2.1. Холодная сварка чугуна.....	58
3.1.2.2. Горячая сварка чугуна.....	60

3.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ.....	62
3.2.1. Автоматическая наплавка под слоем флюса.....	63
3.2.2. Наплавка в среде защитных газов.....	65
3.2.3. Вибродуговая наплавка.....	66
3.2.4. Наплавка твердыми сплавами.....	67
3.2.4.1. Порошкообразные наплавочные материалы.....	68
3.2.4.2. Стержневые электроды для наплавки твердых сплавов.....	70
3.3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ.....	71
3.4. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	74
3.4.1. Хромирование.....	75
3.4.2. Железнение (осталивание).....	78
3.5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ.....	79
3.6. ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕВ ПРИ РЕМОНТЕ.....	84
3.7. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА РЕМОНТНЫЕ РАЗМЕРЫ.....	85
3.8. НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ.....	90
<b>Глава 4. ОСНОВНЫЕ РЕМОНТНЫЕ ОПЕРАЦИИ.....</b>	<b>90</b>
<b>Глава 5. РЕМОНТНЫЕ ЧЕРТЕЖИ.....</b>	<b>96</b>
5.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	96
5.2. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ.....	97
<b>Глава 6. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА.....</b>	<b>101</b>
6.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	101
6.2. ПРОГРАММА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.....	103
6.3. ЭКСПЕРТИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	105
6.4. ДЕФЕКТЫ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	106
6.5. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ.....	112
6.5.1. Визуальный и измерительный контроль.....	113
6.5.2. Капиллярный метод контроля.....	114
6.5.3. Магнитные методы контроля.....	117
6.5.4. Ультразвуковой метод контроля.....	119
6.5.5. Радиационные методы контроля.....	122
6.5.6. Толщинометрия.....	127
6.5.7. Контроль качества и физико-механических свойств конструкционных материалов.....	130
6.5.8. Определение остаточного ресурса оборудования.....	132
6.5.9. Испытание оборудования на прочность и герметичность.....	136
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>139</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>141</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью многих технологических установок является их большая единичная мощность (производительность), что позволяет существенно снизить удельные капитальные вложения, эксплуатационные расходы и себестоимость продукции. Вместе с тем значительно повышаются требования к надежности оборудования, а также увеличивается объем и трудоемкость работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Оборудование химических предприятий, работающее при воздействии механических нагрузок, давления, температуры, агрессивных сред, подвержено износу (механическому, коррозионному, абразивному и др.)

По мере увеличения износа возрастают расходы, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием, затрачиваются значительные трудовые и материальные ресурсы, привлекается большое количество рабочих высокой квалификации.

Кроме того, при ухудшении технического состояния оборудования существенно повышаются расходы эксплуатационных материалов, электроэнергии, топлива, снижается качество выпускаемой продукции.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт некоторых видов оборудования за время его эксплуатации в несколько раз превышают стоимость нового.

Современные методы восстановления деталей позволяют реставрировать детали практически с любыми дефектами естественного изнашивания, обеспечивая при этом их высокую надежность и долговечность.

Стоимость восстановления деталей в среднем составляет не более 30-50 % стоимости изготовления новых, а для базовых деталей – значительно меньше.

Вопросы рационального использования оборудования, предотвращение потерь в производстве из-за неисправностей и аварий, снижение затрат на эксплуатацию и ремонт приобретают важное значение.

Снижения объема ремонтных работ и затрат на их проведение можно добиться при надлежащей организации эксплуатации, технического обслуживания и ремонта оборудования, внедрения новой техники и технологии при выполнении ремонтно-восстановительных работ, применения эффективных методов по повышению износостойкости деталей, защиты от воздействия агрессивных сред, применения износостойких материалов и др.

Большая роль для обеспечения надежности и безопасности работы оборудования отводится технической диагностике, которая позволяет своевременно обнаружить и устранить дефекты и сохранить технический ресурс.

По результатам данных, полученных при диагностировании, принимаются решения о необходимости проведения ремонта, способах восстановления работоспособности, определяется остаточный ресурс оборудования.

## Глава 1. ИЗНОС ОБОРУДОВАНИЯ

Наиболее характерными видами износа машин и аппаратов в химических производствах являются: 1) механический (износ вследствие трения); 2) коррозионный; 3) абразивный; 4) эрозионный; 5) кавитационный; б) деформации и изломы.

### 1.1. МЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗНОС

Наибольшее влияние на механический износ оказывают силы трения, возникающие при взаимном перемещении сопряженных деталей. Трение и износ характеризуют две стороны одного и того же явления, обусловленного взаимодействием двух тел. Трение проявляется в виде противодействия относительному перемещению, т.е. характеризует силовую сторону явления. Изнашивание проявляется в виде разрушения поверхностных слоев взаимодействующих тел и изменения вследствие этого их размеров и форм, увеличения зазоров в сопряжениях, нарушения правильности их взаимного положения. В результате этого ухудшаются эксплуатационные свойства машины.

Под *изнашиванием* понимают процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и формы тела.

*Износ* – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах.

*Износостойкость* – свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

Реальные поверхности деталей машин и аппаратов всегда в какой-то степени шероховаты, т.е. представляют собой неровности различной формы и высоты, образующиеся в процессе их обработки. Они препятствуют соприкосновению деталей по всей поверхности, и контакт происходит в отдельных участках – *пятнах контакта*. Суммарная или действительная площадь контакта составляет лишь небольшую часть общей поверхности, ограниченную контуром контактирующих деталей.

Вследствие малой площади фактического контакта на соприкасающихся поверхностях в пятнах контакта создаются большие удельные давления, развиваются высокие температуры.

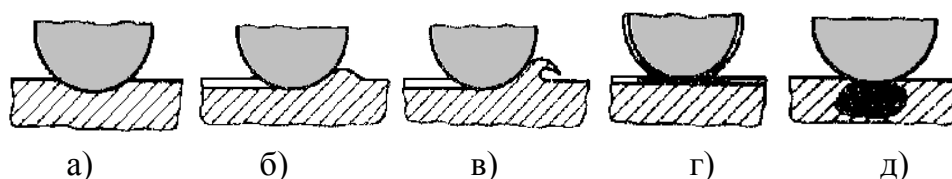
Пятна контакта, которые образуются и исчезают при совместном действии нормальных и тангенциальных сил, называются *фрикционными связями*.

Для оценки механизма разрушения при износе и, соответственно, выбора средств предотвращения и методов упрочнения, рассмотрим явления, протекающие в парах трения и основные факторы, влияющие на

механический износ.

Процесс изнашивания сложен и многообразен. Во время трения протекают одновременно явления: механическое разрушение в виде зацепления и внедрения, молекулярное схватывание и разрушение этих связей, пластическое деформирование поверхностей, хрупкое разрушение и многие побочные явления. Из всех теорий, объясняющих трение, наибольшее распространение получила молекулярно-механическая теория, впервые сформулированная И.В. Крагельским, согласно которой трение обусловлено как молекулярным, так и механическим взаимодействием. Механическое взаимодействие связано с взаимным внедрением отдельных точек касания контактирующих поверхностей, а молекулярное – с их взаимным притяжением (при достаточно тесном взаимном сближении). При взаимодействии неровностей характер металла в пятнах контакта зависит от глубины внедрения, геометрических параметров внедрившихся элементов и соотношения их механических свойств, а также от сил адгезии, проявляющихся при молекулярном взаимодействии.

В зависимости от условий взаимодействия неровностей можно выделить следующие основные виды нарушения фрикционных связей (рис.1.1)



**Рис. 1.1. Основные виды нарушения фрикционных связей:**

а – упругое оттеснение материала; б – пластическое оттеснение материала; в – срез внедрившегося материала; г – схватывание пленок, покрывающих поверхность твердых тел, и их разрушение; д – схватывание поверхностей, сопровождающееся глубинным вырыванием материала

Первые три вида наблюдаются при механическом взаимодействии, два последних – при молекулярном взаимодействии контактирующих поверхностей. Вид нарушения фрикционных связей зависит как от геометрии элементов контактирования (формы выступа и глубины внедрения), так и от свойств материала – предела текучести, модуля упругости, величины сил адгезии и др.

Износ оценивается двумя параметрами – скоростью изнашивания и интенсивностью изнашивания.

Скорость изнашивания ( $v$ ) определяется как отношение величины износа ( $U$ ) к интервалу времени ( $t$ ), в течение которого он произошел:

$$v = \frac{U}{t} \cdot \quad (1.1)$$

Скорость изнашивания измеряется: линейная – в мкм/ч; массовая (весовая) в г/ч; объемная – в мм<sup>3</sup>/ч.

Интенсивность изнашивания ( $J$ ) определяется как отношение величины



износа ( $U$ ) к пути ( $L$ ), на котором происходило изнашивание или к объему выполненной работы.

Интенсивность линейного изнашивания определяется по формуле:

$$J_h = \frac{h}{L}, \quad (1.2)$$

где  $h$  – высота изношенного слоя, мкм;

$L$  – длина пути трения, м.

Интенсивность весового изнашивания можно определить по формуле:

$$J_m = \frac{M}{FL}, \quad (1.3)$$

где  $M$  – масса изношенного слоя материала;

$F$  – номинальная площадь поверхности трения.

Скорость износа увеличивается с возрастанием линейной скорости скольжения. Поэтому при интенсификации работы оборудования за счет увеличения скорости скольжения должно учитываться снижение долговечности узла.

Износ – это физически неизбежный процесс, полностью его исключить не представляется возможным.

Задача производственных рабочих (аппаратчиков, машинистов, операторов и др.), дежурного персонала путем качественного ежедневного обслуживания, соблюдая нормативно-технические материалы (инструкции) по эксплуатации и техническому обслуживанию, свести износ к минимуму за счет смазки узлов трения, регулирования отдельных узлов и деталей и др.

Для оценки механизма разрушения поверхности деталей при износе и, соответственно, выбора средств предотвращения и методов упрочнения, рассмотрим явления, протекающие в парах трения и основные факторы, влияющие на механический износ.

### 1.1.1. Материалы трущихся пар

Качество материала деталей оказывает значительное влияние на работу и износостойчивость пары трения. От качества материала зависит интенсивность и характер пластических деформаций, усталостные явления, изменения в металле под действием теплоты трения и т.д. Износостойкость зависит от вязкости и твердости материала.

При выборе материала для пары трения необходимо руководствоваться следующим: более ответственную и сложную деталь, требующую для изготовления и замены относительно бóльшего времени (например, вал), следует изготавливать из высококачественного и износостойкого материала. Простую деталь, работающую с ней в паре (например, подшипник), изготавливают из сравнительно мягкого материала с малым коэффициентом

трения. Надо учитывать, что однородные материалы имеют больший коэффициент трения, чем разнородные.

Для уменьшения износа применяются специальные антифрикционные чугуны, баббиты, бронзы, антифрикционные металлокерамические композиции с добавками графита в качестве сухой смазки, антифрикционные углеродные материалы, предназначенные для работы без смазки в качестве подшипников, уплотнительных устройств, поршневых колец и других деталей в парах трения, а также твердые антифрикционные покрытия, некоторые полимерные материалы (текстолит, фторопласт и др.) и другие материалы.

Поскольку с увеличением твердости материала износ деталей уменьшается, то особое внимание при замене изношенных деталей следует уделять проверке качества обработки деталей, повышающих поверхностную твердость материала (термическая, химико-термическая обработка и др.). Антифрикционные свойства трущихся пар рассматривают в сочетании материалов вала, подшипника и смазки. Подшипниковые материалы выбирают в применении к работе в паре со стальными или реже чугунными цапфами валов.

Для сохранения граничного смазочного слоя температура на поверхности трения не должна значительно повышаться, поэтому антифрикционные материалы должны иметь высокую теплопроводность, теплоемкость и геометрическое строение, способствующее снабжению смазкой и теплоотводу.

Материал должен легко деформироваться и иметь большую упругую деформацию при трении и износе, в результате чего достигалось бы перераспределение нагрузки и снижалось бы удельное давление.

Большое значение при работе пар трения имеет способность шероховатой поверхности деталей создавать масляную прослойку и улучшать снабжение смазкой участков трения.

Масло удерживается на поверхности во впадинах микрорельефа, так называемых «масляных карманах». Поверхность с большими по высоте неровностями, создающими большие «карманы», удерживает достаточно масла, но несущая способность ее незначительна, т.к. мала площадь фактического контакта. Такие поверхности будут иметь повышенный износ.

У поверхностей с большим количеством малых по высоте неровностей (высокий класс чистоты обработки), наоборот, несущая способность достаточно большая, но «масляные карманы» малы и, значит, будет недостаточно смазки для создания (образования) масляной прослойки. Такая поверхность также будет иметь ускоренный износ.

Минимальный износ будет у такой поверхности, которая имеет микрорельеф, обеспечивающий высокую несущую способность и достаточно большие «масляные карманы».

Шнейдер Ю.Г. разработал способ обработки поверхностей деталей, который дает возможность управлять размерами и формой шероховатости.

Он заключается в обработке поверхности колеблющимся шариком – вибрационное обкатывание. Микрорельеф поверхности создается не процессом резания, а за счет вдавливания, что существенно влияет на форму неровностей, создается регламентируемый рисунок микрорельефа.

При вибрационном обкатывании на поверхности детали создается регулярная, заданной формы система канавок, позволяющая оптимизировать площадь контакта соприкасающихся деталей, маслосъемность трущихся поверхностей. Этот способ позволяет резко сократить время приработки трущихся пар, повысить их износостойкость.

Разные чистые металлы имеют различную активность со смазкой при образовании масляного слоя. Лучшими антифрикционными материалами будут те материалы, которые обладают свойствами образовывать более прочный граничный слой смазки.

Пористые антифрикционные сплавы и поверхностные покрытия обладают свойством быстро восстанавливать граничный слой смазки в случае его нарушения (перегрев, перерыв в подаче смазки). Такое свойство может быть, например, связано с выделением смазки из пор самого подшипника при местном его перегреве.

Хорошая смачиваемость поверхностей трения смазочными маслами обеспечивается покрытием пористого хрома, пористой структурой металлокерамических деталей, а также системой мелких маслоудерживающих каналов, получаемых виброобкатыванием.

### **1.1.2. Деформации в зоне контакта**

В соответствии с видами нарушения фрикционных связей различают три основных вида износа: при пластическом контакте, при упругом контакте и при микрорезании. В работающем узле трения машины одновременно могут участвовать все виды износа, какой-то из них при этом может преобладать. Под влиянием нормальной нагрузки отдельные неровности в зоне контакта деформируются упруго или пластически. В металлических поверхностях, даже при незначительных нагрузках, напряжения в металле вокруг мельчайших неровностей поверхности значительно превышают его пределы упругости и текучести. Исследования показывают, что очаг возникновения пластических деформаций расположен не на поверхности, а на некоторой глубине, а при больших значениях коэффициента Пуассона для материала он выходит на поверхность.

В узлах трения пластической деформации подвергаются поверхностные активные слои деталей, изготовленных как из пластичных (баббит, мягкая бронза, сталь), так и очень твердых металлических сплавов (закаленная сталь, чугун). Происходит это потому, что активные слои детали в процессе трения находятся в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Пластическая деформация поверхностных слоев вызывает их наклеп. Наклепу подвергаются все металлы – пластичные и твердые, но в разной

степени в зависимости от напряженности поверхностного слоя, удельной нагрузки, скорости относительного перемещения и температуры трения. Наклеп по-разному влияет на состояние деталей. При резком перепаде значения твердости от наклепанного к ненаклепанному металлу наблюдается отслаивание и еще более интенсивное изнашивание. Это происходит и при перенаклепе. При плавном же переходе – наоборот, износ уменьшается.

На образовавшихся площадках истинного контакта мгновенно начинает протекать процесс диффузии, который изменяет прочность связей. Важным фактором при трении является различие между прочностью адгезионной связи и прочностью нижележащих слоев. Если связь прочнее нижележащих слоев, то разрушение будет происходить по более слабому месту на значительной глубине, в деформировании будут участвовать значительные объемы, поверхности будут рваными и шероховатыми, а тангенциальное сопротивление будет обусловлено объемными свойствами твердых тел и трение перейдет в разрушение толщины контактирующих поверхностей. Глубинное вырывание – недопустимый вид разрушения, при котором происходит интенсивное изнашивание поверхности трения. В некоторых случаях, при достаточно больших очагах глубинного вырывания, наблюдается заедание поверхности трения, нарушающее работу узла. Внедрившийся выступ гонит перед собой волну, деформируя материал. Он сжимает его перед собой, распространяясь в глубину, и значительно растягивает за собой. Таким образом, каждое сечение истираемого тела последовательно подвергается сжимающим и растягивающим напряжениям. Повторно действующая нагрузка приводит к возникновению концентраторов напряжений. Они появляются также вследствие теплового воздействия во время механической обработки и тепла, выделяющегося при трении, а также вызываются следами обработки – царапинами и металлургическими дефектами (усадочными порами, газовыми пузырями, включениями шлака и т.д.). Эти концентраторы постоянно переходят в трещины вследствие адсорбционных, диффузионных и коррозионных процессов, которые протекают на поверхности раздела. Трещины, постепенно сливаясь, могут привести к образованию частиц износа.

При соответствующей конфигурации выступа или наличии на поверхности твердых частиц (абразива или продуктов износа материала) и при внедрении на достаточную глубину (примерно 0,2-0,3 радиуса выступа), т.е. при переходе порога внешнего трения, может наблюдаться микрорезание металла. Твердые частицы, а также поступившие со смазкой песок или абразивная пыль создают абразивный износ. Твердые частицы производят царапающее и режущее действие, внедряются (шаржируют) в поверхность. При значительном скоплении абразива этот вид износа может быть преобладающим.

### 1.1.3. Влияние оксидных пленок

На металлической поверхности деталей при механической обработке образуются оксидные пленки, даже при комнатной температуре. В трущихся же парах при наличии кислот или щелочей, высоких температур создаются благоприятные условия для их образования. Оксидные пленки по-разному влияют на процесс изнашивания. Если оксид очень твердый и поэтому хрупкий, то он сравнительно легко растрескивается, обнажает более мягкую металлическую поверхность, его осколки внедряются в металл, в результате создаются условия для интенсивного изнашивания, как за счет схватывания, так и абразивного действия. Мягкие оксиды при достаточной их связи с металлом уменьшают трение и износ.

Пленка, разделяющая поверхность, является совершенно обязательным условием скольжения. Если ее нет, то сразу же происходит глубинное вырывание. В условиях сухого трения оксидная пленка, которая возникает на поверхности, увеличивается по толщине до определенной величины, отшелушивается, растет снова и т.д. Эта пленка вступает в молекулярное взаимодействие с пленкой другой поверхности. Пленки защищают основной металл от глубинного вырывания, но не защищают от деформации, которую испытывает металл при скольжении по нему внедрившегося выступа.

### 1.1.4. Влияние температуры трущихся поверхностей

Вследствие малой площади фактического контакта трущихся поверхностей в точках (пятнах) контакта развиваются высокие давления и температура, в результате чего становится возможным адгезионное схватывание частиц металла трущихся тел. При незначительном числе точек контакта (грубая обработка поверхности) вследствие отвода тепла общая температура поверхности трения не поднимается высоко и защитная пленка мгновенно восстанавливается после разрушения образующихся связей. В этом случае имеет место особый вид заедания – *натир*, заключающийся в отрыве мельчайших частиц металла, как правило, с более мягкой поверхности и переноса их на более твердую поверхность.

При большом количестве точек контакта (высокий класс чистоты обработки поверхности) средняя температура поверхности трения повышается значительно и при некоторой ее величине масляная пленка не восстанавливается. В этом случае молекулярному сцеплению подвергаются уже значительные объемы металла. Такой вид заедания называется *задиром*.

Под влиянием пластической деформации и повышенной температуры в поверхностных слоях трущихся деталей происходят различные структурные изменения, совершаемые на основе фазовых превращений (закалка, отпуск), образование структур, диффузионные процессы и др.

Условия протекания фазовых превращений в поверхностных слоях при изнашивании существенно отличаются от условий таких же превращений

при термической обработке. Объясняется это чрезмерно высокими скоростями изменения температуры трения и совмещением фазовых превращений с пластическими деформациями.

Температура является наиболее сильно влияющим на трение и износ фактором, поэтому производят тепловые расчеты подшипников скольжения, закрытых зубчатых передач и других пар трения, а также подбирают соответствующие сорта смазок.

Противозадирные свойства минеральных смазок повышают путем введения легирующих добавок (присадок) в количестве 3-10%, которые способствуют образованию поверхностных пленок, стойких при повышенных температурах.

### **1.1.5. Влияние чистоты обработки поверхности**

Поверхность деталей после их изготовления имеет определенную шероховатость, которая представляет совокупность неровностей, образующих ее микрорельеф. Шероховатость возникает вследствие пластической деформации поверхностного слоя заготовки при ее обработке из-за неровностей режущих кромок инструмента, трения, вырывания частиц материала с поверхности заготовки, вибрации заготовки и инструмента и др. Такой микрорельеф принято называть «технологическим».

Шероховатость поверхности является важным показателем в технической характеристике изделия, которая влияет на эксплуатационные свойства деталей и узлов машин – износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость и др.

Требования к шероховатости поверхности устанавливают исходя из функционального назначения поверхностей деталей и их конструктивных особенностей. Шероховатость количественно оценивается чаще всего высотными параметрами  $R_a$  и  $R_z$ .

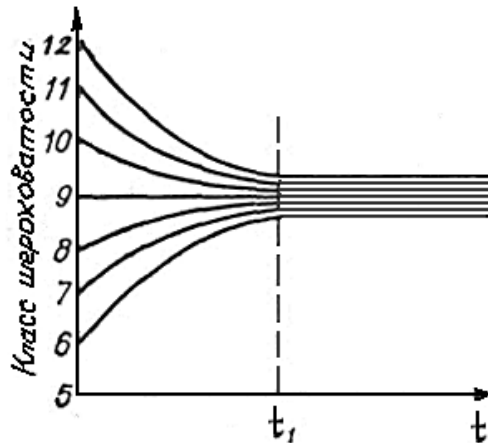
Чистота обработки поверхностей определяет фактическую поверхность контакта трущихся деталей. В начале их работы микронеровности, образованные на поверхности деталей в результате предшествующей механической обработки, разрушаются, и возникает новый микрорельеф поверхности, соответствующий вполне определенным условиям работы элементов пары трения. Поэтому качество обработки деталей в лучшем случае должно давать такой микрорельеф поверхности (форма, размер и направление неровностей), который получается после приработки (обкатки). При этом износ деталей в период обкатки будет наименьшим. Микрорельеф, полученный после приработки деталей, называется «эксплуатационным».

На рис. 1.2 показаны неровности двух профилей, имеющих разную форму, при одинаковом значении высотных параметров шероховатости. При одной и той же высоте неровностей износостойкость поверхности (б) будет больше, чем поверхности (а). Чистота обработки определяет, в основном, износ в период приработки.



**Рис. 1.2. Неровности двух профилей, имеющих разную форму, но одинаковое значение высотных параметров**

В процессе работы деталей шероховатость их поверхности изменяется и после приработки ( $t_1$ ) остается постоянной, что обеспечивает минимальный износ с постоянной скоростью (рис. 1.3).



**Рис. 1.3. Изменение класса шероховатости поверхности во времени**

Такое изменение шероховатости характерно для нормальных условий эксплуатации. При условиях повышенной пластической деформации, отсутствия смазки, заеданиях и т.д. шероховатость поверхности резко увеличивается.

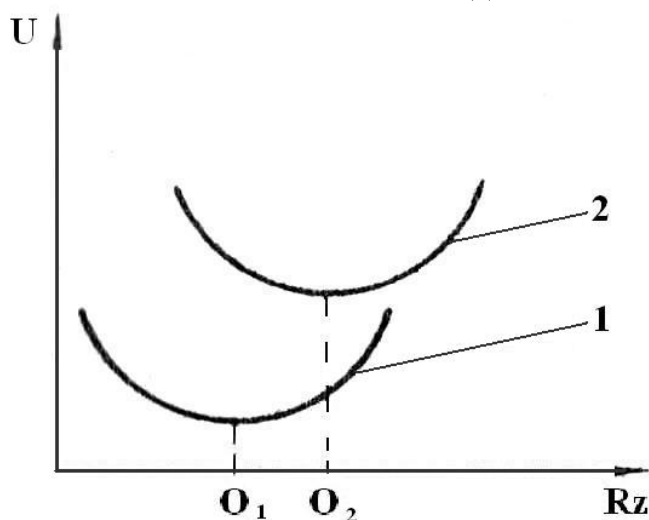
При равновесной шероховатости поверхности, соответствующей периоду установившегося износа, коэффициент трения будет минимальным, что вызывает минимальный износ. Это свидетельствует о том, что имеется оптимальная шероховатость поверхности.

*Оптимальной* называется шероховатость, получающаяся после приработки, обеспечивающая минимальный износ и сохраняющаяся в процессе длительной эксплуатации машины.

Установлено, что не всегда высокая чистота обработки поверхности является оптимальной для установившегося режима работы трущихся пар. Существует для конкретных условий своя шероховатость поверхности, зависящая от удельной нагрузки, свойств материала, наличия смазки и т.п. Чем ближе шероховатость поверхности новых деталей к шероховатости приработавшихся, тем короче время приработки и меньше износ. Поэтому при изготовлении сменных деталей необходимо стремиться к достижению оптимальной шероховатости, при которой износ и длительность приработки деталей будут минимальными. Минимальный износ в период приработки обеспечивает минимальную скорость износа и в период нормальной

эксплуатации. Именно в этом и проявляется влияние чистоты обработки трущихся поверхностей. Особенно сильно влияет на износ качество обработки поверхности детали, изготовленной из твердого материала, работающей в паре с деталью из мягкого материала.

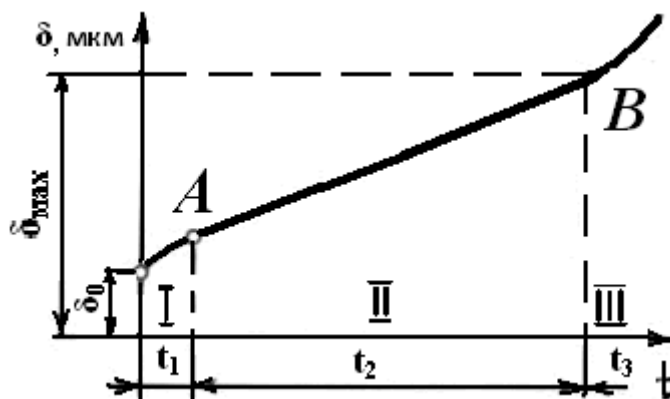
На рис.1.4 приведена зависимость величины износа деталей  $U$  от параметра шероховатости  $R_z$ . Кривая 1 характеризует зависимость износа для легких условий работы трущихся пар (небольшие удельные давления, хорошая смазка и др.), а кривая 2 – для тяжелых условий работы (большие удельные давления, недостаточная смазка и др.). Оптимальное значение  $R_z$  соответствует минимумам на кривых (точки  $O_1$  и  $O_2$ ). Левые части кривых характеризует износ с преобладающим влиянием молекулярного взаимодействия, а правые – механического взаимодействия неровностей.



**Рис.1.4. Зависимость величины износа от шероховатости поверхности**

Из кривых видно, что большая исходная чистота поверхности не обеспечивает большей износостойкости, а затраты, связанные с обработкой деталей по более высокому классу чистоты, при этом будут возрастать.

Процесс изнашивания детали во времени протекает неравномерно. На рис. 1.5 показана эта зависимость.



**Рис. 1.5. График износа детали во времени**

Начальное значение зазора в соединении (монтажный зазор,  $\delta_0$ )



определяется конструкцией соединения.

Зазор  $\delta_{\max}$ , соответствующий переходу от периода нормального износа к периоду аварийного износа, является предельно допустимым. Численные значения предельно допустимых зазоров приводятся в технических условиях на ремонт.

В работе деталей машин существуют три периода износа:

I – период приработки, характеризующийся повышенным износом из-за быстрого разрушения микронеровностей, полученных при обработке детали;

II – период установившегося (нормального) износа, характеризующийся постоянной скоростью износа ( $v = \text{const}$ );

III – период аварийного (прогрессивного) износа, характеризующийся возрастанием скорости износа.

В процессе эксплуатации машины зазоры контролируются с помощью специального инструмента (щупов). Щуп представляет собой стальную с параллельными измерительными плоскостями пластинку определенной толщины. Выпускается четыре номера наборов, толщина щупов в которых ограничена диапазоном 0,02-1,0 мм. Период нормального износа является самым длительным во времени. В течение этого периода увеличение зазора в сопряжении происходит без заметного снижения работоспособности машины.

Изменение зазора в соединении связано с изменением качества поверхности детали, ее геометрической формы и другими причинами. Поэтому зазор может быть принят в качестве комплексного параметра, определяющего скорость износа.

Процесс износа является вероятностно-статистическим, поэтому кривая износа может быть описана по средним значениям износа или по максимальным его значениям для группы одинаковых деталей. Распределение зазоров по величине подчиняется нормальному закону.

Предельно допустимое значение размера детали или зазора в соединении устанавливается на основании данных об эксплуатации машин или по нормам, которые также являются обобщением опыта эксплуатации.

Несмотря на то, что имеются данные по скорости износа различных деталей в реальных условиях, обобщенные показатели износа отсутствуют. Для машины в целом описать ее износ трудно, поэтому чаще всего используют показатели, полученные при испытании на надежность.

Кривая износа, представленная на рис.1.6, является характерной для большинства деталей, так как при эксплуатации машин износ их может наблюдаться во всех трех периодах. Однако для деталей, к числу которых относятся уплотнения, плунжерные пары и т.п., период аварийного износа на практике не достигается, т.к. еще в период нормального износа происходит потеря эксплуатационных качеств машины.

Период приработки обычно совпадает с периодом обкатки оборудования, однако для сменных деталей, устанавливаемых на машину

при ремонте, период приработки сохраняется.

Механический износ проявляется также в пластической деформации деталей, подверженных нагрузкам. Например, валы, кроме износа поверхностей трения, подвергаются изгибу и кручению, подвергаются пластической деформации шпонки и шпоночные канавки (пазы), резьбовые соединения и т.п.

К износу относится также нарушение целостности деталей, которое всегда связано с аварийным износом и может привести к серьезным последствиям. Причинами нарушения целостности могут быть: 1) превышение допустимой нагрузки; 2) наличие неучтенных концентраторов напряжений; 3) большой разброс механических характеристик материалов; 4) качество изготовления деталей и узлов и особенно качество термической и химико-термической обработки, сварочных и сборочных работ; 5) качество межремонтного обслуживания оборудования и особенно качество смазки узлов трения и др.

### **1.1.6. Взаимный избирательный перенос**

И.В. Крагельским и Д.Н. Гаркуновым открыто явление избирательного переноса при трении. Благодаря этому эффекту при работе узла трения машины при определенных условиях смазки и подбора материалов самопроизвольно на поверхности трения детали формируется очень тонкая пленка пластического металла с особой структурой и составом. Эта пленка защищает поверхности от износа, значительно снижает потери на трение. Поверхности самих сопряженных деталей находятся под пленкой и в трении не участвуют, воспринимая лишь равномерно распределенную, а поэтому незначительную нагрузку. В то же время пленка обладает ничтожной способностью прилипать к поверхности. Поэтому трение очень мало – на уровне шарикового подшипника. Пленка и детали работают практически без износа. Для избирательного переноса необходимы смазки, исключаящие образование оксидных пленок на поверхности трущихся пар. Тогда, вступая в электрохимическое взаимодействие со смазкой, свободная металлическая поверхность образует тонкую пленку металла. Углеводородная составляющая смазки при этом не только участвует в физико-химических процессах на поверхности контакта при образовании металлической пленки, но она служит также транспортом для подачи металла в зону трения, охлаждает узлы трения, защищает их от коррозии.

Расход металла при использовании эффекта избирательного переноса невелик, т.к. защитная пленка образуется только в зоне контакта, толщина ее ничтожно мала, а живучесть в несколько раз больше, чем пленки из углеводородной смазки.

Эффект избирательного переноса получил широкое распространение в ряде отраслей промышленности и дает большой экономический эффект. При создании новых машин имеется возможность уменьшить их вес и габариты

на 15-20% за счет увеличения в 1,5-2 раза грузоподъемности пар трения, существенно повысить коэффициент полезного действия машин и, соответственно, сократить расход электроэнергии, повысить надежность и увеличить срок службы машин и межремонтный период, уменьшить примерно в 2 раза расход смазки.

По принципу избирательного переноса работают подшипники из АСП (антифрикционные самосмазывающиеся пластмассы).

### **1.1.7. Контактная усталость металла**

Детали, работающие в условиях качения и одновременно проскальзывания, подвергаются своеобразному износу. На поверхности контакта появляются «язвочки» или так называемые питтинги, которые ведут к шелушению поверхности и ее выкрашиванию. Такой вид износа называется осповидным. Подобное осповидное разрушение, например, наблюдается на поверхности зубьев тяжело нагруженных зубчатых колес, а также на беговых дорожках колец подшипников качения.

В условиях трения качения на поверхности действуют нормальные и касательные напряжения. Касательные напряжения возникают на некоторой глубине и, совпадая с направлением движения, усиливаются, способствуют появлению наклепа и усталостных трещин. Это явление носит название контактной усталости металлов. На процесс поверхностного разрушения при трении качения влияет тепловыделение. Местное повышение температуры вызывает появление внутренних напряжений, которые, складываясь с внешними силами, влекут за собой также образование трещин.

Смазка, проникая в микротрещины, может производить раскалывающее действие, способствуя разрушению поверхностного слоя. С повышением вязкости смазки или прекращения ее подачи процесс выкрашивания снижается.

Поскольку возникновение питтингов обусловлено действием циклических контактных напряжений, для повышения долговечности деталей машин необходимо стремиться к снижению удельных нагрузок и повышению предела прочности материала детали.

## **1.2. СМАЗКА ОБОРУДОВАНИЯ**

Смазка узлов трения уменьшает износ деталей, снижает расход энергии на работу машин и отводит тепло и продукты износа от трущихся поверхностей. При наличии смазки в узле трение деталей друг о друга заменяется трением слоев смазки. Например, для пары сталь – бронза износ при наличии смазки уменьшается примерно в 30 раз по сравнению с износом, имеющим место при отсутствии смазки. Даже кратковременное отсутствие смазки приводит к резкому повышению износа.

В зависимости от толщины и характера слоя, образуемого смазкой,

различают следующие виды трения:

- сухое трение, возникающее при отсутствии смазки между трущимися деталями;
- полусухое трение, при котором большая часть поверхности деталей не имеет смазки, и лишь небольшая часть поверхности покрыта смазкой;
- полужидкостное трение, при котором смазка покрывает только часть полной поверхности трущихся деталей;
- граничное трение, при котором слой смазки настолько тонок ( $< 0,1$  мкм), что его свойства не подчиняются законом гидродинамики;
- жидкостное трение, при котором между взаимодействующими деталями образуется слой смазки и происходит их полное разделение.

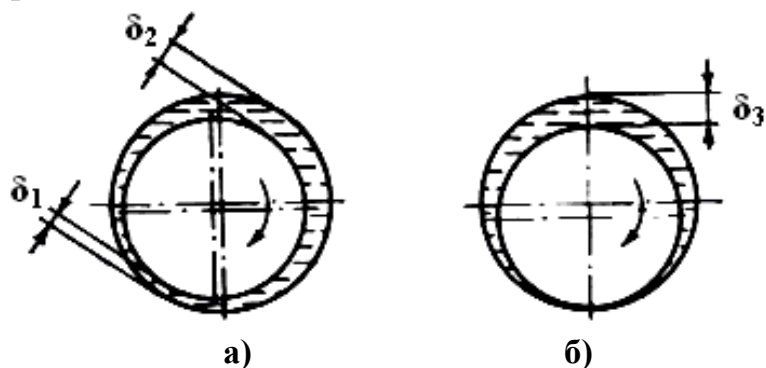
Способность смазки обеспечивать граничное трение называется маслянистостью или липкостью.

Полужидкостное трение имеет место в периоды пуска и остановки машины, при малом числе оборотов вала. Коэффициент трения в момент пуска равен  $0,2-0,25$ , а при жидкостном трении –  $0,01-0,001$ .

Даже при установившемся режиме сухого трения коэффициент трения ниже, чем в момент пуска и равен  $f = 0,15-0,20$ .

На вид трения оказывают влияние величина удельного давления между трущимися деталями, скорость их относительного перемещения, конструкция трущейся пары.

На рис. 1.6 показано положение вала в подшипнике при жидкостном и полужидкостном трении.



**Рис. 1.6. Положение вала в подшипнике:**

а – при жидкостном трении; б – при полужидкостном трении

При слишком малой величине зазора  $\delta_1$  может иметь место образование задиров на поверхности трения и повышение температуры узла. При слишком большой величине зазора  $\delta_1$  возможно появление ударных нагрузок, что также приводит к резкому повышению износа.

В подшипниках качения износу подвергаются все элементы – тела качения, сепараторы, наружные и внутренние кольца.

Основными узлами и деталями в машинах и аппаратах, для которых необходима смазка, являются подшипники скольжения и качения, зубчатые, цепные, червячные и винтовые передачи, сальники, пары трения с возвратно-

поступательным движением и др.

Согласно формуле Н.П. Петрова, заложившего основы гидродинамической теории смазки, минимальную толщину масляного слоя (клина), при которой происходит полное разделение смазкой трущихся поверхностей вала и подшипника, можно определить по формуле (1.4):

$$h_{\min} = \frac{d^2 n \mu l}{18,36 P S (l + d)} > h_{кр} , \quad (1.4)$$

где  $h_{\min}$  – минимальная толщина смазки, мм;

$d$  – диаметр вала, мм;

$n$  – число оборотов вала, об/мин;

$\mu$  – динамическая (абсолютная) вязкость масла, н·с/м<sup>2</sup>;

$l$  – длина подшипника, мм;

$P$  – удельное давление вала на подшипник, н/м<sup>2</sup>;

$S$  – зазор между валом и подшипником, мм;

$h_{кр}$  – толщина масляного слоя, при уменьшении которой наступает полужидкостное трение.

### 1.2.1. Виды смазочных материалов и их основные свойства

Основу всех видов смазочных материалов составляют минеральные масла нефтяного происхождения. В последние годы успешно применяются органические синтетические жидкости, которые при сходстве с минеральными маслами, обладают новыми ценными свойствами и поэтому являются незаменимыми компонентами новых смазочных композиций и используются в качестве смазочных материалов. Все смазочные материалы подразделяются на жидкие масла, консистентные и твердые смазки.

#### 1.2.1.1. Минеральные (нефтяные) масла

Минеральные масла по условиям изготовления и способу их очистки подразделяют на дистиллятные, остаточные и смешанные (комбинированные). Способы очистки обычно указываются в характеристике масла. Основной характеристикой минеральных масел является вязкость, поскольку она в первую очередь определяет жидкостное трение в узле, а также потерю энергии на взбалтывание масла в механизмах, возможность прокачивания по маслопроводу, утечку через уплотнения, скорость отстоя масел в резервуарах и т.п.

Различают вязкость динамическую или абсолютную, кинематическую и условную.

*Динамическая вязкость  $\mu$*  - это есть сила сопротивления жидкости перемещению одного ее слоя относительно другого, находящегося на расстоянии 1 см, со скоростью 1 см/с при площади каждого слоя 1 см<sup>2</sup>. За единицу динамической вязкости принимается пуаз (г/см·с), сокращенно Пз.

Сотая часть пуаза называется сантипуазом (сПз).

*Кинематическая вязкость*  $\nu$  представляет собой отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при той же температуре.

Единицей кинематической вязкости является стокс ( $\text{см}^2/\text{с}$ ), сокращенно Ст. Сотая часть стокса называется сантистоксом и обозначается сСт.

*Условная вязкость*, ВУ (относительная вязкость) – это есть отношение времени истечения из вискозиметра 200 мл испытуемого материала при заданной температуре (обычно 50 или 100°C) ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при 20°C. Условное обозначение вязкости условной – ВУ<sub>50</sub>, ВУ<sub>100</sub>, где числовой индекс обозначает температуру в °C, при которой определяется вязкость.

Для перевода кинематической вязкости в условную пользуются специальными таблицами.

При подборе и применении масел следует также, помимо вязкости, учитывать следующие важные свойства.

*Температура застывания* масла характеризует потерю его подвижности при низких температурах. Температуре застывания предшествует температура помутнения, при которой масло теряет прозрачность вследствие кристаллизации парафинистых составляющих. Температура помутнения служит показателем границы работоспособности масла при низких температурах. Эта характеристика масел имеет большое практическое значение и особенно при смазке машин, работающих при низких температурах окружающего воздуха, например, при установке их на открытых площадках. Масло, застывая, не проходит по маслопроводам и не прокачивается в маслосистемах. Температуру застывания масел следует подбирать так, чтобы она была на 10-15°C ниже температуры среды, в которой применяют данное масло.

*Температура вспышки* определяет степень огнеопасности и взрывоопасности масел. Чем выше температура вспышки, тем меньше вероятность образования взрывоопасных смесей паров масла с воздухом. Особенно важно учитывать это свойство при подборе масла для смазки оборудования, работающего во взрывоопасных и огнеопасных производствах.

*Стабильность масел* проявляется в его способности максимально долго сохранять свои первоначальные физико-химические свойства или, иначе говоря, «не стареть».

*Старение масла* способствует увеличению коррозионной агрессивности, повышению содержания нерастворимых в масле веществ, выпадающих в осадок, недопустимому увеличению вязкости.

*Вспениваемость* (пенообразование) масла заключается в его способности растворять и впитывать воздух и образовывать пену, ухудшающую работу систем смазки. При этом ослабляется несущая способность масляного слоя, ухудшается прокачивание по маслопроводам и подача на поверхность трения, происходит выбивание масла наружу,

ускоряется окисление. Для борьбы с этими явлениями применяются силиконовые антипенные присадки.

*Коксуемость* или способность масла образовывать нагар имеет также большое значение, т.к. нагар ускоряет износ трущихся поверхностей.

При *эмульгировании масла* (смешении с водой) уменьшается его вязкость, ухудшаются смазочные свойства, вода в масле способствует развитию коррозии смазываемых деталей.

*Индекс вязкости* – величина, показывающая степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры. Чем выше значение индекса вязкости, тем лучше вязкостные свойства масла.

Для повышения рабочих свойств масла к ним добавляют в небольших количествах легирующие добавки, называемые *присадками*.

В зависимости от назначения присадки подразделяются на вязкостные (повышающие вязкость), противоизносные (уменьшающие износ контактирующих поверхностей), депрессорные (понижающие температуру застывания), обкаточные или прироботочные (сокращающие время и повышающие качество первоначальной обработки), противозадирные (предупреждающие заедание и схватывание трущихся поверхностей при больших удельных нагрузках) и др. Применяются также комплексные или многофункциональные присадки, которые одновременно повышают свойства масел по нескольким показателям.

В качестве смазок применяются также синтетические жидкости (масла), представляющие собой органические или элементоорганические искусственные высоко- и среднеполимерные соединения. Они обладают малоизменяющимися свойствами в температурном интервале, низкотемпературные, не испаряющиеся, не изменяют свойства работоспособности в интервале температур от  $-110$  до  $+350^{\circ}\text{C}$  и применяются в виде основных компонентов различных смазок. Наибольшее применение получили кремнийорганические жидкости (силиконовые масла), представляющие собой органосилоксановые полимеры невысокой молекулярной массы, способные сохранять свои свойства в широком интервале температур. По внешнему виду они соответствуют представлениям о минеральных маслах.

Основные виды масел, используемых в качестве смазок: моторные, для паровых турбин и компрессоров, трансмиссионные, промышленные, приборные и масла специального назначения (трансформаторное, гидротормозное и др.).

*Моторные масла* являются достаточно стойкими к воздействию температуры и продуктов сгорания, а также имеют малое изменение вязкости в температурном интервале запуска и установившегося режима работы двигателя внутреннего сгорания. Моторные масла подразделяются на авиационные, автомобильные, дизельные, масла для реактивных двигателей и газовых турбин.

*Масла для паровых турбин и компрессоров* имеют высокую стойкость к

воздействию высоких температур и окислительному воздействию воздуха. Они подразделяются на следующие три группы: цилиндровые, турбинные, предназначенные для смазки и охлаждения паровых и газовых турбин и других подобных машин, компрессорные, применяющиеся для смазки поршневых и ротационных компрессоров и воздуходувок.

*Турбинные масла* являются основой для производства других специализированных масел и смазок. Они обладают высокой стойкостью против окисляющего действия пара и воздуха при повышенных температурах, диэмульгирующими свойствами.

*Трансмиссионные масла* предназначаются для смазки зубчатых передач и подшипников путем заполнения картеров, коробок скоростей и других узлов различных машин и механизмов. Характерным условием для работы масла в данных узлах является нестационарность нагрузок, скоростей и температур. Поэтому к трансмиссионным маслам предъявляются повышенные требования в части вязкости, индекса вязкости и прочности пленки для исключения выдавливания смазки при максимальных нагрузках.

*Индустриальные масла* предназначаются для смазки производственного технологического оборудования, которое, в основном, работает в закрытых отапливаемых помещениях с более или менее постоянными нагрузками и скоростями и без воздействия агрессивной среды. Масла индустриальные общего назначения применяются для смазки машинного оборудования, когда не требуются специальные масла с присадками, а также в качестве базовых для изготовления масел с присадками.

*Трансформаторные масла* характеризуются высокой устойчивостью против окисления, отсутствием воды и механических примесей, низкой температурой застывания. Они подвергаются наилучшей очистке при изготовлении. Применяются в качестве рабочих сред в трансформаторах, конденсаторах, для заполнения гидросистем, для смазки турбореактивных двигателей, а также в качестве основы для изготовления смазочных и других композиций.

#### 1.2.1.2. Консистентные смазки

Консистентные смазки являются продуктами загущения смазочных минеральных (нефтяных) или синтетических масел загустителями и введения в них присадок, придающих коллоидную структуру и дополнительные свойства, определяющие назначение и качество.

Ввиду многокомпонентного состава смазок большое значение имеет их *стабильность* (коллоидная и химическая) и *тиксотропия*, т.е. обратимость – способность несколько разжижаться при работе в узлах смазки и восстанавливаться в покое.

По виду применяемых загустителей (обычно 10-20%) смазки подразделяются на мыльные, загущаемые солями высших жирных кислот



(мыла) различных металлов (барий, кальций, литий, натрий и др.); неорганические, загущаемые продуктами обработки неорганических веществ (известь, силикагель, бентонит, графит, десульфид молибдена и др.); органические, загущаемые продуктами обработки органических веществ и полимерами.

По назначению смазки подразделяются на антифрикционные, составляющие 84% всего выпуска, консервационные или защитные (14%) и уплотнительные или герметизирующие (2%). Все эти виды смазок, в известной мере, взаимозаменяемы.

*Антифрикционные* смазки применяют для смазки трущихся и контактирующих поверхностей при повышенных удельных нагрузках, в случаях, когда трудно осуществить централизованную или проточную смазку. Их преимущественно применяют для смазки самых разнообразных узлов трения, не требующих особой их герметизации. Смазки по сравнению с маслами более прочно удерживаются на смазываемых поверхностях, лучше заполняют и тем самым герметизируют объем смазываемого узла и не требует частой смены и непрерывного наблюдения. Смазки вводят в узлы трения в момент изготовления и ремонта. В некоторых случаях их не заменяют в течение всего времени эксплуатации машины.

Из всех показателей качества консистентных смазок, указываемых в стандартах, наибольшее значение имеет температура каплепадения и число пенетрации, характеризующее плотность или консистентность смазки. Температура каплепадения выбранной смазки должна быть на 10-15<sup>0</sup>С выше температуры среды. Число пенетрации позволяет судить о прокачиваемости смазки.

*Температура каплепадения* – это температура, <sup>0</sup>С, при которой происходит падение первой капли смазки, нагреваемой в определенных условиях. Каплепадение свидетельствует о превращении консистентной смазки в жидкую, т.е. о потере работоспособности смазки. Практически считается, что при температуре на 10-20<sup>0</sup>С ниже температуры каплепадения смазки сохраняют работоспособность.

*Пенетрация* является показателем мягкости (твердости) пластичных смазок, определяется на пенетрометре путем погружения стандартного конуса при определенной нагрузке. Чем тверже смазка, тем меньше число пенетрации.

*Герметизирующие* смазки (уплотнители) применяются для заполнения зазоров неподвижных разборных соединений (резьбовых, фланцевых, прессовых и др.) и периодически подвижных (кранов, задвижек и т.д.) в целях герметизации, предохранения их деталей от коррозии и обеспечения подвижности или разбираемости. Для этой цели широко применяются смазки с графитом и дисульфидом молибдена.

*Защитные (консервационные)* масла и смазки обладают хорошими защитными свойствами и служат для защиты различного оборудования от коррозии.

### 1.2.1.3. Твердые смазки

В качестве твердых смазок применяется графит, дисульфид молибдена, нитрид бора, фталоцианин меди, фторопласт-4 и др., обладающие небольшим коэффициентом трения, который не изменяется при высоких и низких температурах, в вакууме и при воздействии агрессивных сред. Но эти материалы имеют невысокую износостойкость и прочность, что ограничивает их применение в чистом виде. Они могут работать только в малонагруженных и работающих с малыми скоростями узлах трения. Наиболее эффективно они применяются при изготовлении пластичных смазок и высыхающих композиций, образующих твердые антифрикционные покрытия и в виде компонентов сложных композиций (графитопласты, металлофторопласты, металлокерамические антифрикционные материалы).

В производстве антифрикционных смазок в качестве наполнителей широко применяется графит и дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ). Для заполнения закрытых подшипников качения широко применяются смазки с присадкой графита (ЦИАТИМ–201, ЦИАТИМ–202, ЦИАТИМ–208 и др.), работающие в широком интервале температур.

Дисульфид молибдена имеет коэффициент трения  $f = 0,017-0,047$ , термически стабилен в воздухе до  $450^\circ\text{C}$  и в вакууме до  $1100^\circ\text{C}$ . Поэтому многие смазки с присадками дисульфида молибдена применяются для смазки узлов трения, работающих при повышенных температурах и давлении.

Антифрикционные полимерные материалы обладают невысоким коэффициентом трения, высокой износостойкостью, химической стойкостью, отсутствием схватывания в условиях работы без смазки или ограниченной смазки и обеспечивают бесшумность работы механизмов.

Чаще полимерные материалы используются в комбинации с другими материалами – в виде пластмасс и металлополимерных комбинаций.

### 1.2.2. Подбор смазочных материалов

Вид смазки для каждой машины указывается заводом-изготовителем для нормальных условий эксплуатации. Однако при изменении условий работы (скорости, нагрузки, влажности воздуха, температуры и др.) возникает необходимость подбора смазки. Приходится подбирать смазку также, если машина изготовлена на данном предприятии и в некоторых других случаях.

Основной характеристикой для выбора жидкостной смазки является вязкость масла.

Чем выше скорость взаимного перемещения деталей, тем меньше должна быть вязкость. Применение при больших скоростях густой смазки вызывает дополнительный расход энергии и перегрев узла из-за большого внутреннего трения.

При большом удельном давлении между трущимися поверхностями

деталей масло должно быть более вязким. При малой вязкости будет происходить разрыв масляного слоя и выдавливания масла из зазора.

Чем выше температура узла, тем большей должна быть вязкость масла, т.к. с повышением температуры вязкость уменьшается.

Конструкция узла трения и условия эксплуатации также оказывают влияние на выбор вида смазки. Для вертикальных и наклонных поверхностей трения предпочтительны не масла, а консистентные смазки.

В период приработки деталей, а также при повышении износа и увеличении вследствие этого зазора необходимо применение масла повышенной вязкости.

Выбор вязкости масла зависит от способа подвода смазки. Для периодической ручной смазки применяют более вязкие масла, для циркуляционных систем необходимо применять менее вязкую смазку.

Смазку можно выбрать по аналогии с другими машинами, у которых рабочие параметры узлов сходны с рабочими параметрами узлов данной машины. Наиболее точный способ выбора смазки состоит в подборе ее опытным путем после приработки трущихся поверхностей. Для машины надо назначать наименьшее количество сортов смазки.

Иногда приходится выбирать заменители смазочных материалов. Заменитель должен иметь вязкость, равную вязкости основного масла или превышать ее не более чем на 10-12 сСт. Масло требуемой вязкости можно получить смешением масла большей и меньшей вязкости. Процентное содержание их определяют с помощью номограмм.

При выборе заменителей масла для узлов, работающих при высоких и низких температурах, надо учитывать температуру вспышки и температуру застывания масла – заменителя. Масла турбинные и трансформаторные не заменяются. Замена консистентных смазок производится по признаку основания (загустителя) смазки: температуры каплепадения и числа пенетрации.

### **1.2.3. Регенерация отработанных масел**

В период эксплуатации смазочные масла изменяют свои первоначальные свойства и с течением времени становятся непригодными. Масла, выработавшие предусмотренное время, собирают и регенерируют. Существуют нормы сбора и выхода регенерированных масел (в процентах к расходу свежих).

Сбор и хранение отработанных масел производят согласно правилам, предусмотренным стандартом. Для регенерации масел применяют следующие методы: отстой, фильтрацию, сепарацию, коагуляцию, промывку водой, адсорбцию, химические методы (сернокислотная и щелочная очистка). Перечисленные отдельные способы очистки обычно входят в самые разнообразные схемы регенерации. Применение той или иной схемы зависит от характера и степени загрязнения масел и области применения их после

регенерации. При регенерации часто не удается получить масла, полностью удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к свежим маслам, т.к. полностью или частично при этом удаляются содержащиеся в масле присадки.

Регенерированные масла, удовлетворяющие по качеству стандартам на свежие масла, с учетом допускаемых отклонений, предусмотренных стандартом, можно применять по прямому назначению в чистом виде или в смеси со свежими маслами той же марки (кроме картерной смазки).

В случае значительных отклонений от допустимых пределов по отдельным показателям, например, вязкости, кислотному числу, коксуемости, регенерированные масла можно применять для смазки грубых механизмов и оборудования, имеющего второстепенное значение.

### 1.3. КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС

*Коррозией* называется процесс разрушения металлов при химическом или электрохимическом взаимодействии их с окружающей средой.

*Химическая коррозия* представляет собой процесс взаимодействия металла с коррозионной средой, не проводящей электрический ток (сухие газы, жидкости – неэлектролиты).

*Электрохимическая коррозия* объясняется действием микрогальванических элементов. В качестве анода и катода могут служить различные структурные составляющие сплава, граница и сердцевина зерна, напряженный и ненапряженный участки металла, чистый металл и его оксид. То есть, если на поверхности имеются участки, существенно отличающиеся друг от друга по значению электродных потенциалов, то образуются микрогальванические пары. При этом анодные участки всегда имеют более высокий электродный потенциал и подвергаются растворению.

Для аппаратов химической промышленности коррозионный износ является наиболее частой причиной выхода их из строя.

Так, например, для теплообменной аппаратуры и аппаратов с мешалками 64,2% отказов в работе происходит по причине коррозионного износа.

По характеру разрушения коррозия может быть сплошной (по всей поверхности металла) и местной (в виде отдельных язвин, пятен, сквозных отверстий, трещин). При сплошной коррозии долговечность аппарата определяется припуском (прибавкой) на коррозию, при местной коррозии долговечность может быть определена только методами теории надежности.

Сплошная коррозия может быть равномерной, протекающей с одинаковой скоростью по всей поверхности металла, неравномерной, протекающей неравномерно с различной скоростью на различных участках поверхности металла, и избирательной, при которой разрушается одна из составляющих или один из компонентов сплава (обесцинкование латуни, например). При сплошной коррозии прочность детали уменьшается прямо

пропорционально толщине коррозионного слоя.

В химической промышленности отказы оборудования по видам коррозии распределяются следующим образом:

- коррозионное растрескивание – 35%;
- дырчатая коррозия – 20%;
- общая (равномерная) коррозия – 18%;
- межкристаллитная коррозия – 16%;
- прочие виды (фреттинг – коррозия, щелевая, коррозия под напряжением, ножевая и др.) – 11%.

Таким образом, наиболее частой причиной отказов является коррозионное растрескивание, которое является следствием действия агрессивной среды и остаточных напряжений в металле. При этом коррозионное растрескивание имеет место только при наличии растягивающих напряжений.

*Коррозионное растрескивание* наблюдается преимущественно в сварных соединениях, изогнутых трубах, в местах развальцовки труб, т.е. в тех местах, где имеются остаточные напряжения.

При изготовлении и ремонте аппаратуры все виды обработки, вызывающие рост кристаллических зерен, увеличивают склонность стали к коррозионному растрескиванию.

Повысить стойкость аппаратуры из углеродистой стали к коррозионному растрескиванию удается отжигом, проводимым при 650°C. Для нержавеющей сталей это достигается отпуском при 650-800°C, а в ряде случаев и при более высокой температуре (800-1150°C).

*Дырчатая коррозия* характеризуется образованием сквозных отверстий в металле. Наиболее опасна дырчатая коррозия для аппаратов высокого давления, корпуса которых изготовлены из углеродистой стали, а внутренний облицовочный слой из коррозионностойкого металла. Для своевременного обнаружения дырчатой коррозии, а также других видов коррозионного разрушения облицовочного слоя в корпусе аппарата предусматривается выполнение специальных сигнальных отверстий.

*Межкристаллитной коррозии* чаще всего подвержены конструкции, изготовленные из хромоникелевых сталей и сплавов из алюминия. Она возникает по границам кристаллов (зерен), составляющих металл, и нарушает связь между ними, что вызывает снижение механической прочности металла. Особенностью коррозионного разрушения этого вида является то, что коррозия распространяется глубоко внутрь металла, не изменяя внешнего вида конструкции. Разрушение происходит внезапно в результате резкого падения прочности металла или сплава.

Обычно межкристаллитная коррозия возникает в зоне сварных швов. Так, при сварке хромоникелевых сталей при температуре 1000-1160°C с последующим быстрым охлаждением происходит изменение свойств металла по границам кристаллов (зерен). Вместо карбидов хрома ( $Cr_4C$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_7C_3$  и др.) образуются карбиды железа ( $Fe_3C$ ,  $Fe_2C$  и др.),

обладающие меньшей устойчивостью к коррозионным средам по сравнению с карбидами хрома.

Одним из методов борьбы является нагрев стали до 1080-1150°C и последующей закалкой водой.

Разновидностью межкристаллической коррозии является *транскристаллитная коррозия*, рассекающая металл трещиной прямо через зерна (кристаллы).

*Водородная коррозия* проявляется у оборудования, работающего в водородсодержащей среде при температуре  $t > 300^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P > 20,0$  МПа (оборудования синтеза аммиака, метанола и др.). Она приводит к структурным превращениям стали, вызванным ее обезуглероживанием в результате диффузии в металл атомарного водорода с образованием нитридов. Это влечет появление микротрещин, что снижает прочность стали и особенно ее пластичность. Чем ниже содержание углерода в стали, тем менее заметно действие водорода. Для снижения склонности сталей к водородной коррозии их легируют хромом, молибденом, ванадием, вольфрамом, титаном, которые образуют карбиды, более стойкие по отношению к водороду, чем карбиды железа. Значительной стойкостью обладает сталь X18H10T.

*Ножевая коррозия* по характеру близка к меж- и транскристаллитной. Она словно ножом рассекает металл вдоль сварного шва при эксплуатации некоторых металлов и сплавов в особо агрессивных средах.

*Фреттинг – коррозия* наблюдается при колебательном перемещении двух деталей относительно друг друга. В результате вибрации на их поверхностях возникают микроскопические смещения сдвига.

*Атмосферной коррозии* подвергаются в основном металлоконструкции и оборудование, установленное на открытых площадках.

В наибольшей степени коррозии подвержены: места с высокой линейной скоростью среды, участки с остаточными напряжениями, застойные зоны, зоны нагрева, узлы трения и некоторые другие.

### **1.3.1. Защита оборудования от коррозии**

Для защиты оборудования от коррозии существует много различных способов.

Методом борьбы с атмосферной коррозией является применение лакокрасочных покрытий и нанесение слоя защитного металла методом металлизации (напыление металла). Выбор лакокрасочного материала определяется свойствами среды и видом конструкционного материала. Для напыления применяют, в основном, цинк, алюминий и кадмий. Толщина напыленного слоя обычно составляет 50-500 мкм.

Для уменьшения коррозии применяют ингибиторы коррозии, защитные действия которых в большинстве случаев сводятся к торможению анодного процесса за счет образования тончайших (~0,01 мкм) пассивирующих

пленок, что замедляет анодный переход металла в раствор и тем самым снижается скорость коррозии. Ингибиторы коррозии обычно применяют в системах, имеющих постоянный объем агрессивной среды или в системах с малоизменяющимся составом среды.

Электрохимические методы защиты заключаются в присоединении металлоконструкции к положительному (анодная защита) или отрицательному (катодная защита) полюсу источника тока. Разновидностью катодной защиты является протекторная защита, когда аппарат или трубопровод присоединяются к металлу, имеющему отрицательный потенциал по отношению к металлу защищаемого аппарата или трубопровода. Протектор изготавливается в виде пластин толщиной 10-15 мм, соединенных болтами с корпусом аппарата. Площадь протектора составляет 3-5% от поверхности аппарата. В качестве протекторов для стальных аппаратов используются цинковые пластины.

Широкое применение при защите оборудования от коррозии получили разнообразные неметаллические химически стойкие материалы как органического, так и неорганического происхождения.

В зависимости от технологии изготовления, формы и назначения материалов они подразделяются на штучные, рулонные и вяжущие.

Кроме химической стойкости, к защитным материалам предъявляются требования достаточной прочности, температурной стойкости, износостойкости, высокой плотности и др.

Аналогичные требования предъявляются к вяжущим материалам, которые применяются при производстве футеровочных работ.

Широкое применение находит кислотоупорная керамика в виде кирпича различной формы и размера, облицовочных керамических и фарфоровых плиток.

*Кислотоупорные керамические изделия* обладают высокой химической стойкостью к различным кислотам, растворам щелочей и солей, а также к действию агрессивных газов.

Штучные керамические кислотоупорные материалы применяют для футеровки разнообразной химической аппаратуры и сооружений (башен, вытяжных труб), а также для облицовки строительных конструкций (полов, фундаментов).

*Фарфоровые плитки* обладают большой плотностью и высокой механической прочностью. Они имеют высокую кислотоупорность (99%) и незначительную пористость. Применяют для футеровки аппаратуры, облицовки панелей, колонн, фундаментов и др.

*Каменное литье* получают путем плавления горных пород (диабаз, базальт) с последующей разливкой в формы при обеспечении малой скорости охлаждения.

Для футеровки химической аппаратуры применяется, в основном, диабаз в виде плиток, кирпича, а также для изготовления отдельных элементов аппаратуры (сливных желобов, патрубков, труб и др.). Материал

обладает высокой стойкостью против действия кислот (за исключением плавиковой) и щелочей, растворов солей любых концентраций, полностью непроницаем для жидкостей и газовых сред. Недостаток состоит в том, что диабаз имеет невысокую температурную стойкость, поэтому его применяют при перепадах температур: в жидкостях – до 100<sup>0</sup>С, в газах – до 200<sup>0</sup>С.

*Диабазовой плиткой* футеруют автоклавы, реакторы, отстойники, кислотохранилища и другое оборудование, работающее в условиях воздействия агрессивных сред при атмосферном и повышенном давлении. Из измельченного диабаза (муки) изготавливают химически стойкую замазку (связующее) при производстве футеровочных работ.

*Углеродистые плитки* типа «антегмит» изготавливают из смеси фенолформальдегидной смолы и графита методом горячего прессования. Они обладают высокой устойчивостью к действию многих минеральных кислот, в том числе и плавиковой, и растворов кислых солей. Особенно ценным качеством антегмита является высокая теплопроводность, что позволяет его применять для футеровки теплообменной аппаратуры. В качестве связующего применяется замазка «арзамит», представляющая собой химически стойкий самотвердеющий материал на основе формальдегидной смолы с порошкообразным наполнителем (графит, кремнезем, сернистый барий) и добавками, ускоряющими затвердение.

Плитки из *полистирола* изготавливают методом литья под давлением. Их можно эксплуатировать при температуре до 80<sup>0</sup>С. Полистирол стоек к действию щелочей, кислот (за исключением азотной), растворов солей и многих органических соединений.

Для защиты оборудования от коррозии широко применяется футеровка его *фаолитом*. *Фаолит* представляет собой кислотоупорную пластичную массу, получаемую на основе жидкой формальдегидной смолы и кислотостойкого наполнителя – асбеста (фаолит марки А), графита (фаолит марки Т) и кварцевого песка (фаолит марки П).

Изделия из сырого фаолита можно формовать при комнатной температуре без применения высокого давления с последующим отверждением (бакелизацией), что позволяет изготавливать из него изделия, не пользуясь прессовым оборудованием.

Фаолит поддается всем видам механической обработки, хорошо склеивается при помощи фаолитовой замазки или замазки «арзамит».

#### 1.3.1.1. Гуммирование аппаратуры

Из нескольких способов гуммирования для защиты химического оборудования от коррозии получил способ обкладки листовой резиной. Применяется каландрованная резина толщиной 2,0-3,0 мм.

Широко применяется гуммирование аппаратов, трубопроводов, запорной арматуры (кранов, вентилей). Трубы гуммируют диаметром более 37 мм.



В зависимости от содержания серы в составе резиновой смеси различают мягкую резину ( $S=2-4\%$ ) и твердую или эбонит ( $S$  до  $50\%$ ). Резиновые покрытия хорошо противостоят истирающему действию агрессивной среды, содержащей взвешенные частицы. Положительными свойствами является небольшой вес покрытия, небольшая толщина (4-5 мм), полная непроницаемость для жидкостей и газов и их диэлектрические свойства. Однако резиновые покрытия имеют ограниченную теплостойкость и слабую стойкость к окислительным средам.

Гуммирование обычно производят в два слоя, используя в качестве подслоя эбонит, обладающий хорошей адгезией к металлам. Перед обкладкой листы склеивают (дублируют), края листов срезают на фаску шириной 15-20 мм под углом  $30-40^\circ$ .

Поверхность аппаратуры перед гуммированием должна быть тщательно подготовлена: очищена от загрязнений, следов коррозии, на ней не должно быть никаких следов повреждения (дефектов) в виде заусенцев, царапин, забоин, раковин, трещин и др. Подготовку поверхности осуществляют с применением пескоструйной обработки. Затем поверхность промывают водой, обезжиривают и сушат. После чего наносят резиновый (каучуковый) клей в три слоя с промежуточной сушкой согласно технологии.

Резиновыми клеями называют растворы резиновых каучуков или резиновых смесей в органических растворителях с добавками или без добавления легирующих компонентов.

Обкладку аппаратов ведут снизу вверх с отбортовкой на фланцы. После обкладки производят прикатку листов роликами с целью удаления воздуха и обеспечения более прочного сцепления резины с поверхностью.

Затем производят тепловую обработку (вулканизацию) острым паром или горячим воздухом при температуре  $120-150^\circ\text{C}$ , используя для этих целей специальные вулканизационные котлы. Для некоторых сортов резины применяются и более высокие температуры вулканизации –  $200-250^\circ\text{C}$ .

При вулканизации происходит химическое взаимодействие каучука с серой, что вызывает «сшивание» макромолекул каучука с образованием сетчатой структуры, в результате чего резина приобретает упругость, устойчивость к воздействию температуры и химическую стойкость.

Широко используется метод вулканизации непосредственно в гуммируемом аппарате. Перед этим аппарат оборудуют всеми необходимыми коммуникациями для подвода пара, сжатого воздуха и отвода конденсата. Вулканизация может проводиться горячей водой или с помощью перегретого (острого) пара. При вулканизации водой в подготовленный аппарат наливают воду и подогревают ее до кипения острым паром или через змеевик.

Режим вулканизации в каждом отдельном случае устанавливается в зависимости от толщины и конструкции резиновой обкладки. Обычно время вулканизации составляет не менее 20 часов. Для определения времени окончания вулканизации в аппарате подвешивают образцы резины, которые

затем периодически вынимают и подвергают физико-механическим испытаниям.

Для некоторых сортов резины вулканизацию покрытий производят не в воде, а в растворе хлористого калия (30-40%), имеющем более высокую температуру кипения.

При гуммировании могут иметь место дефекты (пузыри, трещины, царапины, углубления, отслоения от металла), являющиеся причиной, в основном, нарушения технологии производства гуммировочных работ: плохой подготовки поверхности металла, плохой сушки клеевого слоя, неудовлетворительной прикатки резины к металлу, неполного удаления воздушных пузырей во время прикатки и др.

Перспективным в технике гуммирования химического оборудования является применение составов на основе каучука-латексов, не требующих вулканизации покрытия при повышенной температуре, т.к. процесс коагуляции идет при нормальной температуре.

Латексы представляют собой дисперсии синтетических каучуков в воде, образующихся в процессе эмульсионной полимеризации и сополимеризации мономеров. Латексы содержат от 20 до 70% каучуков.

Применяется также способ гуммирования путем газопламенного и вихревого напыления порошкообразных резиновых смесей.

#### 1.3.1.2. Эмалирование аппаратуры

Эмалирование широко применяется для защиты от коррозии стальной и чугунной аппаратуры. Эмали бывают грунтовые и покровные. Первые служат для лучшего сцепления покровной эмали с поверхностью металла. Получают эмали сплавлением шихты, состоящей из песка, полевого шпата, буры, соды и небольших количеств веществ, сообщающих грунтовой эмали способность прочно сцепляться с металлом (главным образом оксидов кобальта и никеля). Эмали бывают кислотостойкие, щелочностойкие и универсальные.

Жидкую эмаль (шликер) наносят на изделия путем облива, окунания или распыления. После нанесения слоя грунтовой эмали наносятся несколько слоев покровной эмали.

После высушивания слоя шликера изделия обжигают в муфельных, камерных или туннельных печах при температуре 800-900°C. Продолжительность обжига зависит от толщины металла и размеров изделия и составляет 3-40 минут. Термостойкость эмалевого покрытия в значительной мере зависит от толщины слоя, коэффициента термического расширения, формы поверхности и других факторов.

Металлы для эмалирования должны удовлетворять определенным требованиям. Из сталей наиболее пригодными являются малоуглеродистые, содержащие минимальное количество примесей, в частности, стали марок 08кп и 10кп. Хорошее качество эмалирования получается на стали с весьма

низким содержанием углерода (0,002%) и на стали с поверхностно обезуглероженным слоем. Для изготовления эмалированных изделий применяют обычно сталь толщиной 0,3-25 мм.

Чугун для эмалирования должен иметь структуру серого чугуна – допускается графит средней величины или мелкопластинчатый, а также глобулярной формы. Общим требованием для металлических изделий, подвергаемых эмалированию, является отсутствие острых углов и закруглений с малыми радиусами кривизны, а также разностенности по толщине. Эмалевые покрытия устойчивы к воздействию большинства органических и минеральных кислот (за исключением плавиковой и кремнефтористоводородной) и их солей, газов кислотного характера (хлористый водород, сернистый и углекислый газы), расплавов щелочей и щелочных растворов при высоких температурах.

Эмалированные аппараты пригодны для эксплуатации при температуре от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ . В химической промышленности используют эмалированные аппараты с перемешивающими устройствами, сборники, теплообменники типа «труба в трубе», фильтры емкостные, чаши выпарные и др.

К эмалированной аппаратуре применяются особые требования при хранении, транспортировке, монтаже, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте, так как может быть нарушена целостность эмалевого покрытия, в результате чего аппарат оказывается непригодным к эксплуатации.

При транспортировании, особенно при погрузке и разгрузке эмалированных аппаратов, необходимо предохранять их от ударов. Строповку необходимо производить мягким или проволочным канатом, использование цепей недопустимо. Категорически запрещается производить строповку аппарата за штуцеры, люки или другие выступающие части.

При производстве сварочных работ недопустимо попадание расплавленного металла на эмалевое покрытие.

Не допускаются резкие местные термические или механические воздействия на поверхности, покрытые эмалью.

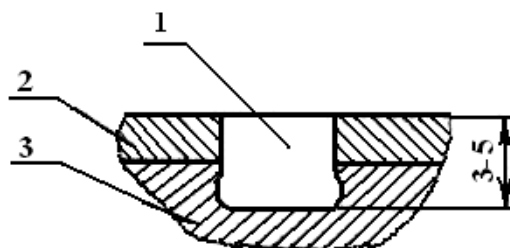
Скорость подъема температуры стенки при разогревании аппарата должна составлять не более 2 градусов в минуту.

Дефекты эмалевого покрытия проявляются в нарушении сплошности покрытия в виде сколов, могут вскрываться поры, находящиеся внутри слоя эмали, а также дефекты в виде уколов и пузырей.

Ремонт сколов может производиться специальными композициями (замазками). Метод основан на нанесении на поврежденный участок эмалевого покрытия нескольких слоев замазки с последующей термообработкой. Предварительно место скола зачищают от остатков эмали абразивным инструментом, обеспечивая плавный переход от поверхностной эмали к металлу, без трещин и острых углов. Подготовленную поверхность обезжиривают.

Замазку наносят кистью или шпателем в 3-5 слоев с термообработкой каждого слоя при температуре 180-200°C отдельно. В результате термообработки происходит полимеризация замазки. Покрытие должно быть твердым и блестящим, без утолщений, пор, пузырей трещин и посторонних включений.

Ремонт пор в виде уколов и пузырей производят постановкой пломб из золота и тантала. Используют золото марки 999,9 в губчатом состоянии. Место дефекта засверливают зубным бором соответствующего диаметра (рис. 1.7). На дне отверстия рассверливают небольшое расширение, превышающее диаметр отверстия на 0,1-0,2 мм, которое служит анкером для пломбы. Отверстия очищают от стружки, протирают спиртом и зачеканивают золотом.



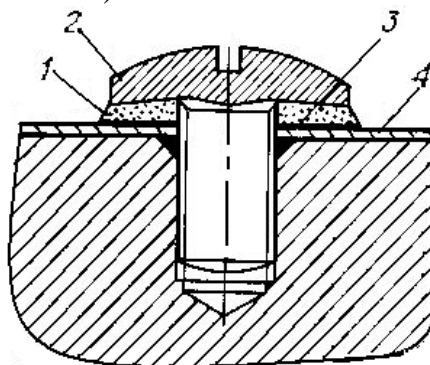
**Рис. 1.7. Установка пломбы из золота:**  
1 – пломба; 2 – слой эмали; 3 – стенка аппарата

Ремонт пор диаметром более 3 мм (до 10 мм) производят танталовой пломбой, которая на резьбе ввертывается в резьбовое отверстие, просверленное в эмалевом покрытии и стенке аппарата.

Чистый тантал устойчив против многих химических соединений, кроме 40%-й плавиковой кислоты при температуре 20-100°C и едких щелочей с концентрацией 30-40% при температуре 100°C.

В месте дефекта удаляется эмаль на 2-4 мм больше диаметра резьбового отверстия, засверливается отверстие и нарезается резьба. Поверхность, очищенная от эмали, и резьбовое отверстие очищаются от стружки и промываются спиртом.

Танталовая пломба изготавливается в виде винта, который ввинчивается в отверстие (рис. 1.8).



**Рис. 1.8. Установка танталовой пломбы:**  
1 – шайба из фторопласта; 2 – танталовый винт; 3 – цемент-мастика; 4 – эмаль

Под головку винта устанавливается фторопластовая шайба. Перед завинчиванием винт и шайба с обеих сторон покрываются кислотоупорной замазкой на основе эпоксидной смолы.

#### 1.4. АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

Под абразивным износом понимают процесс разрушения поверхности металла твердыми абразивными частицами, находящимися в различных агрегатных состояниях и в смеси с различными средами.

Связь между частицами может быть жесткой, или они могут быть изолированными друг от друга. Это определяет различный характер воздействия на поверхностный слой детали. Вместе с тем поведение этих частиц при приложении нагрузки существенно отличается от поведения микронеровностей монолитного тела (металлического).

Контактирующие с поверхностным слоем частицы большей частью имеют минеральное происхождение, не упрочняются при механическом воздействии (в отличие от большинства конструкционных сплавов), их разрушение носит преимущественно хрупкий характер. Все это определяет специфичность процессов изнашивания, в которых основную роль играют твердые частицы.

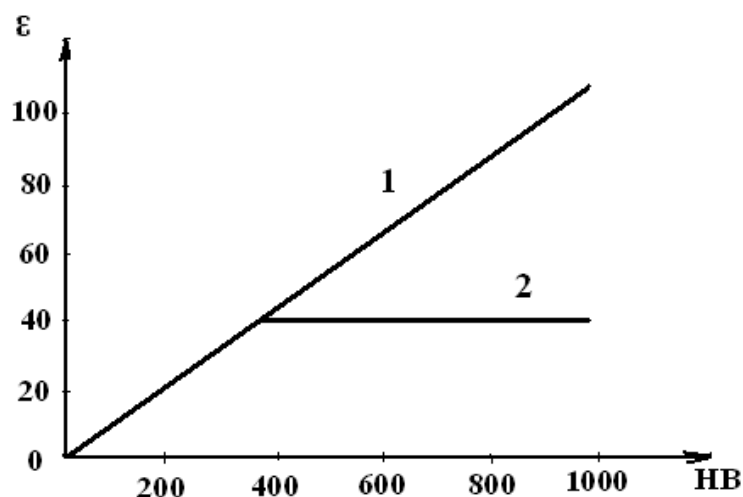
В зависимости от агрегатного состояния абразива, направления и скорости потока, вида контакта с изнашивающейся поверхностью могут быть рассмотрены следующие схемы абразивного изнашивания:

- в условиях соударения тел;
- при трении о монолитный (закрепленный) абразив;
- при перемещении деталей в абразивной среде;
- при трении скольжения сопряженных поверхностей и наличии между ними абразивных частиц;
- при трении качения при наличии абразивных частиц;
- в результате механического действия твердых частиц, перемещаемых потоком жидкости или газа.

Наиболее распространенным объяснением механизма абразивного износа является представление износа как результата царапания металла абразивными частицами, вызывающего микрорезание поверхности.

Установлено, что интенсивность изнашивания зависит от природы и формы структурных составляющих сплава; природы и твердости абразивного материала; размеров и формы абразивных частиц; степени закрепления абразивных частиц; скорости движения частиц; давления на абразивные частицы.

Основным фактором, влияющим на износостойкость материала, является его твердость. На рис.1.9 показана зависимость относительной износостойкости  $\epsilon$  от твердости технически чистых металлов и сталей в отожженном состоянии (1) и инструментальной стали У8 (2).



**Рис. 1.9. Зависимость износостойкости от твердости материала при абразивном изнашивании**

В.Н. Ткачев установил, что механизм абразивного изнашивания определяется, главным образом, соотношением значений твердости материала детали  $H_m$  и твердости абразивных частиц  $H_a$ . Микрорезание и интенсивная пластическая деформация поверхностей трения могут наблюдаться при  $H_m < H_a$ . При более высокой твердости материала процесс разрушения протекает в основном за счет коррозионно-механического истирания или хрупкого выкрашивания.

В случае, если материал имеет твердую поверхность, а абразивный материал «мягкий», ( $H_m > H_a$ ) процесс изнашивания протекает за счет истирания оксидных пленок или за счет вырывания структурных элементов металла при наличии динамических нагрузок.

Зависимость износостойкости от твердости материала имеет прямолинейный характер только при микрорезании и пластическом оттеснении. При увеличении твердости материала более  $0,8H_a$  наблюдается нелинейная зависимость.

Опытным путем установлено, что износостойкость металла повышается при увеличении содержания твердой структурной составляющей. Практическое получение металлов (сплавов) с содержанием карбидов около 80% весьма затруднительно, поэтому для повышения износостойкости металла повышают твердость основы путем введения легирующих элементов.

Сильному абразивному износу подвержены детали дробильно-размольного оборудования, рабочие органы питателей, дозаторов для сыпучих материалов, систем пневмотранспорта, аппаратов с кипящим слоем и др. Износостойкость против абразивного износа обычно повышают за счет повышения поверхностной твердости деталей, наплавки твердыми сплавами и применения специальных материалов. Повышенной износостойкостью обладает сталь с содержанием 11,0-14,0% марганца (Г13, Г13Л). Из этих материалов изготавливают детали дробильно-размольного оборудования

(броневые плиты шаровых мельниц, молотки молотковых дробилок, мелющие тела и др.), детали шлам-насосов, ковшовых и роторных экскаваторов и др.

Высокой износостойкостью обладают высокоуглеродистые хромистые шарикоподшипниковые стали (ШХ6, ШХ9, ШХ15СГ и др.), нержавеющие подшипниковые стали (9Х18, 9Х18Ш, ПХ18Ш и др.).

В некоторых случаях места интенсивного износа защищают приварными сменными втулками, планками, дисками, кольцами и т.п.

## 1.5. ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС

Эрозионное разрушение металла возникает под воздействием на поверхность детали потока жидкости или газа, движущегося с большой скоростью. Механизм разрушения сводится главным образом к разрушению поверхностных оксидных пленок скоростным потоком. Интенсивность изнашивания повышается при наличии в потоке абразивных частиц, которые деформируют поверхность, производят царапающее и режущее действие. Например, эрозионному износу подвергается проточная часть водяных насосов, лопасти вентиляторов, газодувков, дымососов, поверхность аппаратов с газовым обогревом и др.

Эффективным средством повышения стойкости против эрозионного износа является увеличение коррозионной стойкости и износостойкости материалов. При эксплуатации оборудования необходимо при возможности снижать скорость потока, защищать рабочие поверхности от воздействия скоростного потока.

## 1.6. КАВИТАЦИОННЫЙ ИЗНОС

При больших скоростях движения жидкости (турбулентный режим) в местах, где нарушается сплошность потока, возникают пустоты и полости, заполненные воздухом или паром, где образуются так называемые кавитационные пузырьки (рис.1.10).

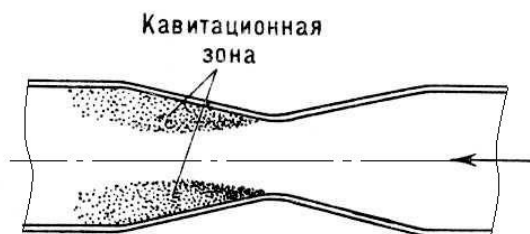


Рис. 1.10. Кавитационная зона в канале с местным сужением

Они образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже некоторого критического значения  $P_{кр}$  (в реальной жидкости  $P_{кр}$  приблизительно равно давлению насыщенного пара этой жидкости при данной температуре). Двигаясь с потоком жидкости и попадая в область

давления  $P < P_{кр}$ , кавитационные пузырьки теряют устойчивость и приобретают способность к неограниченному росту. После перехода в зону повышенного давления  $P > P_{кр}$  и исчерпания кинетической энергии расширяющейся жидкости рост пузырьков прекращается и они начинают сокращаться. Если пузырек содержит достаточно много газа, то по достижении им некоторого минимального радиуса он восстанавливается и совершает несколько циклов затухающих колебаний, а если газа мало, то пузырек захлопывается полностью в первом периоде существования. Таким образом, вблизи обтекаемого тела создается довольно четко ограниченная «кавитационная зона», заполненная движущимися пузырьками.

Сокращение кавитационных пузырьков происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом (своего рода гидравлическим ударом) тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырек. Если кавитационные пузырьки замыкаются вблизи от обтекаемого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению поверхности, возникает так называемая кавитационная эрозия. Повреждения представляют собой каверны диаметром от 0,2 до 1,5 мм, вокруг которых имеются наплывы. Кавитационному изнашиванию подвергаются детали запорной арматуры, трубопроводов, колеса центробежных насосов, лопасти гидротурбин и др. Кавитация возможна во всех случаях турбулентного движения.

Исследованиями установлено, что износостойкость материала деталей, работающих в условиях кавитационного разрушения, в значительной степени зависит от его твердости. Высокой кавитационной стойкостью обладает сталь 30X10Г10 (C=0,2-0,44%; Cr=9,5-12,0%; Mn=7-11%), а также коррозионно-стойкие стали.

## 1.7. ДЕФОРМАЦИИ И ИЗЛОМЫ

В практике эксплуатации оборудования под воздействием перегрузок, ударных нагрузок, при плохой балансировке тяжелых вращающихся деталей и др. происходит деформация и поломка деталей.

Перегрузки возможны не только при нарушении правил эксплуатации оборудования, но также при уменьшении сечения детали вследствие чрезмерного износа или значительной коррозии. Деформация материала сопровождается изменением формы и размеров деталей.

Различают упругие деформации, исчезающие после снятия нагрузки, и пластические, остающиеся после снятия нагрузки.

Пластические деформации возникают под действием силовых нагрузок, вызывающих в материале детали напряжения, превышающие предел его прочности или предел текучести. Они повышают интенсивность изнашивания сопряженных деталей и проявляются в виде смятия, изгиба, скручивания, удлинения.

Примерами проявления пластических деформаций являются: изгиб



валов и осей, износ шпонок и шпоночных канавок, шлицевых и резьбовых соединений, удлинение шатунных болтов поршневых компрессоров и др.

Изломы, в зависимости от нагружения, могут быть статическими или усталостными и в зависимости от особенностей строения поверхности разрушения – хрупкими или вязкими.

Возникновение статического излома свидетельствует, что материал не выдержал расчетную нагрузку. По внешнему виду поверхность при статическом разрушении может иметь хрупкий или вязкий излом. Причиной возникновения хрупкого излома могут явиться концентраторы напряжений в виде микротрещин, царапин и др. Излом имеет ярко выраженное строение, особенно крупное в районе концентратора напряжений. При вязком разрушении на поверхности излома отчетливо заметны следы пластической деформации, кристаллического строения металла не наблюдается.

Статические и динамические изломы, которые возникают при статической или кратковременной однократной нагрузке, в практике встречаются довольно редко. Чаще встречаются так называемые *усталостные изломы*. Причинами усталостных разрушений являются циклические и особенно знакопеременные нагрузки.

Явление разрушения материалов под действием переменных напряжений в течение некоторого срока службы называется *усталостью*. Способность материала сопротивляться усталостному разрушению называется *выносливостью* (циклической прочностью).

Выносливость материала оценивают пределом выносливости (усталостной долговечности) – наибольшее напряжение, при котором образец выдерживает без разрушения заданное количество циклов нагружения, принимаемое за базу испытания.

Материалы испытывают на предел выносливости при изгибе, растяжении и кручении. Механизм разрушения при этом может быть самым разнообразным.

Циклические нагрузки, распределяясь по объему детали, вызывают в отдельных местах неодинаковые напряжения. В перенапряженных участках образуются микротрещины, которые, соединяясь, приводят к появлению макротрещин, а в дальнейшем под влиянием переменной нагрузки они распространяются внутрь тела. Оставшейся целой части недостаточно для восприятия всей внешней нагрузки, поэтому происходит полный излом детали.

Выносливость зависит от физико-механических свойств материала, вида напряженного состояния, свойств среды, вида цикла нагружения. Различные поверхностные повреждения (царапины, ссадины, шероховатости), неоднородность структуры, резкие переходы в форме и размерах (концентраторы напряжений) способствуют усталостному разрушению.

Долговечность деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, может быть значительно повышена рядом мер конструктивного и

технологического характера. При конструировании деталей по возможности не должно быть концентраторов напряжений. При изготовлении ответственных деталей применяют современные методы дефектоскопии, места с концентраторами напряжений упрочняют обкаткой роликами или дробеструйной обработкой, тщательно балансируют быстровращающиеся детали, регулярно подтягивают ослабевшие крепления, выверяют соосность вращающихся деталей и т.п.

## **Глава 2. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ**

Для увеличения срока службы оборудования в машиностроительной и ремонтной практике применяют различные способы повышения износостойкости деталей. Поскольку процессы изнашивания протекают и развиваются в поверхностных слоях деталей, то изменением физико-механических свойств поверхностного слоя можно добиться увеличения работоспособности деталей и машины в целом. При этом необходимо иметь в виду, что детали любой машины изнашиваются не с одинаковой скоростью и работоспособность ее, как правило, зависит от износостойкости небольшого количества деталей. Повысив их износостойкость, можно существенно увеличить срок службы машины.

Наиболее широко применяются следующие методы повышения износостойчивости:

- поверхностное деформационное упрочнение (дробеструйная обработка, обкатка роликами и др.);
- нанесение на сопрягаемые поверхности износостойчивых покрытий (металлизация, наплавка твердыми сплавами, хромирование);
- увеличение твердости поверхностного слоя (поверхностная закалка, химико-термическая обработка и др.).

Некоторые из этих методов (металлизация, хромирование, наплавка твердыми сплавами и др.) применяются для восстановления изношенных деталей с одновременным повышением их износостойкости.

### **2.1. ПОВЕРХНОСТНОЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ**

Поверхностное деформационное упрочнение является простым и широко распространенным способом повышения несущей способности и долговечности деталей машин, особенно работающих в условиях знакопеременных нагрузок (оси, валы, зубчатые колеса, поршни и др.). Это достигается путем создания в поверхностном слое деталей напряжений сжатия. Метод отличается простотой самой технологии и применяемой оснастки, возможностью упрочнения деталей практически любой формы и размеров и др.

Все способы поверхностного деформационного упрочнения обеспечивают повышение поверхностной твердости на 30-35%. Однако этот метод имеет существенный недостаток в том, что снижается ударная вязкость и химическая стойкость материала.

Целесообразность применения этого метода можно рассмотреть на следующем примере. Усталостные трещины в детали, работающей в циклическом режиме, образуются при какой-то определенной величине растягивающих напряжений. Если предварительно на поверхности этой детали создать напряжение сжатия, то они частично снимут (уменьшат) напряжение растяжения, что приведет к уменьшению вероятности образования трещины.

В зависимости от конструкции, свойств материала, размеров и характера эксплуатационных нагрузок деталей применяют различные виды поверхностного деформационного упрочнения.

### **2.1.1. Дробеструйная обработка**

Дробеструйное упрочнение заключается в том, что готовая деталь после механической и термической обработки подвергается многократным ударам дробинок, движущихся с большой скоростью. Применяют обычно дробь стальную или из отбеленного чугуна диаметром от 0,4 до 2 мм. Дробинки должны быть одинаковыми по форме и размерам. Не допускается наличие колотых дробинок. При использовании дроби малых размеров получается более чистая поверхность.

Дробеструйная обработка особенно эффективна для деталей, работающих на изгиб и кручение, имеющих участки с концентраторами напряжений (галтели, риски и т.п.) и при обработке деталей повышенной твердости. Хорошие результаты получаются при обработке пружин, рессор, шатунов, зубчатых колес и пр. Срок службы таких деталей повышается в несколько раз. Дробеструйная обработка позволяет частично снимать напряжения в деталях, которые подвергались наплавке и грубой механической обработке. Для дробеструйной обработки применяют механические и пневматические дробеметы. Пневматические дробеметы имеют одно или несколько сопел, через которые дробь вылетает со скоростью до 80 м/с под действием сжатого воздуха давлением 0,5-0,6 МПа. В ремонтной практике широко применяются и механические дробеметы, в которых дробь выбрасывается лопатками быстровращающейся турбинки.

Режим дробеструйной обработки может изменяться в зависимости от скорости движения дроби, диаметра дробинок, плотности покрытия обрабатываемой дробью поверхности, угла падения дроби на поверхность (обычно 70-90°). Время обработки может составлять от нескольких секунд до 2-4 минут. При этом необходимо учитывать, что увеличение времени обработки может привести к разрушению поверхности изделий дробью и даже к ее шелушению. Глубина слоя составляет обычно не более 1 мм.

При дробеструйной обработке обеспечивается повышение чистоты обработки от  $Rz20$  до  $Rz0,25$ , при этом на 20-40% увеличивается твердость поверхностного слоя.

Детали после обработки дробью не должны подвергаться термической обработке, так как при нагреве их выше  $450^{\circ}\text{C}$  почти все приобретенные свойства утрачиваются.

### 2.1.2. Упрочнение обкаткой

Обкатка производится с помощью свободно вращающихся роликов или подпружиненных шариков, которые приводятся в соприкосновение с обрабатываемой поверхностью под определенным давлением.

В результате статического деформирования в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия, изменяется его структура и увеличивается твердость.

Обкатку применяют в тех случаях, когда необходимо значительно повысить усталостную прочность деталей или класс шероховатости обработанной поверхности, а также их износостойкость.

Обкатка может быть упрочняющей и упрочняюще-сглаживающей.

Упрочняющую обкатку проводят при высоких удельных давлениях, обеспечивающих необходимую глубину наклепа с большими остаточными напряжениями сжатия в упрочненном слое.

При упрочняюще-сглаживающей обкатке наряду с повышением усталостной прочности деталей происходит снижение исходной шероховатости на 2-3 класса, что позволяет в отдельных случаях исключить из технологического процесса такую операцию, как шлифование.

Приспособления для обкатки могут быть одно-, двух- и многороликовыми (одно- и многошариковыми). Они могут иметь механический, пневматический или гидравлический привод. Ролики изготавливают из легированных или высокоуглеродистых сталей (У10А, У11А и др.) и закаливают до твердости RC58-62.

Результаты упрочнения зависят от правильного выбора режима обработки (давления, подачи, скорости, числа проходов) и геометрии ролика, а также от свойств обрабатываемого материала.

Наиболее существенное влияние оказывает давление ролика. С увеличением давления интенсивность и глубина наклепанного слоя увеличиваются.

При этом остаточные напряжения сжатия возрастают до некоторого предела, после чего наступает снижение, что является следствием чрезмерной глубины наклепанного слоя. На величину упрочнения влияют также и геометрические параметры ролика.

С уменьшением диаметра ролика и радиуса его кривизны глубина наклепа повышается. Для обработки валов диаметром до 20 мм рекомендуется диаметр ролика принимать в пределах  $0,5 < D_p / d < 5$

( $D_p$  – диаметр ролика,  $d$  – диаметр обрабатываемой детали).

При выборе режимов обкатки надо иметь в виду, что усилие на ролик не должно превышать предела прочности металла, чтобы не вызвать разрушения кристаллов в процессе пластической деформации металла.

Режим упрочняющей обкатки считается выбранным правильно, если твердость обработанной поверхности повышается на 25-40 %, а глубина наклепанного слоя лежит в пределах  $\delta = (0,02 - 0,04)d$ ; при сглаживающих режимах глубина не должна превышать  $\delta = 0,01d$ .

Скорость обкатки практически не влияет на качество обработки и выбирается в зависимости от кинематики станка. Скорость продольной подачи ролика обычно составляет 0,2-0,4 мм за один оборот.

Увеличение числа проходов может привести к перенаклепу, что вызовет снижение предела выносливости, и увеличению шероховатости поверхности. Рекомендуется обкатку производить в два-три прохода.

Из физико-механических свойств материала детали на качество обработанной поверхности основное влияние оказывают пластичность и твердость.

С увеличением пластичности металла и снижением его твердости улучшается чистота поверхности, повышается глубина наклепа и снижаются остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое.

Поверхность деталей, подготовленных под обкатку, не должна иметь микротрещин, рисок, выровов.

Обкатку цилиндрических деталей обычно производят на токарных и револьверных станках. Плоские поверхности обкатывают на строгальных станках.

Хорошие результаты дает обкатка шеек тяжело нагруженных валов и осей, работающих при знакопеременных и ударных нагрузках, вкладышей подшипников, подступичных посадочных мест валов при посадке на них шестерен, шуфт и пр. При обкатке валов и осей надо производить обработку всех закруглений и галтелей. Вкладыши подшипников скольжения обкатывают для того, чтобы уплотнить их и предупредить значительную усадку защитного слоя в процессе работы.

Обкатку роликами можно производить как наружной поверхности тел вращения, так и внутренней поверхности полых деталей.

Некоторые схемы обкатки различных поверхностей роликами приведены на рис. 2.1, а, б, в, г.

При обкатке роликами имеет место один существенный недостаток – возможное проскальзывание ролика вдоль оси обрабатываемой детали, что приводит к необходимости вести обработку с большими усилиями давления ролика.

Этот недостаток может быть устранен при обкатке поверхностей пружинящим шариком (рис. 2.2, а, б, в). Обработка производится шариковыми накатками, в которых шарики могут самоустанавливаться относительно обрабатываемой поверхности, но не имеют принудительной оси вращения.

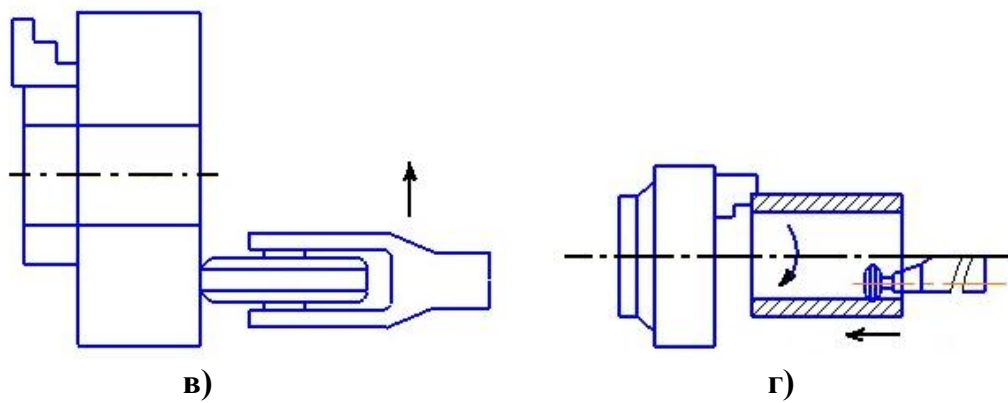
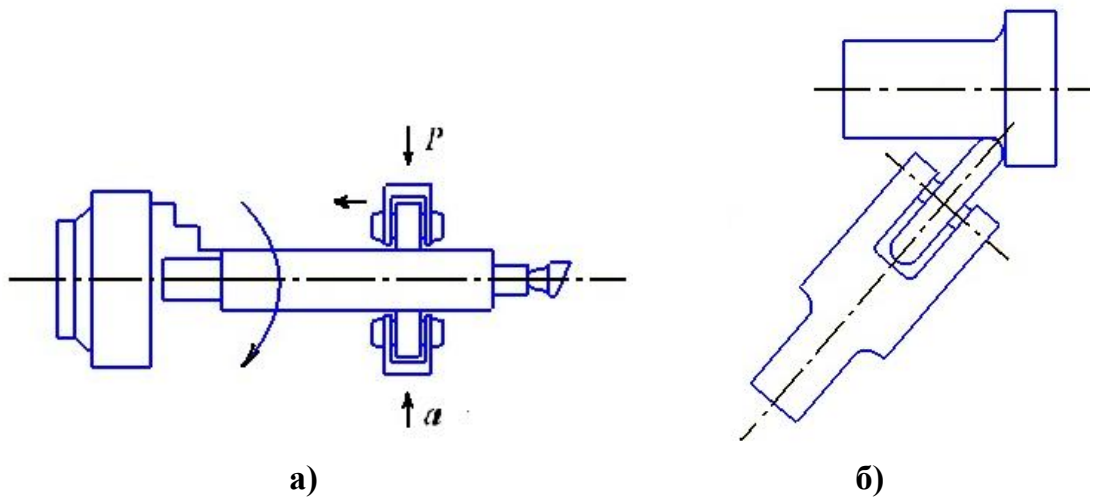


Рис. 2.1. Схемы обкатки различных поверхностей роликами

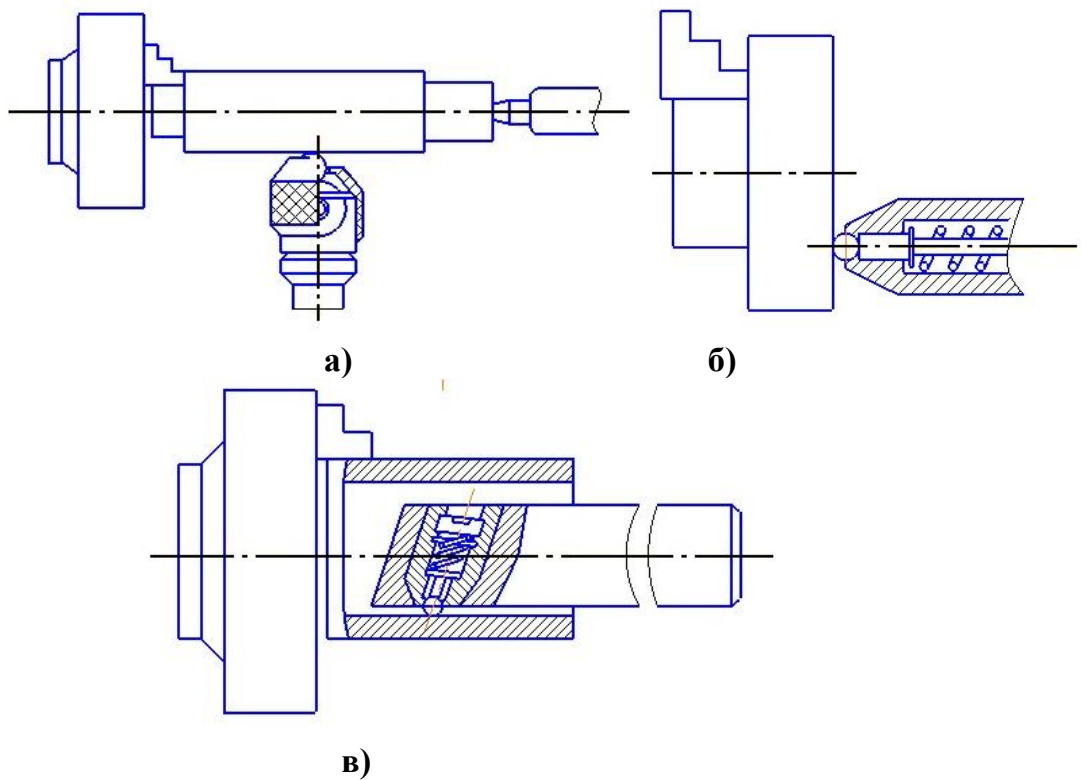
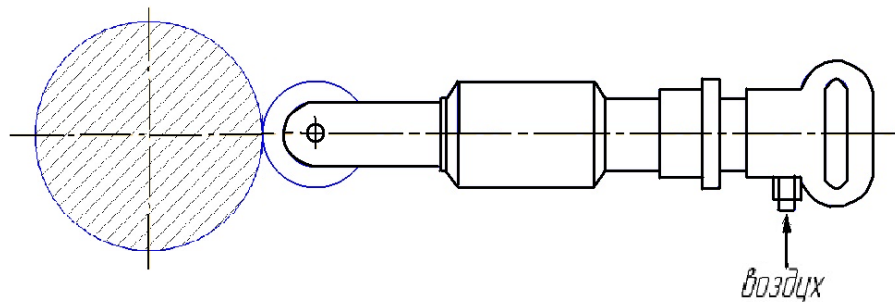


Рис. 2.2. Схемы упрочнения шариками

Находит применение упрочнение вибрирующим роликом (рис. 2.3). Устройство для обкатки деталей представляет собой сочетание однороликового накаточного приспособления и чеканочного устройства.



**Рис. 2.3.** Схема упрочнения вибрирующим роликом

Ролик постоянно прижат к обрабатываемой поверхности пружиной. По нему с определенной частотой наносят удары с помощью пневматического или механического устройства.

### 2.1.3. Лазерное термоупрочнение

Лазерное поверхностное упрочнение является одним из широко применяемых видов лазерной обработки металлов и сплавов.

В лазерах используется свет как источник энергии. Световой поток фокусируется на отдельных поверхностях с высокой плотностью энергии, достаточной для нагрева и плавления материала.

В качестве рабочего вещества в лазерах могут быть использованы самые разнообразные материалы: кристаллы, стекла, пластмассы, газы, жидкости, полупроводники, плазма.

Рабочий диапазон излучения оптического квантового генератора лежит в области от ультрафиолетового  $\lambda = 0,3$  мкм до инфракрасного  $\lambda = 300$  мкм.

Одним из широко применяемых видов лазерной обработки металлов и сплавов является лазерное поверхностное упрочнение. Оно основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и охлаждения этого участка со сверхкритической скоростью после прекращения воздействия за счет отвода тепла во внутренние слои металла.

Нагрев при лазерной закалке не является объемным процессом, а осуществляется с поверхности. При этом не требуется применение каких-либо охлаждающих сред. Это упрощает технологию термоупрочнения.

Лазерное термоупрочнение характеризуется малым временем воздействия и обеспечивает отсутствие деформаций деталей.

Тепловое воздействие регулируется в широких пределах за счет изменения параметров лазерного излучения и режимов обработки.

Технологические возможности лазерного термоупрочнения позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции. Причем термоупрочнение отдельных участков можно производить после сборки конструкции или узла машины.

## 2.1.4. Электромеханическое упрочнение

При электромеханическом упрочнении в процессе обработки детали через место контакта инструмента с деталью пропускают ток большой силы (200-1200А) и низкого напряжения (2-6В). Возникает сильный нагрев неровностей и поверхностного слоя металла. Давлением инструмента обеспечивают деформацию и сглаживание поверхности, придают ей новые прочностные свойства. Особенностью электромеханического упрочнения является одновременное механическое и тепловое воздействие на обрабатываемую поверхность. Нагрев происходит в результате действия двух источников: деформационного и электрического. Температура нагрева зависит от плотности тока, подачи инструмента, величины давления инструмента на деталь.

Электромеханическое упрочнение может осуществляться как за один, так и за несколько проходов.

В зависимости от степени влияния на структуру и свойства поверхностного слоя различают следующие виды упрочнения: чистовой режим с малой глубиной упрочнения, режим со средней глубиной упрочнения, режим с более значительной глубиной упрочнения.

При обработке могут использоваться инструменты с подвижной рабочей частью в виде ролика или с неподвижной в виде пластины.

Сила нагружения фиксируется динамометром. Номенклатура деталей, подвергаемых обработке: валы и шейки валов, задняя поверхность режущих кромок сверл, фрез, разверток, зенкеров, пуансонов, дюбелей, резцов. Стойкость такого инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали, в 1,7-2,1 раза выше, чем после закалки.

## 2.2. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Наиболее распространенными термическими операциями являются отжиг, закалка и отпуск.

*Отжигом* называют термическую операцию, при которой сталь нагревают выше температуры фазового превращения с последующим охлаждением в печи или на воздухе. В результате отжига могут быть достигнуты следующие результаты:

- улучшение обрабатываемости стали при резании;
- устранение хрупкости, снижение твердости и увеличение вязкости;
- устранение внутренних напряжений;
- изменение величины зерна.

Отжигу подвергают отливки, поковки, прокат, заготовки из углеродистой и легированной стали. Температура нагрева стали определяется видом отжига и свойствами стали.

*Закалку* стальных деталей осуществляют путем нагрева их до определенной температуры, устанавливаемой в зависимости от состава



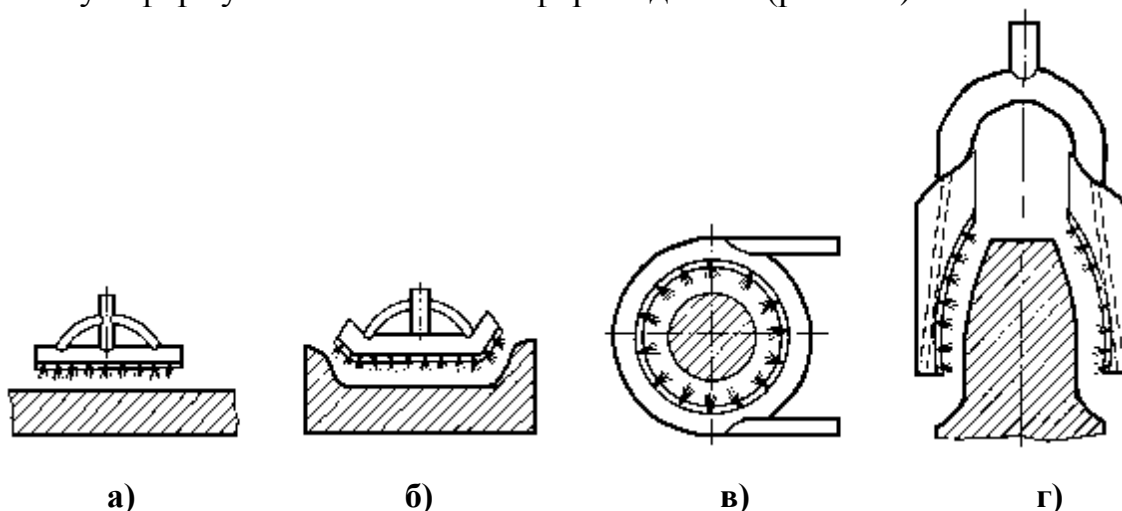
стали, с последующим охлаждением в воде, на воздухе, в минеральных маслах и других средах, позволяющих регулировать скорость охлаждения, а следовательно, и свойства поверхности изделия. Закалка придает стали твердость, но, в то же время, снижает вязкость и увеличивает хрупкость, что особенно важно для деталей сложной геометрической формы и работающих при ударных нагрузках. Закалке подвергаются стали с содержанием углерода  $C > 0,35\%$ . При меньшем содержании углерода увеличение твердости от закалки незначительно. При закалке возможны дефекты в виде трещин и коробления, вызываемые внутренними закалочными напряжениями.

*Отпуск* закаленных изделий состоит в нагреве деталей до определенной температуры и последующего охлаждения. Основное назначение отпуска – снижение хрупкости путем снятия закалочных внутренних напряжений, а также повышение вязкости и пластичности стали. Скорость охлаждения при отпуске существенного значения не имеет. В ремонтной практике, наряду с объемной закалкой, с нагревом деталей в печах, применяют поверхностную закалку.

Поверхностная закалка является доступным и экономически выгодным способом повышения износостойкости деталей. Детали нагревают газовым пламенем, токами высокой частоты (т.в.ч.), токами промышленной частоты (т.п.ч.), электроконтактным способом или в электролите. При ремонте оборудования наиболее широко применяется нагрев газовым пламенем и токами высокой частоты.

Поверхностная закалка применяется для обработки деталей из среднеуглеродистых, легированных сталей и чугунов.

*Газопламенная* поверхностная закалка состоит в нагревании поверхности детали на определенную глубину до температуры  $850-950^{\circ}\text{C}$  с последующим быстрым охлаждением водой, воздухом или специальными жидкостями. Для нагрева деталей обычно применяют сварочные горелки, снабженные многопламенными или щелевыми наконечниками, имеющие различную форму в зависимости от формы детали (рис. 2.4).



**Рис. 2.4. Схемы профилей закалочных наконечников:**

а – для плоских поверхностей; б – для тел вращения; в – для шеек валов; г – для зубьев шестерен

Поверхностный слой детали закаливается, приобретая соответствующую структуру и твердость, а нижерасположенные слои сохраняют свои исходные свойства. Газопламенная закалка в 2-2,5 раза повышает твердость на глубину 1,5-2 мм. Изменяя скорость нагрева, мощность пламени и охлаждающую среду, можно регулировать глубину слоя закалики и его твердость. Газопламенная закалка может осуществляться непрерывным и циклическим способами.

В качестве горючих газов чаще всего применяют ацетилен ( $C_2H_2$ ) и природные газы (пропан-бутановая смесь и др.). Ацетилен получают из карбида кальция  $CaC_2$  при действии на него водой. Карбид кальция получают путем сплавления кокса с негашеной известью в электродуговых печах при температуре 1900-2300°C.

В ремонтной практике находят применение в качестве горючих – пары бензина и керосина. Пары бензина, сгорая в кислороде, дают температуру 2400-2500°C. Температура пламени ацетилена при его сгорании в технически чистом кислороде достигает до 3150°C.

Поверхностная закалка токами высокой частоты (т.в.ч.) находит все большее применение в ремонтной практике. Источником тепла служит электрический ток. При пропускании через спираль (индуктор) переменного тока высокой частоты, большой силы и низкого напряжения создается сильное магнитное поле. Если поместить в это поле деталь, обладающую электропроводностью, возникают так называемые вихревые токи, которые концентрируются только у ее поверхности, в результате чего деталь быстро (за 2-5 сек) прогревается на небольшую глубину. Изменяя частоту тока, можно регулировать толщину слоя нагрева. Затем ток выключают, и поверхность охлаждают водой или эмульсией (рис. 2.5). Обычно индуктор изготавливают из медной трубки и придают форму детали, которую подвергают закалке. Чтобы индуктор не нагревался, через него пропускают воду.

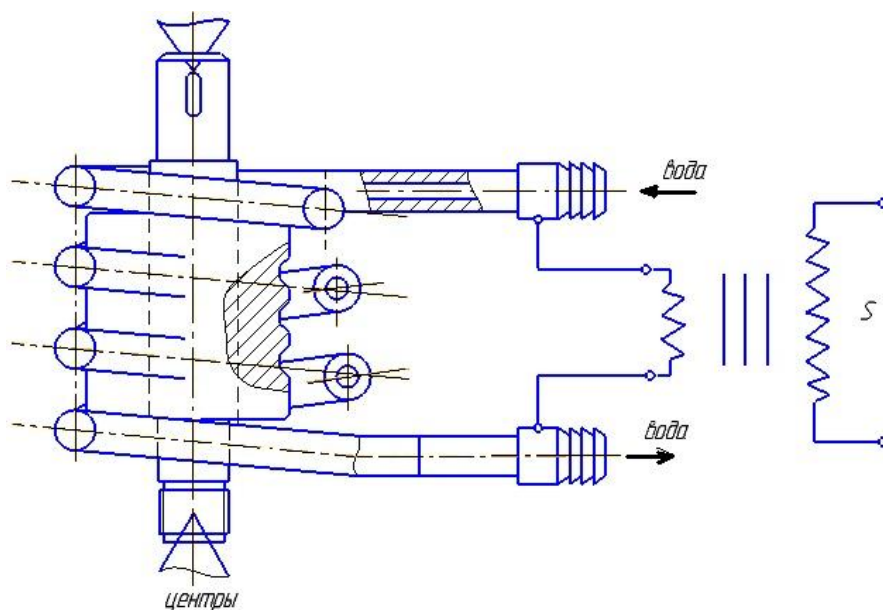


Рис.2.5. Схема нагрева детали током высокой частоты

Глубина прогреваемого слоя зависит от частоты тока и определяется по формуле:

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}}, \quad (2.1)$$

где  $f$  - частота тока, Гц.

Переменный ток высокой частоты (300000 – 500000 Гц) получают в генераторах.

Скорость и температура нагрева зависят от величины зазора между индуктором и деталью. Обычно он составляет 2-5мм. С целью обеспечения равномерного нагрева закаливаемым деталям (валы, оси и т.п.) придают в процессе закаливания вращение. Для охлаждения деталей после нагрева установки снабжаются спрейерными устройствами. Как правило, после высокочастотной закаливания детали подвергают отпуску при 150-200°С в масляной ванне или печи. Время выдержки при отпуске составляет 1-3 часа. Большим преимуществом поверхностной закаливания является то, что не происходит деформации деталей. Поверхностная закалка эффективна для деталей, подвергаемых сильному износу, работающих при ударных нагрузках. Для них при высокой твердости поверхностного слоя желательно иметь мягкую и вязкую сердцевину, что и обеспечивает поверхностная закалка.

### 2.3. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Процесс химико-термической обработки состоит в насыщении поверхностного слоя детали различными химическими элементами и его термической обработке. При данной обработке изменяется не только строение(структура), но и химический состав поверхностного слоя, что позволяет более эффективно управлять качеством поверхности, тем самым изменяя эксплуатационные свойства деталей. В зависимости от того, каким химическим элементом производится насыщение, поверхностный слой детали приобретает различные свойства: высокую твердость, химическую стойкость, жаростойкость и др.

Повышение твердости и износостойкости деталей машин при сохранении мягкой и вязкой удароустойчивой сердцевины достигается путем цементации, цианирования, азотирования и других процессов. Этим методом обработки подвергаются детали, работающие при повышенном трении с ударами (зубчатые колеса, шейки коленчатых валов, пальцы корзин дезинтеграторов, втулки пластинчатых цепей транспортеров и т.д.).

*Цементация* - процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом, содержащимся в карбюризаторах (цементационных составах), который при высоких температурах (900-950°С) диффундирует в сталь и создает поверхностную корку толщиной до 2,5 мм, обладающую после закаливания высокой твердостью и износостойкостью. При этом сердцевина

остается вязкой (мягкой) и, следовательно, менее чувствительной к ударам.

Для цементации применяются углеродистые и легированные стали с содержанием углерода до 0,25 %. В отдельных случаях цементации подвергают стали хромистые, хромоникелевые (1X13, 10X, 15X, 20XН, 12XН2А, 18ГТ, 14ХГ2НД и т.д.). Глубина цементованного слоя зависит от сорта стали, состава карбюризатора, температуры и продолжительности процесса. Содержание углерода в поверхностном слое составляет 0,8-1%. После цементации изделия подвергают необходимой термообработке (закалка, отпуск) для повышения твердости цементованного слоя и улучшения механических свойств сердцевины.

Подвергающиеся цементации детали должны иметь чистую поверхность. Места, не подвергающиеся цементации, защищают слоем огнеупорной глины или асбеста.

Различают цементацию в твердом карбюризаторе, жидкостную и газовую.

Цементация в твердом карбюризаторе является наиболее старым способом. Однако, несмотря на невысокую производительность, его довольно широко применяют в ремонтно-механических цехах ввиду несложности и доступности требуемого оборудования. Основной углеродсодержащей средой в твердых карбюризаторах является древесный уголь или полукокс (85-90%). Для активации процесса науглероживания в карбюризатор добавляют углекислые соли бария или натрия (10-15%).

Цементационные ящики изготавливают из листовой стали. Для обеспечения герметичности по линии разъема крышки с корпусом ящика промазывают огнеупорной глиной.

Ящики, заполненные деталями и карбюризатором, помещают в печь и нагревают без доступа воздуха до температуры 920-950<sup>0</sup>С в течение нескольких часов (до 12 часов). После окончания цементации детали охлаждаются вместе с ящиком.

Цементацию в жидких карбюризаторах осуществляют в ваннах из расплавленных солей углекислого натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (75-85%), поваренной соли NaCl (10-15%) и карбида кремния SiC (5-10%). Температуру ванны поддерживают в пределах 850-860<sup>0</sup>С. В зависимости от продолжительности выдержки толщина цементационного слоя может достигать 0,2-0,5 мм. Время выдержки 1-3 часа. К преимуществам цементации жидким карбюризатором относятся: равномерность нагрева деталей, малая деформация и возможность закалки непосредственно из ванны.

Газовую цементацию осуществляют в среде газов, содержащих углерод. Применяются природный газ и газы, полученные при диссоциации бензола, керосина и др. При газовой цементации детали помещают в специальный герметизированный муфель (с вводом и выводом газа) из жароупорного сплава, который устанавливают в нагревательную печь. Большое применение имеют садочные печи типа «Ц», у которых муфель расположен вертикально и хорошо герметизирован.

Газовая цементация получает все большее распространение. Она позволяет более чем в 2 раза уменьшить продолжительность процесса, снизить стоимость и дает возможность регулирования концентрации углерода и глубины цементованного слоя.

Термообработка стали после цементации обычно заключается в закалке и отпуске при температуре 150-200<sup>0</sup>С.

*Азотирование* – процесс насыщения поверхности стали (чугуна) азотом в среде диссоциированного аммиака при температуре 480-700<sup>0</sup>С. Азотирование применяют для упрочнения поверхностных слоев деталей, повышения их износостойкости и антикоррозионной стойкости. Азотированию подвергают чугуны и стали как углеродистые, так и легированные. Предпочтение отдают легированным сталям, содержащим алюминий, хром, молибден, никель и др. (35ХЮА, 38ХМЮА, 35ХМЮА, 38ХВЮА, 30Х2НВФА и др.). При азотировании обычных углеродистых сталей марок 10, 20, 30 и др. не удастся получить достаточно высокой твердости азотированного слоя.

Перед азотированием детали подвергают закалке и отпуску. Температуру отпуска берут равной температуре азотирования или несколько ниже. При этом твердость азотированного слоя практически не изменяется. После азотирования механическая обработка деталей исключается. Допускается небольшое по глубине шлифование, а чаще только полирование или притирка. Продолжительность процесса азотирования от 10-50 часов в зависимости от требуемой толщины азотированного слоя, которая обычно составляет 0,1-0,8 мм.

Азотированию подвергают детали машин, работающие в условиях трения и знакопеременных нагрузок, например, зубчатые колеса, валики, шпиндели, гильзы моторов и насосов, кулачки и др.

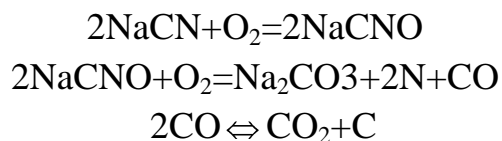
*Нитроцементация и цианирование* представляют собой процесс, при котором поверхностный слой металла одновременно насыщается азотом и углеродом. Нитроцементацию обычно проводят в газовой среде, содержащей углерод и азот. При оптимальном содержании и соотношении в нитроцементированном слое углерода и азота обеспечиваются оптимальные физико-механические свойства стали.

Оптимальным составом газовой среды является смесь, состоящая из 3-5% аммиака и 97-95% науглероживающего газа.

Процесс ведется при температуре 550-580<sup>0</sup>С при выдержке в течение 2-10 часов. Глубина получаемого слоя составляет 0,1-1мм. Нитроцементации подвергаются детали, изготовленные из стали и чугуна. Из сталей нитроцементации подвергают низко- и среднеуглеродистые стали с целью повышения их поверхностной твердости, износостойкости и усталостной прочности. После нитроцементации детали подвергают закалке с последующим низкотемпературным отпуском.

Процесс цианирования по технологии соответствует нитроцементации, но насыщение углеродом и азотом ведется в расплавах солей, содержащих

цианистую группу (CN). К таким соединениям относятся цианистый натрий и цианистый кальций. Атомарный азот и углерод образуется при протекании следующих реакций:



После цианирования проводят закалку деталей в масле, а затем подвергают низкому отпуску при температуре 160-200<sup>0</sup>С. После низкотемпературного цианирования закалку не производят.

В практике применяют низкотемпературное (540-590<sup>0</sup>С) и высокотемпературное (880-920<sup>0</sup>С) цианирование.

Толщина цианированного слоя обычно составляет 0,2-0,5 мм, а при высокотемпературном цианировании – 1-1,2 мм.

В ремонтной практике цианирование иногда проводят простым способом: поверхность детали, нагретой до температуры 900<sup>0</sup>С, посыпают желтой кровяной солью. Повторение этой операции несколько раз обеспечивает насыщение азотом и углеродом слоя в несколько сотых долей миллиметра.

*Алитирование* представляет процесс поверхностного насыщения стальных и чугунных деталей алюминием. В результате термодиффузии на поверхности деталей образуется пленка оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t<sub>пл</sub>=2100<sup>0</sup>С), которая обеспечивает повышение жаростойкости изделий.

Алитированные детали из серого чугуна, например, при температуре 950<sup>0</sup>С имеют жаростойкость в 3 раза выше, чем без алитирования. Срок службы чугунных алитированных колосников увеличивается в 5 раз, а стоимость их возрастает лишь в 2 раза.

Чем меньше в стали содержание углерода, тем лучше качество алитирования. Поэтому алитированию чаще всего подвергают низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали и серый чугун.

Процесс алитирования можно проводить в порошкообразных смесях, в расплавах алюминия и методом металлизации.

Порошкообразная смесь для алитирования состоит из алюминия (или ферроаммония) и 1-4% хлористого аммония (NH<sub>4</sub>Cl), которые являются катализатором процесса. Процесс ведут при температуре 950-1000<sup>0</sup>С. Хлористый аммоний при высокой температуре разлагается, происходят химические реакции, в результате которых образуется атомарный алюминий, который диффундирует в поверхностные слои металла. Особенно сильное влияние на скорость диффузии оказывает наличие в стали свободного углерода. При времени выдержки в печи 3-12 часов глубина диффузионного слоя составляет 0,2-0,5 мм.

В результате алитирования повышается только жаростойкость деталей, механическая прочность при этом несколько уменьшается, снижается износостойкость поверхности, слой нанесенного алюминия плохо работает

на истирание. В связи с этим алитирование целесообразно применять для деталей, которые работают при высоких температурах, но не подвергаются большим тепловым и ударным нагрузкам, а также не работающие на истирание. Надо также учитывать, что алитированные детали непригодны для сварки.

Алитированию подвергают детали печной арматуры, детали термических печей, детали дымососов, вентиляторов, работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

*Борирование* – процесс насыщения стали бором для повышения поверхностной твердости, износостойкости деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Борирование подразделяется на газовое, жидкостное и твердое.

Для практического применения наиболее перспективным считается метод твердого борирования с использованием порошковых смесей, содержащих 84% карбида бора ( $B_4C$ ) и 16% буры ( $Na_2B_4O_7$ ). Данная технология борирования аналогична процессу цементации в твердом карбюризаторе.

При борировании на поверхности детали образуется слой толщиной 0,15-0,2 мм, состоящий из боридов железа и твердого раствора бора в феррите. Твердость борированного слоя не снижается при нагреве до температуры 900-960<sup>0</sup>С и составляет на углеродистых сталях HV 1800-2000, а на легированных HV 2500-3000.

*Силицирование* – это процесс поверхностного насыщения стали кремнием. Применяется для повышения износостойкости и коррозионной стойкости деталей химической аппаратуры.

Силицирование проводят газовым методом или в порошкообразных смесях на основе ферросилиция. Процесс ведут при температуре 1000-1200<sup>0</sup>С. При времени выдержки 2-12 часов толщина диффузионного слоя достигает 0,4-1,0 мм.

Из других процессов химико-термической обработки следует отметить сульфидирование – одновременное насыщение металла серой, углеродом и азотом, для улучшения прирабатываемости деталей, повышения сопротивляемости металлов схватыванию, улучшения противозадирных свойств и повышения их износостойкости.

## **Глава 3. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Способ и технологию восстановления изношенных деталей выбирают так, чтобы кроме размеров, формы, посадок и необходимой поверхности они обеспечивали бы механическую прочность и работоспособность восстановленной детали до уровня аналогичных показателей новых деталей. Способы восстановления могут быть общие для всех деталей и для типовых деталей. Восстановление изношенных деталей экономически выгоднее, чем изготовление новых. Стоимость восстановления детали обычно составляет 10-25% стоимости изготовления новой детали, а для базовых деталей сложной конфигурации – 5-10%.

Не все способы восстановления могут быть использованы для конкретной детали. Выбор способа определяется величиной и характером износа, необходимой термообработкой, конструктивными особенностями, величиной и характером нагрузок, действующих на деталь. Способ восстановления деталей должен выбираться не только по технологическим возможностям ремонтного цеха, но и с учетом экономических факторов. Наилучшим может быть такой способ, при котором обеспечивается наибольший срок службы детали при наименьших затратах на восстановление.

Для ремонта деталей применяются следующие способы восстановления: сварка, наплавка, металлизация, электролитические покрытия, метод пластических деформаций, обработка деталей на ремонтные размеры, восстановление клеями, пластмассами и др.

### **3.1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ**

Сварка широко применяется в ремонтной практике для устранения повреждения целостности деталей. Сваркой восстанавливают валы, корпусные детали, станины и другие сложные детали, а также она применяется при постановке заплат, заварке трещин и др. При ремонте применяются разнообразные способы сварки: электродуговая ручная, полуавтоматическая, автоматическая под слоем флюса и в среде защитных газов, электрошлаковая, газовая и другие.

Наиболее широко применяется электродуговая ручная сварка, так как она позволяет выполнять работы при любом положении шва и в различных производственных условиях как на месте установки оборудования без его демонтажа, так и в ремонтных цехах. При этом не требуется сложного сварочного оборудования. При достаточно большом ассортименте электродов, выпускаемых промышленностью, имеется возможность подобрать металл шва по химическому составу и механическим свойствам, близким к основному металлу.



### 3.1.1. Сварка стальных деталей

Для сварки стальных деталей применяются электроды из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной сварочной проволоки с покрытиями, в состав которых вводятся стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и другие вещества.

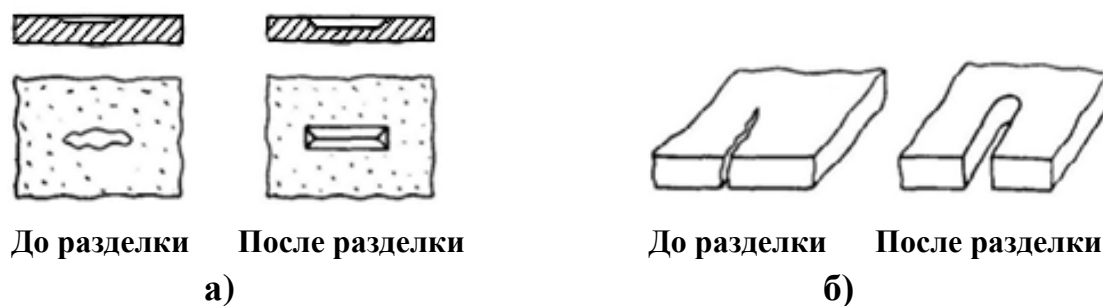
*Стабилизирующие вещества* (поташ, кальцинированная сода, полевой шпат, мел, мрамор, и др.) обеспечивают устойчивость горения сварочной дуги.

*Газообразующие вещества* при нагревании разлагаются и образуют газы ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ), которые вытесняют воздух из зоны плавления металла и тем самым обеспечивают защиту его от окисления. Они вводятся в электродные покрытия в виде органических веществ (крахмал, декстрин, древесная мука, целлюлоза) или минералов (магнезит, доломит, мрамор).

*Шлакообразующие вещества* при расплавлении образуют жидкий шлак, который защищает также поверхность расплавленного металла от атмосферного воздуха. К ним относятся: марганцевая руда, гематит, гранит, кремнезем, полевой шпат и др.

Для сварки легированных сталей необходимо применять электроды с большей степенью легирования, чем у свариваемого металла, поскольку некоторое количество легирующих элементов при сварке выгорает.

При подготовке к сварке деталей производится разделка кромок, при заварке трещин – до полного удаления трещин.



**Рис. 3.1. Схема подготовки дефекта к сварке:**  
а – трещина в середине детали; б – трещина на краю детали

Разделка кромок может выполняться механическим способом (рубка, фрезирование, точение), газовой резкой и выплавкой электрической дугой.

Если объем удаляемого металла велик, целесообразно на дефектный участок вварить вставку из металла, близкого по составу к основному.

Сварка деталей большой толщины ( $\geq 50$  мм) из стали, содержащей углерода более 0,23%, осуществляется с общим или местным подогревом до 250-350<sup>0</sup>С. Нагрев может быть индукционный, в электропечах и горнах, многопламенными горелками.

При сварке деталей большой толщины применяются электроды

диаметром 5, 6, 8 мм. При отсутствии электродов большого диаметра сварку ведут пучком электродов, соединяя электроды малого диаметра в пучки – по 2, 3 и 4. В этом случае сварка производится на постоянном токе при обратной полярности.

Имеется особенность сварки на переменном и постоянном токе. При сварке на переменном токе на электродах выделяется примерно одинаковое количество тепла, а при сварке на постоянном токе на положительном электроде (аноде) выделяется большее количество тепла, чем на отрицательном (катоде). Поэтому процесс сварки можно регулировать, применяя ток разной полярности. При сварке массивных деталей их соединяют с положительным полюсом (ток прямой полярности), что приводит к лучшему прогреву детали в процессе сварки, увеличению глубины плавления металла. При сварке тонкостенных деталей их соединяют с отрицательным полюсом (ток обратной полярности), что позволяет избежать перегрева и прожога металла.

Для усиления мест сварки могут использоваться накладки, толщина которых не должна превышать толщину детали.

При заварке дефектов корпуса аппаратов, изготовленных из двухслойных сталей, вначале производится разделка кромок и заварка основного слоя, а затем плакирующего. В том случае, если не имеется возможности производить сварку со стороны плакирующего слоя, то сварка обоих слоев осуществляется с наружной стороны аппарата. На рис 3.2 показана разделка кромок и последовательность нанесения сварочных слоев.

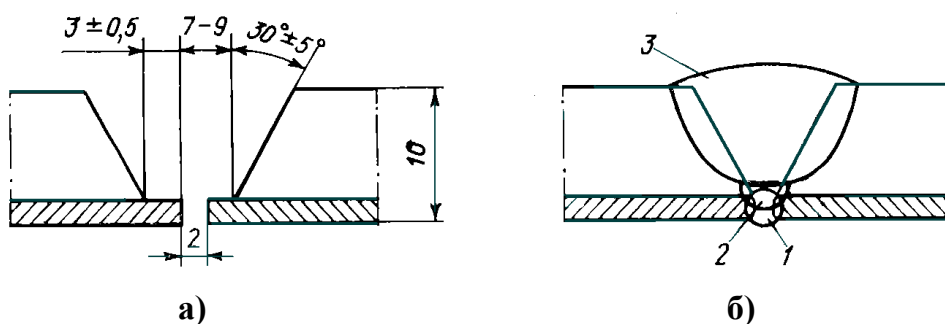


Рис. 3.2. Разделка кромок (а) и нанесение сварочных слоев (б) при сварке двухслойных сталей

Плакирующий слой наносится в среде аргона. Затем в той же среде наносится разделительный шов. Последним наносится основной слой. При этом электроды должны соответствовать марке свариваемого металла. Для сварки тонкостенных изделий (баки, кожухи и т.д.) применяется *ацетилено-кислородная сварка*. В качестве присадочного материала используется стальная проволока.

Дефекты корпусов стальных аппаратов проявляются в образовании выпучин и трещин. Выпучины возникают при перегреве корпуса в результате обрушения футеровки или снижения уровня хладагента. Выпучины устраняют механическим способом с подогревом или без нагревания

дефектного места путем нанесения ударов кувалдой через металлическую прокладку от периферии к центру. Если устранить выпучины не удастся, то она вырезается и ставится заплата. Во избежание термического влияния двух параллельных швов, ширина заплаты должна быть не менее 250 мм. Листы, предназначенные для изготовления заплат, изгибаются по радиусу, равному радиусу кривизны корпуса. После этого по шаблону, снятому с места выреза, изготавливается заплата. Материал заплаты должен соответствовать материалу корпуса аппарата. Перед заваркой трещин производят разделку кромок, а концы трещины обязательно засверливают во избежание дальнейшего ее развития. Групповые трещины не заваривают, а на дефектное место ставят заплату.

### 3.1.2. Сварка чугуна

Сварка чугуна затруднительна вследствие большого (2-3,7%) содержания углерода, низкой пластичности и прочности, высокой чувствительности к нагреву. Вследствие местного нагрева и быстрого охлаждения происходят структурные изменения чугуна в околошовной зоне с образованием прослойки отбеленного чугуна, имеющего структуру цементита ( $Fe_3C$ ) с высокой твердостью, что затрудняет дальнейшую механическую обработку. Сильное газообразование в жидкой ванне может привести к пористости металла шва. Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Это происходит потому, что при температуре 300-400<sup>0</sup>С углерод и кремний окисляются, и чугун становится хрупким. Разделку кромок чугунных деталей производят вырубкой, фрезерованием, сверлением до чистого металла. Применение огневых методов недопустимо.

Существующие способы сварки чугуна можно разделить на две группы:

- а) холодная сварка;
- б) горячая сварка с общим или местным нагревом изделия перед сваркой.

#### 3.1.2.1. Холодная сварка чугуна

При холодной сварке чугуна имеется возможность варьировать в больших пределах химический состав металла шва. Но из-за различия в коэффициенте линейного удлинения серого и белого (отбеленного) чугуна появляются трещины.

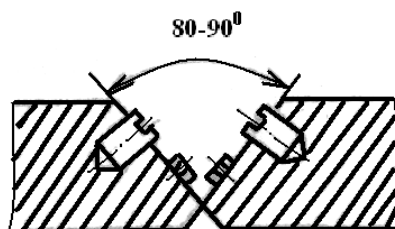
Электродуговая сварка чугуна производится стальными электродами, электродами из цветных металлов и комбинированными, порошковой проволокой и др. Чугунные электроды при холодной сварке чугуна обычно не применяются, так как не обеспечивается хорошее качество шва. Выбор электродов определяется рядом технических и экономических факторов и

требуемым качеством соединения.

При сварке чугуна стальными электродами металл в зоне сварки закаливается и отбеливается. В первом слое образуется чугун с пониженным содержанием углерода и высокоуглеродистая сталь, содержащая 1,6-1,8% С. Во втором слое наплавки содержание углерода уменьшается в стали до 0,5-0,6%, а в третьем слое – оно примерно равно содержанию его в металле электрода. Применяя определенные технологические приемы при сварке (сварка первых слоев на режимах с малой погонной энергией, применение электродов малого диаметра и др.), удастся частично улучшить структуру сварного соединения и несколько увеличить пластичность первых слоев наплавки.

Наилучшие результаты при заварке трещин на изделиях с малой толщиной стенки дает сварка с применением малоуглеродистых электродов с покрытиями основного типа на основе мрамора и плавикового шпата, в частности, электроды УОНИ 13/45. Сварку ведут на постоянном токе при обратной полярности, глубина расплавления основного металла при этом получается минимальной, в металл шва попадает небольшое количество углерода.

При холодной сварке чугуна стальными электродами не удастся получить сварное соединение без твердых закаленных структур. Переходные зоны при этом являются самым слабым местом сварного соединения. Для устранения этого недостатка при ремонте тяжелых и крупногабаритных изделий в корпус детали ввертываются стальные шпильки (ввертыши), которые усиливают связь между основным и наплавленным металлом (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Постановка шпилек (ввертышей) в чугунной детали**

Это упрочняет переходную зону и улучшает работоспособность сварного соединения. Количество шпилек выбирают в зависимости от качества чугуна и условий эксплуатации детали (3-10 штук на 100 мм шва).

Сварка чугуна специальными электродами с карбидообразующими элементами в покрытии (электроды марки ЦЧ-4) может быть широко применена для различных ремонтных работ. Сущность способа заключается в том, что углерод, поступающий в шов из основного металла, связывается в труднорастворимые мелкодисперсные карбиды ванадием, содержащемся в электродном покрытии. Наплавленный слой содержит 9-10% ванадия. Способ обеспечивает высокую прочность наплавки, почти полностью исключает образование твердых закаленных структур в металле шва и в переходных зонах, дает плотный наплавленный металл. Сварку можно вести

на постоянном и переменном токе.

Электроды из цветных металлов применяют для дуговой сварки чугуна с целью получения сварного соединения, имеющего хорошую обрабатываемость режущим инструментом. Медными электродами сваривают изделия, работающие при незначительных нагрузках, а также изделия, требующие плотных швов. Никелевые электроды используют, как правило, для заварки различных литейных дефектов, обнаруживаемых в процессе механической обработки чугунного литья. В качестве электродов используют медноникелевые и железоникелевые сплавы (монельметалл и электроды ЦЧ-3А, имеющие стержень из проволоки Св-08Н50 и основное покрытие). В ремонтной практике применяются медноникелевые электроды диаметром 3-6 мм марки МНЧ-2.

Медностальные электроды применяются для холодной сварки чугуна в том случае, когда от сварного шва требуются высокие показатели прочности, а обрабатываемость наплавленного металла не имеет существенного значения. Существует несколько видов медностальных электродов: медный стержень в стальной трубке со стабилизирующим покрытием; электрод из биметаллической проволоки; пучок электродов из медных и стальных стержней; медный стержень с покрытием основного типа (мрамор, плавленый шпат), содержащим железный порошок. Хорошие результаты дают электроды ОЗЧ-1. Металл, наплавленный этими электродами, обладает большой вязкостью и хорошей обрабатываемостью. В состав покрытия входит железный порошок в количестве 50%. Сварка электродами ОЗЧ-1 осуществляется на постоянном токе обратной полярности.

Холодную сварку чугуна производят также тонкой проволокой (Св-10ГС или Св-08Г2С) в среде углекислого газа. Этот способ применяют, например, для соединения труб из серого чугуна, при сварке деталей из высокопрочного модифицированного чугуна и сварки чугуна со сталью.

Холодная сварка чугуна может осуществляться также порошковой проволокой (ППЧ-1, ППЧ-2 и др.). Сварку проводят на постоянном токе прямой полярности при режиме, обеспечивающем в процессе сварки минимальную скорость охлаждения.

### 3.1.2.2. Горячая сварка чугуна

Предварительный нагрев чугунных деталей уменьшает скорость охлаждения ванны и напряженное состояние детали, понижает общую и местную жесткость, обеспечивает отсутствие трещин и возможность механической обработки сварного соединения.

Температура предварительного нагрева определяется размерами детали, жесткостью конструкции, толщиной стенок, объемом наплавленного металла и структурой чугуна. Для большинства деталей нагрев до 400-450°C обеспечивает получение обрабатываемого сварного соединения и создает условия, исключая образование трещин. При сварке деталей сложной

формы температура должна быть повышена до 550-600°C. Дальнейшее повышение температуры может вызвать рост зерна металла, потерю механической прочности и снизить дальнейшую работоспособность изделия. Способ нагрева определяется условиями производства. Детали малых размеров и веса можно сваривать без предварительного нагрева. При сварке массивных деталей целесообразно применять местный нагрев.

Электродуговую горячую сварку чугуна осуществляют чугунными электродами диаметром 6-12 мм марки Б на постоянном или переменном токе при повышенных режимах. Предварительно в местах сварки формируют ванночки для предотвращения вытекания металла из сварочной ванны.

Формовка производится графитовыми или угольными пластинками, скрепленными формовочной массой из кварцевого песка, увлажненного жидким стеклом или другими формовочными материалами. При большом объеме наплавленного металла производится армирование ванны проволокой и разбивка шва на отдельные участки. После окончания сварки деталь покрывают асбестом для медленного охлаждения или охлаждают вместе с печью.

Детали сложной конфигурации с тонкими стенками рекомендуется сваривать прутками марки А. Для сварки тяжелых толстостенных деталей и изделий, подвергающихся длительному нагреву, применяют прутки марки Б.

В ремонтной практике широко применяется *ацетилено-кислородная* сварка чугуна. Сварку выполняют нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. В качестве присадочного материала используют чугунные прутки марки А.

По сравнению с другими способами газовая сварка чугуна обладает рядом технологических преимуществ: регулирование в широких пределах скорости нагрева сварочной ванны и величины нагреваемых зон, прилегающих к сварному шву, скорости заполнения сварочной ванны присадочным металлом и скорости охлаждения сварного шва, а также возможности повторного нагрева для снятия напряжений.

Газовую сварку чугуна широко применяют при ремонте деталей небольшого веса, а также при сложных ремонтных работах на ответственных изделиях больших габаритов и веса (станины прессов, цилиндры компрессоров и т.п.). В ряде случаев для этого необходимо изготавливать временные нагревательные устройства.

Перед заваркой разрывов, отколов и других механических повреждений производят сборку и подготовку изделия к сварке. Наиболее точной является сборка по излому. Части изделия предварительно скрепляют хомутами, стяжками и другими приспособлениями. Чем более точно собрана деталь, тем более вероятно сохранение размеров сварного изделия. Детали, имеющие трещины, обычно сваривают без механических креплений.

Горячую сварку чугуна можно производить с применением порошковой проволоки марки ППЧ-1 с применением автоматического и полуавтоматического способов. Сварку ведут на постоянном токе обратной

полярности в среде углекислого газа или без защиты (в неотвественных случаях).

Применяют также для сварки чугуна сварку-пайку, при которой нагревают свариваемые кромки до температуры плавления (750-850°C). При этом применяют практически два способа: сварка-пайка латунной проволокой и сплавами, отлитыми в прутки.

Сварка чугуна с нагревом до 250-400°C называется полугорячей. Ее применяют, когда необходимо исправить дефект сложной детали.

### **3.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ**

Наплавка является доступным и распространенным способом восстановления. Процесс восстановления складывается из наплавки, отжига и механической обработки детали. Наплавка позволяет нарастить на изношенной поверхности достаточный слой металла, обладающий не меньшей прочностью, чем металл восстанавливаемой детали. Износостойкость наплавленного слоя может быть выше износостойкости металла детали. Значительная толщина наплавленного слоя достигается многослойной наплавкой.

Недостатком наплавки является коробление деталей из-за напряжений, возникающих вследствие местного нагрева детали. Для устранения коробления производят подогрев наплавляемой детали до 100-400°C, термообработку после наплавки и др.

Способ восстановления деталей наплавкой применяется для стальных, чугунных, бронзовых, свинцовых деталей, а также для баббитовых вкладышей подшипников скольжения.

Для наплавки деталей из мало- и среднеуглеродистых сталей применяется низкоуглеродистая проволока марок Св-08, Св-08А, Св-08Г, Св-10ГА, Св-10Г2 и др. Для наплавки деталей из качественных легированных сталей используется сварочная проволока, содержащая легирующие добавки (легированная и высоколегированная): Св-08ГС, Св-18ХГС, Св-10Х17Т и др.

По основным технологическим приемам наплавочные работы мало отличаются от сварочных. Отличие, прежде всего, состоит в доле участия основного металла в металле наплавки. При этом требуется минимальная доля основного металла, переводимого в металл наплавки. Оптимальным было бы выполнение наплавочных работ без расплавления основного металла. В этом случае можно было получить заранее заданный гарантированный состав наплавленного металла. Применение автоматической наплавки позволяет существенно увеличить производительность труда, получить высокое качество наплавленного слоя и резко уменьшить стоимость наплавленных работ. При этом значительно улучшаются условия труда рабочих, занятых наплавкой.

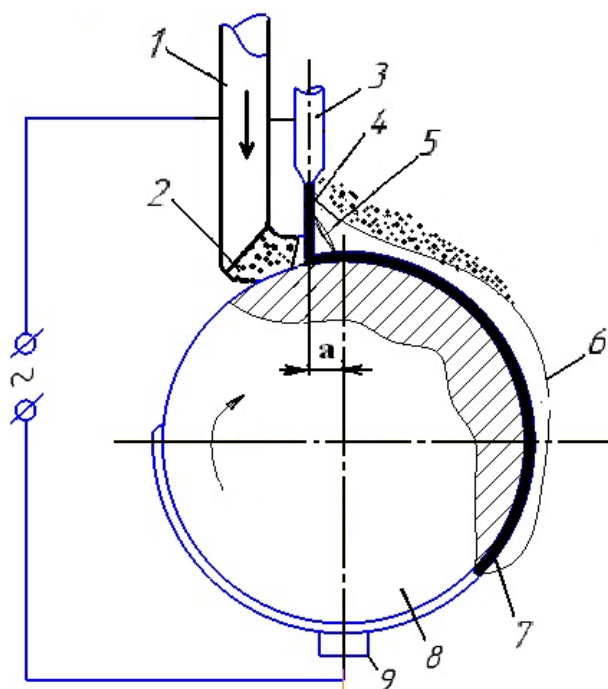
Для уменьшения коробления деталей, наплавляемые валики

накладываются последовательно на диаметрально противоположные стороны детали. При спиральной наплавке коробление деталей сводится к минимуму и появляется возможность механизировать процесс или применить автоматическую наплавку.

В ремонтной практике применяется автоматическая наплавка под слоем флюса, наплавка в среде защитных газов, вибродуговая наплавка, наплавка твердыми сплавами и др.

### 3.2.1. Автоматическая наплавка под слоем флюса

Сущность этого способа заключается в том, что электрическая дуга горит под слоем расплавленного флюса (рис. 3.4), который защищает металл шва от окисления воздухом, предотвращает разбрызгивание металла, обеспечивает хорошее формирование металла сварного шва и устойчивое горение дуги.



**Рис. 3.4. Схема автоматической наплавки под слоем флюса:**

1 – устройство для подачи флюса; 2 – оболочка из жидкого флюса; 3 – мундштук; 4 – электродная проволока; 5 – газовый пузырь; 6 – шлаковая корка; 7 – наплавленный слой; 8 – наплавляемая деталь; 9 – подвод тока к детали

Флюсы классифицируются по назначению, химическому составу, степени легирования металла шва, способу изготовления и др.

Наплавкой под слоем флюса восстанавливаются детали диаметром более 50 мм, так как при меньших размерах наплавка затруднительна вследствие стекания расплавленного металла и флюса с детали.

Применение флюса позволяет применять электродную проволоку без покрытия.

Шлаковая корка, образующаяся при плавлении флюса, удаляется с



поверхности детали ударами молотка.

Нерасплавившаяся часть флюса после предварительной подготовки используется повторно.

При наплавке можно наносить слой металла толщиной от 1 до 40 мм. Окружная скорость изделия при наплавке выбирается из условия полного удаления шлака в течение одного оборота детали. Продольная подача наплавочной головки (шаг наплавки) лежит обычно в пределах 3-12 мм/об. Наиболее высокое качество наплавленного слоя достигается при наплавке на постоянном токе обратной полярности.

Производительность автоматической наплавки в 5-10 раз выше производительности ручной электродуговой наплавки. Для повышения производительности наплавку можно выполнять одновременно несколькими электродами (многоэлектродная наплавка) или электродами, изготовленными из прокатной или порошковой ленты.

Для правильного формирования валика и уменьшения провара рекомендуется сместить электрод от точки зенита в сторону, противоположную вращению при наплавке деталей круглого сечения на величину  $\alpha$  (рис. 3.4). При этом жидкий металл подходит под дугу, ослабляет ее давление, в результате чего уменьшается глубина провара и увеличивается ширина валика. Величина смещения электрода зависит от режима наплавки и диаметра изделия. Обычно она составляет 5-25 мм. При наплавке плоских деталей с этой целью деталь наклоняют в сторону движения электрода на угол 6-8°. Наплавка ведется с перекрытием последующим валиком предыдущего на 1/2 - 1/3 его ширины.

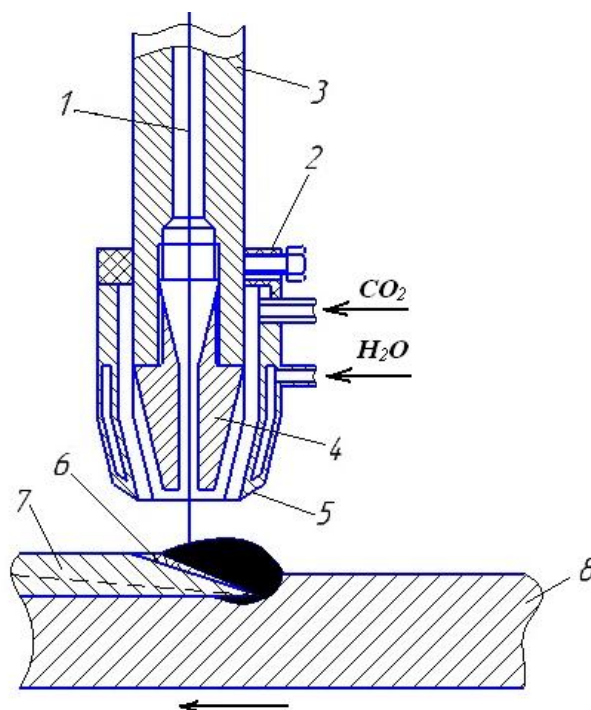
Легирование наплавляемого слоя возможно за счет использования легированной электродной проволоки или легирующего флюса. Широко при этом используются легирующие керамические флюсы, представляющие собой смесь размельченных легирующих, раскисляющих, модифицирующих и шлакообразующих компонентов, замешанных на жидком стекле. Для сварки под этими флюсами употребляют обычную сварочную проволоку. Ленточные электроды целесообразно применять для наплавки тонких равномерных слоев на больших площадях с минимальной глубиной расплавления основного металла. Основным преимуществом порошковых лент является возможность широкого изменения состава наплавленного металла путем изменения состава шихты. Порошковую ленту изготавливают из двух полос из стали 10, 08, скрепленных между собой по краям закаткой или сваркой. Промежуток между лентами заполняют шихтой. Одна полоса ленты делается обычно гладкой, а вторая – гофрированная с ячейками, что способствует более равномерному распределению шихты.

Для наплавки можно применять любые автоматы и полуавтоматы, предназначенные для дуговой сварки.

Отверстия и шпоночные канавки перед наплавкой заглушаются с помощью асбестовых или графитовых вставок.

### 3.2.2. Наплавка в среде защитных газов

При наплавке в защитной среде углекислого газа сварочная дуга и расплавленный металл защищаются струей углекислого газа, подаваемого в зону горения дуги.



**Рис. 3.5. Схема наплавки в среде углекислого газа:**

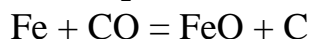
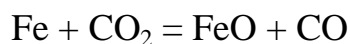
1 – электродная проволока; 2 – горелка; 3 – мундштук; 4 – наконечник; 5 – сопло горелки; 6 – сварочная ванна; 7 – наплавленный металл; 8 – наплавляемая деталь

Углекислый газ тяжелее воздуха в 1,5 раза и вытесняет его из ванны расплавленного металла.

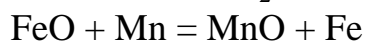
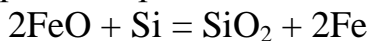
Автоматическая наплавка в среде углекислого газа позволяет восстанавливать детали со сложным профилем изнашиваемых поверхностей, а также восстанавливать цилиндрические поверхности деталей диаметром менее 50 мм, шлицевые поверхности валов, отверстия в корпусных деталях и т.д. Наплавку производят на постоянном токе обратной полярности, что обеспечивает получение более высокого качества наплавляемого металла.

Автоматическая наплавка в среде углекислого газа имеет ряд преимуществ перед другими способами: надежная защита сварочной дуги, возможность наблюдать и корректировать процесс образования наплавляемого слоя, отсутствие флюса при наплавке, усложняющего процесс, высокая производительность, возможность производить наплавку в любом пространственном положении наплавляемой поверхности, невысокая стоимость углекислого газа и др.

Углекислый газ является активным газом. Защищая дугу и металл жидкой ванны от воздействия окружающего воздуха, он вступает во взаимодействие с расплавленным металлом. Происходят реакции:



Оксиды железа, образующиеся в результате указанных реакций в сварочной ванне, вступают во взаимодействие с марганцем и кремнием, содержащимися в жидком металле и вводимыми в жидкую ванну как раскислители. Происходят реакции раскисления:



Эти реакции вызывают значительный расход кремния и марганца, поэтому для наплавки изношенных деталей в среде углекислого газа требуется электродная проволока с повышенным содержанием кремния и марганца (Св – 08 ГС, Св – 10 ГС, Св – 08 Г2С и др.).

В ремонтной технологии наряду с наплавкой в среде углекислого газа применяется наплавка в среде аргона, который является инертным газом и лучше защищает сварочную дугу и наплавленный металл. Аргон применяется для наплавки жаропрочных, нержавеющей и других сталей, при сварке труб с трубными решетками, что позволяет получить плотные, качественные швы. Но аргон дороже углекислого газа примерно в 6-7 раз, что несколько сдерживает его применение.

### 3.2.3. Вибродуговая наплавка

*Вибродуговой наплавкой* называют способ автоматической электродуговой наплавки вибрирующим плавящимся электродом.

Сущность этого способа заключается в том, что между наплавляемой деталью и вибрирующей электродной проволокой, подаваемой к месту наплавки, периодически возбуждается дуга. За счет дуги происходит оплавление конца электрода и поверхности детали, на которой образуется ванночка расплавленного металла. К месту наплавки непрерывно подается охлаждающая жидкость, и наплавленный металл охлаждается с большой скоростью. Амплитуда колебаний электрода 1,5-2,5 мм.

При наплавке высокоуглеродистой проволокой за счет резкого охлаждения обеспечивается высокая твердость и износоустойчивость наплавленного слоя.

Вибродуговая наплавка обеспечивает получение наплавленных слоев толщиной от 0,1 до 3,0 мм. При такой наплавке деталь прогревается на глубину, равную примерно толщине наплавленного слоя, поэтому практически не наблюдается коробления деталей и значительного нарушения свойств термообработанного слоя.

Вибродуговую наплавку можно применять при восстановлении незакаленных и закаленных деталей, а также деталей из низколегированных цементованных сталей. Этим способом можно наплавлять детали цилиндрической формы диаметром до 15 мм и выше, наращивать металл в изношенных отверстиях, подвижных и неподвижных соединениях,

восстанавливать поверхности под обоймы шариковых и роликовых подшипников, шейки валов и т.д. Вибродуговая наплавка нежелательна для профильных поверхностей в виде резьб, мелких шлиц и т.п. Наплавку можно производить также под слоем флюса и в среде защитного газа.

Наплавленный металл представляет собой мелкопористую металлическую массу, насыщенную кислородом, азотом и водородом. В процессе наплавки частично выгорают углерод, марганец, кремний.

Недостатками этого способа являются сравнительно большие потери металла на угар и разбрызгивание (10-30%), малая прочность наплавленного слоя, возможность местной закалки основного металла, особенно высокоуглеродистых сталей при наплавке деталей с большой массой, снижение усталостной прочности восстанавливаемых деталей. Вследствие большой газонасыщенности наплавленного металла исключается возможность повторной наплавки другими способами без предварительного полного удаления покрытия, полученного вибродуговым способом.

Оборудование для наплавки состоит из станка для вращения детали или ее продольного перемещения при наплавке на плоскость и автоматической сварочной головки, снабженной вибратором (механическим или электромагнитным) с частотой вибрации 50-100 Гц.

При соответствующей частоте вращения детали на ее поверхности образуется валик, ширина которого в два раза больше диаметра электрода. В качестве охлаждающей жидкости применяются водные растворы глицерина, кальцинированной соды, мыла.

Наплавка газовым пламенем находит широкое применение в производстве при восстановлении различных мелких чугунных, стальных деталей и изготовленных из цветных металлов (меди, бронзы, латуни, алюминия и его сплавов). При этом можно в широких пределах регулировать степень нагрева основного металла. Глубина проплавления основного металла незначительная, толщину слоя можно получить 0,5 мм.

### **3.2.4. Наплавка твердыми сплавами**

Наплавкой твердыми сплавами можно получить поверхностный слой заданного состава. Практика показывает, что износоустойчивость деталей, наплавленных твердыми сплавами, по сравнению с износоустойчивостью не наплавленных деталей, изготовленных из углеродистой стали, повышается в 3-4 раза, а в ряде случаев в 6-7 раз.

Стоимость работ по наплавке с одновременным их восстановлением не превышает 30-50% стоимости новой детали. При этом сокращается объем ремонтных работ, значительно удлиняются межремонтные периоды, что повышает коэффициент использования оборудования.

Наплавку твердыми сплавами в настоящее время производят не только при восстановлении изношенных, но и при изготовлении новых деталей машин и механизмов. Поэтому объем наплавочных работ очень велик и

непрерывно возрастает, вместе с тем растет номенклатура используемых материалов и разнообразие способов наплавки. Наплавку можно осуществлять разными способами.

Ручную электродуговую наплавку проводят как на переменном, так и на постоянном токе плавящимися или неплавящимся (угольными или графитовыми) электродами. Механизированную наплавку осуществляют путем автоматизации подачи электродной проволоки и флюсов, а также перемещения наплавочной головки или наплавляемой детали.

В качестве наплавочных материалов применяют специальную наплавочную проволоку и электроды, а также прутки, порошковые электроды, порошковую ленту, порошкообразные смеси и др. Преимуществом ручных способов наплавки твердых сплавов является возможность использования обычного сварочного оборудования и возможность выполнять наплавку деталей сложной конфигурации.

#### 3.2.4.1. Порошкообразные наплавочные материалы

Порошкообразные наплавочные материалы представляют смесь зерен металлов, ферросплавов и металлических соединений с углеродом.

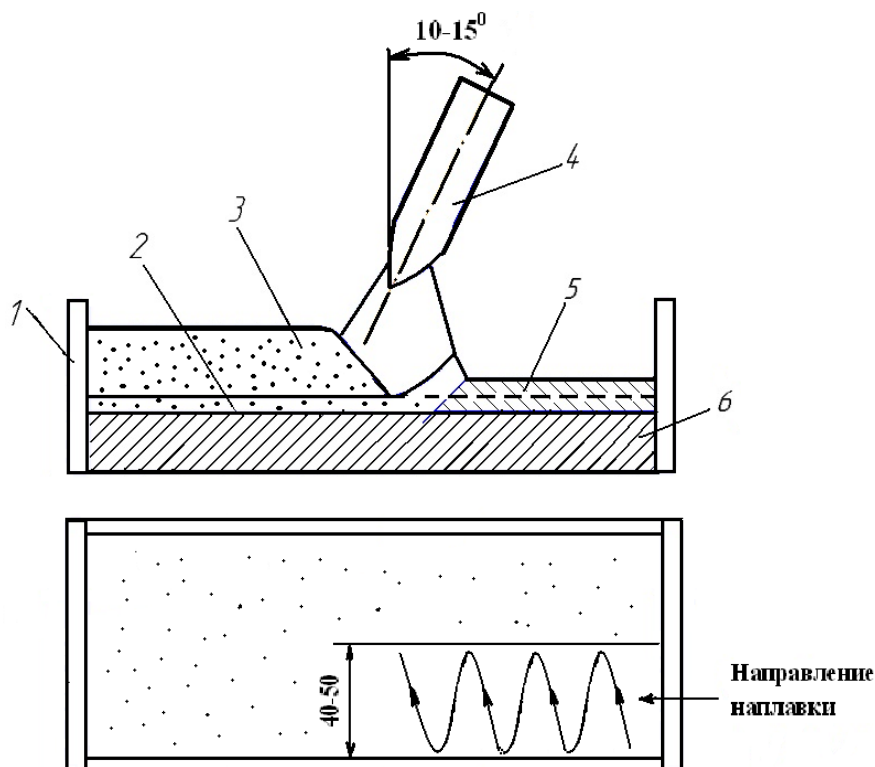
Ферросплавы представляют собой сплавы железа с хромом (феррохром), марганцем (ферромарганец), титаном (ферротитан), молибденом (ферромolibден) и другими металлами.

Широкое применение получили смеси порошков С-2М и ФБХ6-2 – с частицами не более 1 мм, КБХ и БХ – с частицами 0,45 мм, порошки Пр-С27, Пр-С1, Пр-СР2 и др., которые обеспечивают твердость наплавленного металла до НРС63. Применяются для восстановления деталей, работающих при абразивном изнашивании.

Наплавка порошкообразных наплавочных материалов может производиться при помощи угольных или графитовых электродов на переменном или постоянном токе прямой полярности. Лучшее формирование валиков наплавляемого металла достигается при наплавке постоянным током. Смесь КБХ рекомендуется наплавлять в один слой переменным током.

При наплавке цилиндрических поверхностей, на которых сухая смесь не может держаться, шихту наносят в виде пасты, приготовленной на водном растворе жидкого стекла. При наплавке деталей порошкообразными смесями на наплавляемую поверхность насыпается тонкий слой флюса (прокаленная бура- $\text{Na}_2\text{V}_4\text{O}_7$ ) и слой порошкообразного материала, толщина которого после уплотнения должна быть в два раза больше высоты наплавки, которая обычно равна 2-3 мм. Затем дуга возбуждается на основном металле, переносится на порошкообразный материал, и при поступательном зигзагообразном движении электрода по всей ширине наплавляемой полосы производится одновременное расплавление шихты и основного металла, который после охлаждения образует слой твердого сплава. Кромки детали

предварительно подформовываются пластинами из графита или меди (рис.3.6).



**Рис. 3.6. Схема наплавки порошкообразных смесей:**

- 1 – пластина (графит или медь); 2 – прокаленная бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ );
- 3 – наплавляемый порошкообразный материал; 4 – электрод;
- 5 – наплавленный слой; 6 – наплавляемая деталь

Для получения более толстого слоя наплавку ведут в несколько слоев. Для уменьшения вероятности образования трещин и уменьшения деформации деталей сложной формы их рекомендуется перед наплавкой подогреть до  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . По окончании наплавки следует обеспечить медленное охлаждение детали.

Детали, наплавленные порошкообразными твердыми сплавами, во многих случаях не требуют механической обработки. При необходимости наплавленный слой может быть обработан абразивным инструментом.

Порошкообразные твердые материалы широко применяются для изготовления порошковых электродов (порошковая проволока и порошковая лента). Меняя состав порошкового наполнителя, можно получить наплавленный металл различного состава и свойств. Изготавливают порошковые электроды из стальной (стали 08, 10) ленты толщиной 0,2-1,0 мм, свернутой в трубку, заполненную шихтой из смеси порошков. Порошковые электроды более производительны, чем стержневые. В процессе наплавки порошковым электродом наполнитель плавится быстрее, чем оболочка электрода. Это улучшает защиту легирующих элементов расплавленного металла от окружающего воздуха, что повышает коэффициент их усвоения.

В ремонтной практике находит применение также автоматическая наплавка ленточными порошковыми электродами или порошковой проволокой.

Наплавку порошкообразных твердых материалов можно осуществлять токами высокой частоты (индукционный нагрев) и плазменной дугой. При этом достигается небольшой нагрев детали и небольшая глубина проплавления основного металла, возможность нанесения весьма тонкого слоя твердого сплава, а также имеется большая возможность автоматизации процесса наплавки.

#### 3.2.4.2. Стержневые электроды для наплавки твердых сплавов

Из стержневых электродов для наплавки находят применение электроды покрытые и электроды из литых твердых сплавов.

Электроды, покрытые для наплавки износостойких слоев, изготавливаются из сварочной проволоки марки Св-08А, а легирующие элементы вводятся в состав обмазки. Они обеспечивают высокую твердость наплавляемого слоя и применяются для восстановления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, в том числе с ударными нагрузками, деталей из высокомарганцевых сталей Г13 и Г13Л, штампов для горячей и холодной штамповки, уплотнительных поверхностей арматуры и др.

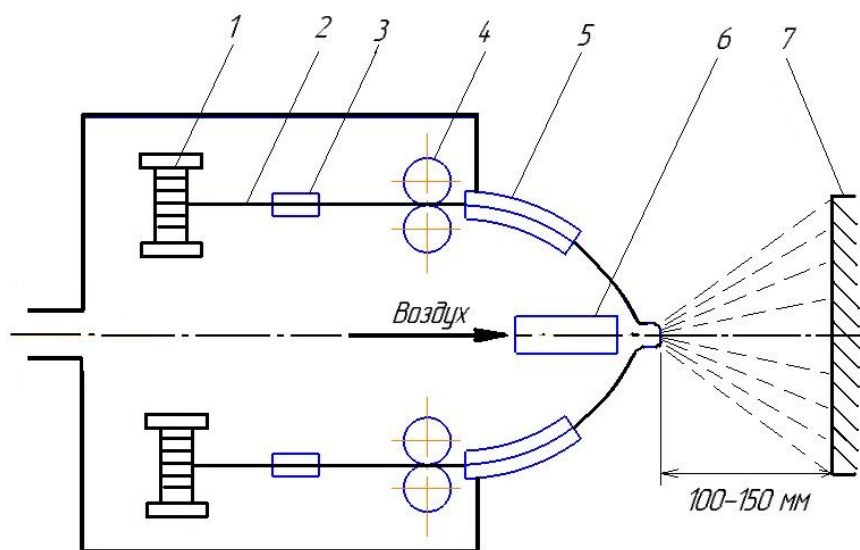
Электроды литые или прутки для наплавки представляют собой стеллиты и стеллитоподобные их заменители. Стеллиты представляют собой твердый раствор карбидов хрома в кобальте, а стеллитоподобные – твердые растворы в железе и никеле. Получают их путем сплавления в индукционных печах при температуре 1400-1600°С из шихты, состоящей из кобальта, хрома, вольфрама и других металлов. Разливкой расплава в кокиль получают стержни диаметром 4-8 мм и длиной 300-450 мм.

Наплавленный слой имеет высокую твердость (HRC 40-52). Применяются для восстановления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, а некоторые из них (Пр-ВЗК, Пр-ВЗК-Р) применяются для наплавки деталей, работающих в условиях эрозионного износа, воздействия химически активных сред, высоких температур (до 800°С).

Литые твердые сплавы наплавляют кислородно-ацетиленовым пламенем и электродуговым способом на постоянном токе обратной полярности. Для предупреждения коробления при наплавке проводится предварительный подогрев массивных деталей до температуры 700-800°С. Наплавка производится не менее чем в три слоя. Во избежание большого перемешивания твердого сплава с металлом детали первый слой наплавляется при пониженной силе тока. После окончания наплавки детали отжигают при температуре 850°С с последующим медленным охлаждением, что снижает вероятность образования трещин.

### 3.3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Сущность процесса металлизации состоит в нанесении металлических покрытий на поверхность материалов путем расплавления металла и последующего распыления его струей сжатого воздуха. Для этого используют специальные аппараты – металлизаторы. В зависимости от вида источника тепла, используемого для расплавления металла, различают металлизаторы газопламенные, электродуговые и плазменные. Металл для напыления может применяться в виде проволоки, порошка или ленты. Наибольшее распространение получили металлизаторы проволочного типа. На рис. 3.7 показана схема напыления металла с помощью электродугового металлизатора.



**Рис. 3.7. Схема работы электродугового металлизатора:**

1 – катушка с проволокой; 2 – проволока; 3 – направляющая трубка;  
4 – тяговые ролики; 5 – приемная трубка; 6 – сопло; 7 – деталь

Электрическая дуга горит между двумя проволочными электродами, которые непрерывно со скоростью 0,04-0,06 м/с механизмом подаются в направляющую трубку.

Расплавленный металл распыляется воздухом давлением до 0,7 МПа, что обеспечивает скорость частиц 100-250 м/с и более. Размер частиц расплавленного металла 15-20 мкм, температура около 1200<sup>0</sup>С (для стали). Ударяясь о поверхность детали, частицы металла проникают в ее поры и неровности, сцепляются с металлом, а также между собой. При металлизации сплавления или сваривания частиц с поверхностью детали не происходит, сцепление носит чисто механический характер.

Напыление проводят послойно, в результате чего металлизацией удастся получить покрытия толщиной до 10 мм.

Электродуговые металлизаторы работают как на постоянном, так и на переменном токе. Они могут быть использованы для напыления металлов, температура плавления которых не превышает 2800<sup>0</sup>С.



Металлизационные покрытия по своему строению, химическому составу и свойствам значительно отличаются от напыляемого металла. Под действием высокой температуры и кислорода воздуха при напылении отдельные элементы частично выгорают, а на поверхности частиц образуются оксидные пленки.

При ударе об изделие частицы претерпевают резкое охлаждение и деформацию, причем образуемый из таких частиц слой содержит поры, вследствие чего плотность металлизационных покрытий обычно составляет 80-97% от истинной плотности материала, они способны впитывать в себя до 10% масла (по объему), что повышает их износостойкость на 40-50% по сравнению с металлом до металлизации. Весьма ценным является свойство металлизированных шеек валов длительное время работать без доступа смазки и не вызывать заедания при нагрузках в 2-3 раза больших, чем допускают шейки из обычных сталей.

Напыленный слой за короткий срок успевает сильно охладиться, происходит его закалка, и твердость покрытия возрастает на 40% по сравнению с исходным материалом. Это также можно объяснить и наклепом частиц металла при ударе их о поверхность деталей, что также способствует повышению износостойкости деталей.

Металлизационные покрытия имеют низкую пластичность и низкий модуль упругости, в связи с чем возникающие в покрытии напряжения всегда меньше, чем в самой детали. В связи с этим металлизационные покрытия не наносят на детали, испытывающие динамические нагрузки. Они хорошо работают в условиях статических нагрузок, но только в пределах упругих деформаций основания.

Прочность сцепления напыленного слоя с деталью составляет 10-25 МПа. Большое влияние на прочность сцепления оказывает шероховатость покрываемой поверхности и способ ее подготовки. Для этой цели поверхность подготавливают: делают насечку, накатку, нарезают рваную резьбу и т.п. Нарезку рваной резьбы производят обычным резьбовым резцом, устанавливаемым ниже центра детали на 4-5 мм с вылетом 120-150 мм. Нарезку производят всухую, за один проход, на малых оборотах.

При металлизации наружных поверхностей тел вращения (шейки валов, осей, шпинделей, цапф и др.) наносят покрытия толщиной до 10 мм. При этом толщина наносимого слоя должна быть не менее 0,75-1,0 мм на сторону. Если износ меньше этой величины, то шейку перед металлизацией подвергают обточке до соответствующего размера.

Для металлизации применяют проволоку из углеродистой стали, нержавеющей сталей X18H10T, X18H10 и др. диаметром 1,2-2,5 мм, а также проволоку диаметром 1,0-3,0 мм из молибдена и цветных металлов (алюминий и его сплавы, цинк и др.).

Широкое применение находит газопламенное нанесение металлизационного слоя для защиты металлов от атмосферной коррозии, действия воды, дымовых газов и т.п. (нанесение цинка, алюминия, кадмия).

Большое практическое значение приобрели керамические покрытия из оксида алюминия и диоксида циркония. Наряду с ними применяют покрытия из тугоплавких металлов (титана, тантала, молибдена, вольфрама).

Покрытия из оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) наносят газопламенным или плазменным способами. Материалом для напыления служит порошок технического глинозема. Такие покрытия могут длительное время работать при температуре 1500-1700°C, имеют высокую твердость, низкий коэффициент трения и хорошую химическую стойкость. Основным недостатком является их хрупкость и низкая механическая прочность.

Покрытия из диоксида циркония ( $\text{ZrO}_2$ ) вследствие высокой температуры плавления (2690°C) целесообразно наносить плазменным способом. Материалом служит порошок циркония, стабилизированный оксидом кальция. Наиболее важными характеристиками покрытий из диоксида циркония являются их высокая жаростойкость и очень низкая теплопроводность. Покрытия можно эксплуатировать при температуре свыше 2000°C.

Разновидностью металлизации является газопламенное нанесение порошкообразного металла с размером частиц 0,07-0,15 мм. В пламени горелки порошок частично сплавляется и под действием динамического напора газов наносится на поверхность детали. Источником теплоты служит ацетилено-кислородное пламя.

Прогрессивным методом наплавки и металлизации напылением является использование в качестве источника тепла струи плазмы, представляющей собой сильно ионизированное газообразное вещество, температура которого может достигать нескольких десятков градусов (20000°C). Для этих целей используются специальные устройства – плазмотроны или плазменные горелки различных типов.

Плазменную струю получают путем вдувания в электрическую дугу плазмообразующего газа (аргона, гелия, водорода, азота и др.) и обжатие его в охлаждаемом водой сопле.

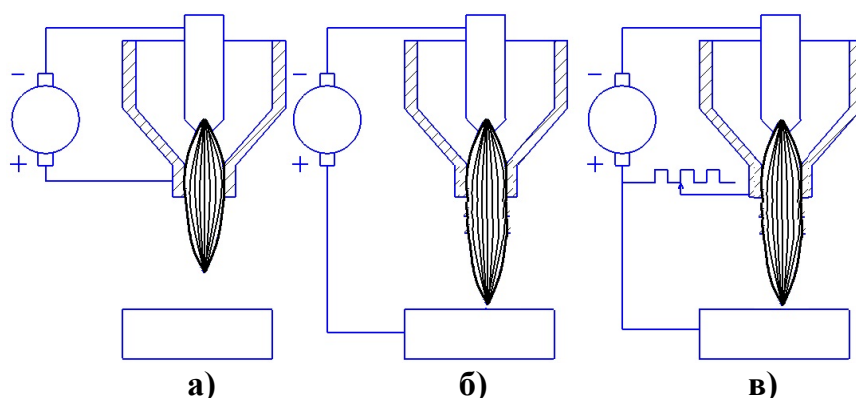
Вследствие дугового разряда между анодом и катодом (деталью и электродом) кинетическая энергия молекул газа возрастает и достигает такой величины, при которой соударение молекул вызывает их диссоциацию на атомы, при этом выделяется большое количество тепла.

Как источник тепла плазменная струя обладает следующими преимуществами:

- высокая температура (7000-20000°C) позволяет применять ее для наплавки любых тугоплавких материалов;
- высокая концентрация энергии и высокая скорость теплопередачи обеспечивают высокую производительность процесса и быстрый местный нагрев;
- наплавленные покрытия имеют плотную и однородную структуру;
- возможность получения напылением слоев малой толщины ( $10^{-4}$ - $10^{-3}$  м).

Наплавку можно производить, используя электродный присадочный материал в виде проволоки, прутка или порошковые наплавочные материалы.

Порошок может наноситься на поверхность детали, а затем оплаиваться струей плазмы. Можно также подавать порошок в зону расплавленного основного металла или вдвухать в плазменную струю. Для предотвращения сдувания порошка пламенем дуги и струей газа применяют связующие вещества и прессование порошка с последующим спеканием. Плазменную наплавку можно производить как на переменном, так и на постоянном токе, применяя различные схемы включения плазменных горелок – независимой, зависимой дугой и комбинированной дугой (рис. 3.8).



**Рис. 3.8. Схемы включения плазменных горелок:**

а – независимая дуга; б – зависимая дуга; в – комбинированная дуга

На постоянном токе получается покрытие с более высокими физико-механическими свойствами.

Механическую обработку плазменных покрытий можно производить только шлифованием на режимах, рекомендованных для обработки твердых сплавов.

В плазмотронах применяются в основном вольфрамовые электроды с присадкой лантана (La). В ремонтной практике плазменная технология применяется также для резки листового материала, труб, для вырезки фланцев и др.

### **3.4. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

К электролитическим методам относятся: хромирование, никелирование, железнение (осталивание), меднение, свинцевание, цинкование. В ремонтной практике при восстановлении изношенных деталей находят применение, в основном, хромирование и железнение. Максимальная толщина покрытия при хромировании может достигать 0,45-0,5 мм, а при железнении – 2,0-3,0 мм. Объясняется это тем, что железо осаждается в 10-20 раз быстрее, чем хром.

Электролитическое осаждение металлов происходит в результате *электролиза* - химического процесса, возникающего при пропускании постоянного электрического тока через электролит. Для этого используются ванны, изготовляемые из листового металла, а изнутри футерованные листовым свинцом или винипластом. Ванны имеют водяные рубашки для нагревания электролита. Электролит представляет собой водный раствор солей металлов.

Если поместить в электролит электроды, подключив их к источнику постоянного тока, то ранее нейтральные молекулы электролита начинают распадаться на положительно заряженные частицы – катионы и отрицательно заряженные – анионы.

При установке или подвеске в электролите вместо катода детали, на ее поверхности будут осаждаться частицы металла, заряженные положительно (катионы).

Основными параметрами процесса являются плотность тока, определяемая как отношение силы тока к единице площади катода ( $A/dm^2$ ), температура электролита и время ведения процесса.

В процессе работы состав ванны необходимо контролировать, т.к. концентрация электролита снижается и его «укрепляют», добавляя свежий.

Конструкция подвесок должна обеспечить надежный контакт с деталями и штангами. Контактные крючки изготавливают из бронзы или меди.

Поверхности деталей, не подлежащих покрытию, защищаются. При этом могут использоваться разные материалы: перхлорвиниловый лак, хлорвиниловые трубки, хлорвиниловую изоляционную ленту и др.

Процесс нанесения покрытий складывается из следующих операций:

- механическая обработка детали (шлифование) с целью устранения следов износа и восстановления правильной геометрической формы;
- очистка детали от грязи, масла и других загрязнений;
- нанесение покрытия;
- промывка и нейтрализация деталей;
- механическая обработка деталей (шлифование) на номинальный или ремонтный размер.

### 3.4.1. Хромирование

*Хромирование* является одним из наиболее распространенных способов гальванического наращивания при восстановлении деталей машин. При этом возможно не только восстанавливать размеры изношенных поверхностей деталей машин, но и повышать их износостойкость. Это обстоятельство обусловлено свойствами электролитического хрома: высокой твердостью, низким коэффициентом трения скольжения, высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью и теплопроводностью, а также хорошим

сцеплением с основным металлом. Твердость электролитического хрома зависит от условий электролиза и может изменяться в пределах 400-1200 НВ. Коэффициент трения хрома по баббиту – 0,13, по стали – 0,16.

Недостатками способа хромирования являются:

- понижение прочности при увеличении толщины покрытия;
- понижение (до 20%) усталостной прочности деталей, покрываемых хромом;
- плохая смачиваемость хромированных поверхностей маслами, поэтому восстанавливать хромированием деталей, работающих при больших удельных давлениях с нагревом, нецелесообразно;
- плохая прирабатываемость гладкого хрома вследствие его большой твердости.

Смачиваемость и прирабатываемость электролитического хрома в значительной мере можно улучшить дополнительной анодной обработкой, при которой микроскопические тонкие трещины покрытия хрома растравляются, становятся широкими и глубокими. Образуется так называемый пористый хром. Пористое хромирование применяют для восстановления деталей, работающих при значительных удельных нагрузках, высокой температуре, при невозможности подачи достаточного количества смазки.

Пористое хромирование можно получить также при нанесении заранее на детали мелких углублений в результате, например, накатки и др.

Для хромирования применяют три основных типа составов электролита: сернокислые, саморегулирующиеся и тетрохроматные. Наиболее распространены сернокислые электролиты. Они бывают низкоконтентрированными, средней концентрации (универсальные) и высокой концентрации. В ремонтном производстве наибольшее применение находит электролит, содержащий 150 г/л хромового ангидрида ( $\text{CrO}_3$ ) и 1,5 г/л серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), а также электролит, состоящий из 250 г/л хромового ангидрида и 2,5 г/л серной кислоты. Для хромирования деталей применяют также саморегулирующийся электролит, состоящий из 250-350 г/л хромового ангидрида, 50-75 г/л карбоната кальция, 5-20 г/л гипса. В этом электролите автоматически поддерживается оптимальное соотношение триоксида хрома и ионов сульфата ( $\text{SO}_4^{--}$ ).

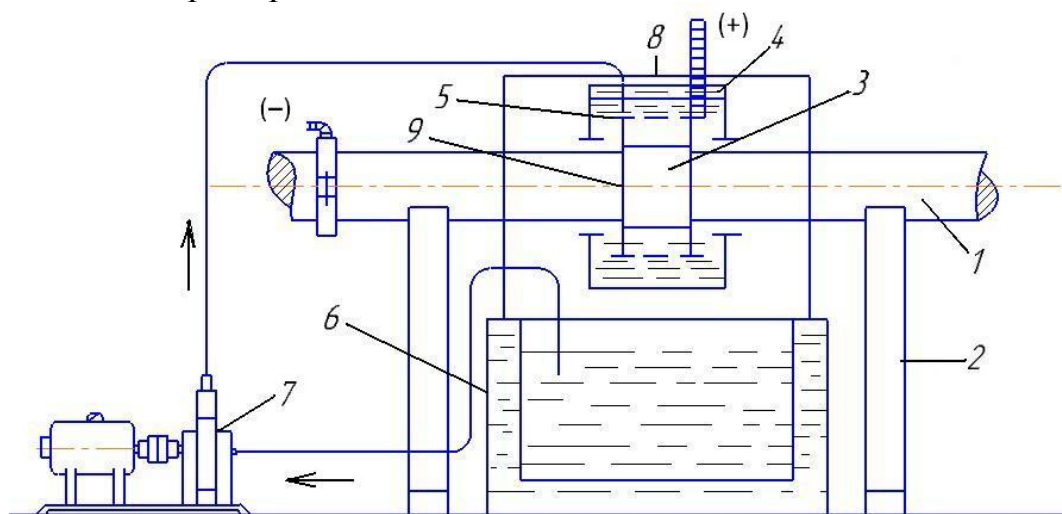
Анодами служат свинцово-оловянистые или свинцово-сурьмянистые сплавы (нерастворимые аноды). Припуск хрома на механическую обработку рекомендуется назначать в пределах от 0,08 до 0,1 мм. Прочность сцепления при хромировании при тщательной подготовке поверхности достигает 30 кг/мм<sup>2</sup>.

В ванне расстояние между анодами и деталями не должно превышать 30-35 мм, расстояние деталей от дна ванны – не менее 100-150 мм, а расстояние деталей от зеркала раствора электролита – не менее 50-80 мм. Уровень электролита должен быть ниже верхних кромок ванны на 100-150 мм. Глубина погружения анодов и деталей в ванну должна быть

одинаковой. Плоские детали в ванне должны быть расположены вертикально, что облегчает свободное удаление пузырьков водорода.

При восстановлении хромированием крупных деталей, не помещающихся в ванне, используют различные конструкции специальных ванн, позволяющих производить вневанное (местное) хромирование или производят хромирование в струе электролита (струйное хромирование).

При вневанном хромировании покрытие хромом производят не в ванне, а в ограниченном объеме электролита, который образуется вспомогательным сосудом или с использованием для этого соответствующих полостей самой детали (например, стенок цилиндров). На рис. 3.9 показана схема установки для вневанного хромирования.



**Рис. 3.9. Схема установки для вневанного хромирования крупногабаритных деталей:**

- 1 – деталь; 2 – стойка; 3 – хромируемая поверхность; 4 – кожух;  
5 – перфорированный анод; 6 – ванна; 7 – насос; 8 – крышка;  
9 – диск винипластовый

Деталь (1) устанавливают над ванной на специальных стойках. Хромируемую поверхность (3) закрывают специальным кожухом (4), являющимся местной ванной для хромируемой поверхности. Его изготавливают обычно из винипласта и размещают так, чтобы электролит из него мог стекать в ванну.

Вокруг хромируемой поверхности размещают кольцевой перфорированный анод (5) из свинцовосурьмянистого сплава. Его надежно изолируют от детали винипластовыми дисками (9). Подогретый в ванне электролит подается насосом (7) в кожух, где и осуществляется электролиз. Для удаления паров электролита должно быть предусмотрено вентиляционное устройство.

### 3.4.2. Железнение (осталивание)

*Железнение* (осталивание) заключается в электролитическом осаждении на поверхности детали железа. Восстановление деталей железнением характеризуется высокими технико-экономическими показателями. Применяется железнение как самостоятельный метод восстановления деталей, а также при создании подслоя для хромирования. Выход металла по току при железнении в 5-7 раз выше, чем при хромировании, процесс требует электроэнергии в 5-6 раз меньше. Толщина покрытия может достигать 3,0 мм, что позволяет восстанавливать детали с большим износом, чем при хромировании. Восстановление деталей железнением примерно в 3 раза дешевле, чем при хромировании.

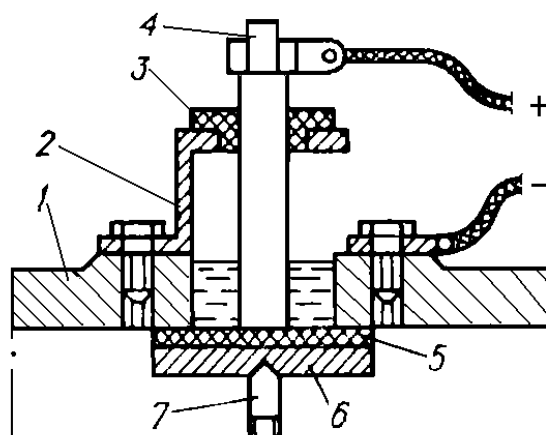
Электролиз железа можно осуществлять из хлористых, сернокислых и борфтористоводородных электролитов. Высокая производительность и хорошее качество покрытия достигается при использовании хлористых электролитов, содержащих хлористое железо ( $\text{FeCl}_2$ ) – 180-200 г/л, хлористый натрий ( $\text{NaCl}$ ) – 80-100 г/л, хлористый марганец ( $\text{MnCl}_2$ ) – 8-10 г/л, соляную кислоту ( $\text{HCl}$ ) – 0,5-1,0 г/л.

Прочность сцепления покрытия со сталью достигает 15-20 кг/мм<sup>2</sup>. Покрытия не отслаиваются даже при пластических деформациях. По физико-механическим свойствам покрытия соответствуют среднеуглеродистым сталям. Твердость покрытий зависит от условий электролиза и изменяется в широких пределах (200-800 НВ).

При железнении применяются растворимые аноды, изготавливаемые обычно из электротехнического железа марки А или из стали марок 10 и 20. Общая площадь анодов должна быть в 2 раза больше площади катодов (деталей).

После подготовки деталей (обезжиривание) перед их покрытием применяется электрохимическое травление, при котором удаляется оксидная пленка и обнажается структура металла для лучшего его сцепления с покрытием.

Восстановление изношенных отверстий корпусных деталей осуществляется методом вневанного железнения (рис. 3.10), при котором гальваническая ванна образуется поверхностью восстанавливаемого отверстия и резиновой пластиной, поджимаемой к торцу отверстия снизу. В ванну (отверстие) заливается электролит и вставляется анод (4). Диаметр анода рекомендуется принимать равным 1/3 диаметра ремонтируемого отверстия. Центрирование анода осуществляется с помощью стойки (2), укрепляемой на корпусе (1).



**Рис. 3.10. Вневанное железнение:**

1 – корпус машины; 2 – стойка; 3 – эбонитовая втулка; 4 – анод;  
5 – резиновая прокладка; 6 – поджимная пластина; 7 – прижимной винт

Для вневанного железнения рекомендуется следующий состав электролита: хлористое железо – 500 г/л; соляная кислота – 1,5-3,0 г/л. Плотность тока – 10-15 А/дм<sup>2</sup>.

Подвесные приспособления для железнения должны обеспечивать жесткое крепление и одинаковое расстояние между поверхностью катода и анодами. Контакты на подвеске и анодах тщательно зачищаются.

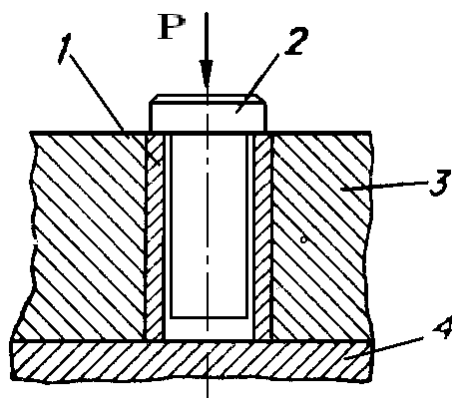
### **3.5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ**

Восстановление деталей при помощи пластических деформаций основано на их способности изменять свою геометрическую форму и размеры без разрушения под действием внешних сил. Процесс деформирования металла при восстановлении деталей подчиняется законам обработки металлов давлением. Метод пластических деформаций применяется для восстановления деталей, изготовленных из пластичных материалов.

Применяются следующие виды восстановления деталей: осадка, обжатие, раздача, правка, накатка. Восстановление проводят как в холодном, так и в горячем состоянии. Термически необработанные стальные детали с малым содержанием углерода, а также детали из цветных металлов восстанавливаются без нагрева. Стальные детали со средним и высоким содержанием углерода (более 0,3%) перед восстановлением нагревают до температуры 800-1100°С. Для осуществления пластических деформаций применяются разнообразные приспособления, штампы и др.

*Осадка* применяется в случаях, когда надо уменьшить внутренний диаметр полых деталей. Эту операцию можно выполнить и без выпрессовки детали (рис. 3.11).



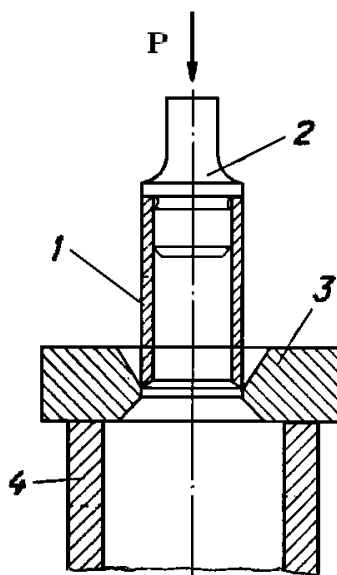


**Рис. 3.11. Схема осадки втулки:**  
 1 – втулка; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – плита

Под действием внешнего усилия (давления прессы) втулка осаживается с торцов, при этом она несколько укорачивается, металл перемещается вовнутрь и уменьшает внутренний диаметр втулки.

Для получения необходимого внутреннего диаметра втулку после осадки развертывают.

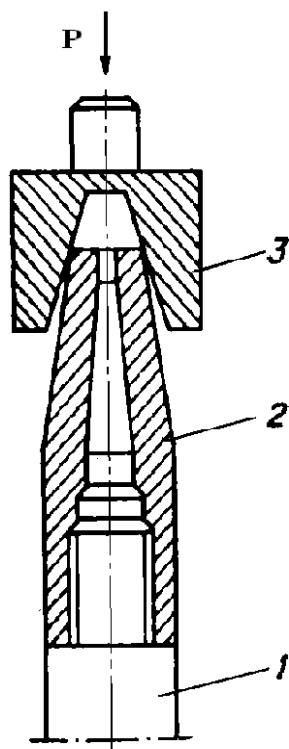
При обжатии восстанавливается внутренний диаметр за счет уменьшения наружного диаметра. Для этого применяется специальное приспособление (рис.3.12).



**Рис. 3.12. Схема обжатия втулки:**  
 1 – втулка; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 - опора

Втулка давлением прессы проталкивается через матрицу (3), имеющую отверстие с конусом, сужающимся книзу. Проходя через отверстие, втулка постепенно обжимается и уменьшается по наружному и внутреннему диаметру. Длина втулки при этом немного увеличивается. Наружный диаметр втулки можно восстановить до номинального размера электролитическим наращиванием металла, металлизацией или другими способами.

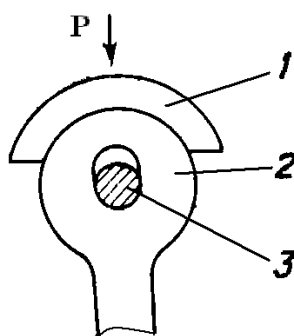
На рис. 3.13 показано приспособление для восстановления мундштука сварочных горелок, у которых в результате износа происходит увеличение диаметра сопла.



**Рис. 3.13. Обжатие сопла:**  
1, 3 – оправка; 2 – мундштук

На сопло мундштука надевается коническая оправка (3), по которой наносятся легкие удары молотком. Сопло при этом обжимается, а его отверстие уменьшается. После обжатия отверстие рассверливается на требуемый размер.

В тяговых устройствах (рис. 3.14) изнашивается отверстие проушины (2), в результате чего изнашивается также соединительный палец (3).



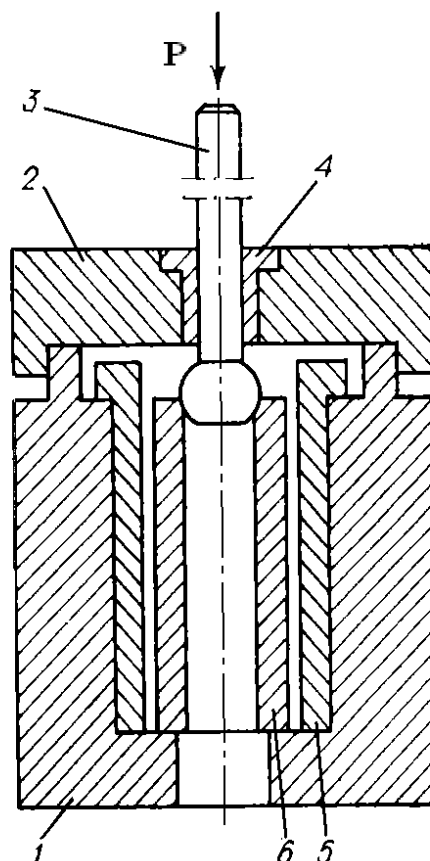
**Рис. 3.14. Восстановление проушины:**  
1 – оправка; 2 – проушина; 3 – палец

При ремонте этого соединения проушину нагревают газовой горелкой, затем при помощи оправки (1) ударами кувалды осуществляется осадка проушины по пальцу. Затем отверстие проушины рассверливают до нужного

размера.

*Раздача* применяется для устранения износа по наружному диаметру детали за счет некоторого уменьшения толщины ее стенок. Раздача применяется для восстановления поршневых пальцев, шлицевых валов, тарелок, клапанов и др.

На рис. 3.15 показано приспособление для раздачи поршневых пальцев.

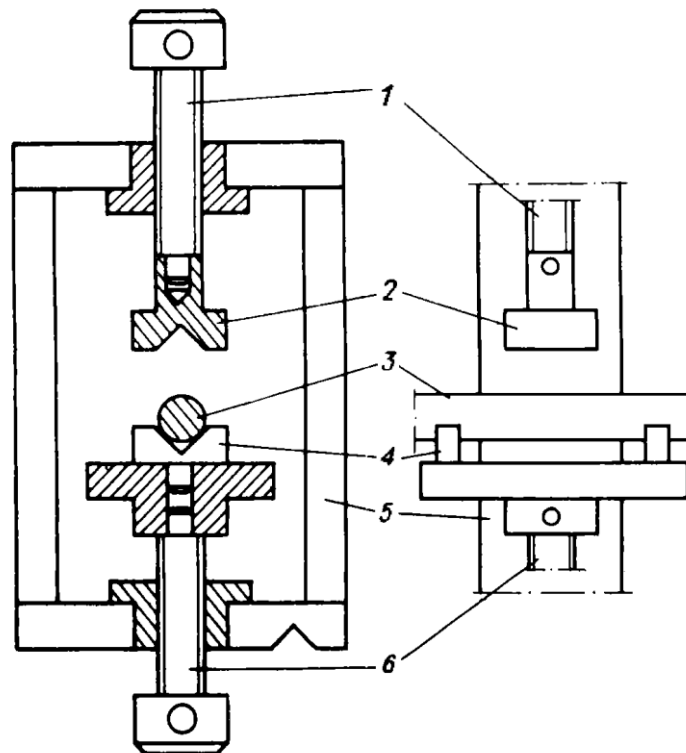


**Рис. 3.15. Приспособление для раздачи поршневых пальцев:**  
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – пуансон; 4 – направляющая втулка;  
5 – матрица; 6 – поршневой палец

Раздачу можно осуществлять в холодном и горячем состоянии. При раздаче в холодном состоянии вследствие наклепа поверхности усталостная прочность пальцев после восстановления повышается, хотя увеличивается при этом опасность возникновения микротрещин. При горячей раздаче поршневые пальцы нагревают до температуры 650-700°С.

*Правку* погнутых деталей – валов, осей, рычагов, кронштейнов, шатунов и т.п. производят в холодном и горячем состоянии при значительных деформациях. При горячей правке деталь нагревают до температурыковки.

Правка валов обычно ведется под прессом, без нагрева. На рис.3.16 показан пресс для правки вала, устанавливаемый непосредственно на направляющие станка.



**Рис. 3.16. Пресс для правки валов:**

1, 6 – подвижные винты; 2, 4 – призмы; 3 – выпрямляемый вал; 5 – рама

Вал устанавливают на призмах стрелой прогиба вверх и выгибают его в противоположную сторону на величину в 2 раза большую, чем величина стрелы прогиба, полученная при деформации во время работы. Правку осуществляют с помощью винта (1), передающего усилие на вал через призму (2). Ход правки контролируют индикатором. Точность правки может быть доведена до 0,02-0,03 мм.

Для правки валов и других элементов оборудования используются также винтовые скобы, домкраты, рычажные захваты и другие приспособления. Крупные валы при малом их прогибе правят термическим методом. Заключается он в быстром местном нагреве выпуклого участка вала, при котором нагретый слой металла получает напряжения выше предела текучести. Нагрев ведут до температуры 550-650<sup>0</sup>С (темно-вишневый цвет).

Правка выпучин и вмятин в корпусах аппаратов и емкостей выполняется с нагревом выпрямляемого участка. Выпучины правятся ударами кувалды по медной подкладке в направлении от периферии выпучины к центру. Нагрев стенок из легированных сталей не допускается, т.к. это может привести к изменению структуры металла.

Примером восстановления деталей пластической деформацией является также накатка деталей, при которой цилиндрическая поверхность изношенной детали обкатывается закаленным рифленным роликом. При этом на поверхности детали образуются углубления, между которыми за счет вытеснения металла образуются выступы, что приводит к увеличению

диаметра детали на 0,1-0,2 мм на сторону.

Износостойкость поверхности деталей, восстановленных таким способом, снижается. Он может быть применен для восстановления деталей неподвижных соединений, работающих в легких условиях.

### **3.6. ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕВ ПРИ РЕМОНТЕ**

Склеивание однородных и разнородных материалов является одним из прогрессивных способов получения неразъемных соединений. При ремонте оборудования склеивание применяют также для восстановления изношенных и поломанных деталей вместо сварки и пайки, для герметизации труб, заделки трещин, приклеивания заплат, компенсаторов износа, заделки вмятин и различных неровностей на поверхности и др. При склеивании имеется возможность соединения разнородных материалов при малой их толщине. Клеевые соединения обеспечивают равномерное распределение напряжений в соединении. К недостаткам клеевых соединений относится относительно низкая прочность на односторонний неравномерный отрыв, меньшая долговечность по сравнению со сварными соединениями, невысокая теплостойкость. Большинство клеев на основе органических полимеров могут длительно работать только при температуре 200-250°C и кратковременно при 300-350°C. Механическая прочность клеевого соединения зависит от природы материала, качества клея, качества подготовки поверхности, условий эксплуатации и др. При использовании одного и того же клея прочность клеевых соединений черных металлов выше, чем клеевых соединений цветных металлов и их сплавов (меди и алюминия).

Клеи представляют собой обычно композиционную систему, состоящую из связующего, растворителя, наполнителя, пластификатора и отвердителя. В машиностроении и ремонтной практике широкое применение получили клеи БФ-2 и БФ-4, представляющие собой спиртовые растворы фенолоформальдегидной смолы, совмещенной с поливинилбутиралем. При помощи этих клеев могут быть склеены металлы, пластмассы, керамика, древесина и другие материалы. Клеевые соединения при этом устойчивы к перепадам температур от -60 °C до +60°C, обладают удовлетворительной водостойкостью, устойчивы при воздействии минеральных кислот и бензина.

Большое распространение при ремонте получили клеи на основе эпоксидных смол. Они отвердевают с небольшими усадками при комнатной и повышенной температурах, обладают хорошими физико-механическими свойствами и адгезией к различным материалам, стойки к минеральным маслам, органическим растворителям, действию разбавленных кислот и щелочей. Прочность клеевого соединения не изменяется до температуры 100°C.

Эпоксидные клеи горячего отверждения обеспечивают более высокую прочность и термостойкость по сравнению с клеями холодного отверждения.

Основным компонентом эпоксидных клеев являются эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6 и ЭД-40, ЭД-41, которые принимаются за 100% по массе. В качестве отвердителя используется малеиновый ангидрид, полиэтиленполиамид, гексометилендиамин и др. Наполнителем чаще всего служит портландцемент, цинковая пудра, при ремонте стальных и чугунных деталей может использоваться железный порошок. Для повышения теплостойкости эпоксидные клеи модифицируют элементоорганическими соединениями.

В ремонтной практике применяется также карбинольный клей, клеи на основе полиамидных смол, различные липкие пленки и т.п.

Технология склеивания включает подготовку поверхности, приготовление клеевых композиций, нанесение их на склеиваемые поверхности, открытую выдержку, сборку и выдержку под давлением при определенной температуре. Для получения хорошего соединения склеиваемая поверхность должна быть тщательно очищена от продуктов коррозии, грязи, жировых загрязнений. Для увеличения площади склеивания поверхностям придается шероховатость путем обработки резцом, напильником или наждачным полотном. Клей наносится кистью или роликом. Затем склеиваемые поверхности совмещаются и стягиваются струбцинами или другими приспособлениями на все время отверждения клея. Время отверждения при комнатной температуре составляет 24 часа, а при подогреве до 120°С – 6-8 часов.

### **3.7. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА РЕМОНТНЫЕ РАЗМЕРЫ**

Обработка на ремонтные размеры применяется для сопряженных деталей с целью восстановления посадки в соединении.

Сущность этого способа заключается в том, что одну сопряженную деталь (сложную в изготовлении и дорогостоящую), например, цилиндр компрессора или вал обрабатывают на новый размер, а вторую сопряженную деталь (более простую в изготовлении и менее дорогую), например, втулку, поршневое кольцо изготавливают заново, но уже на новый размер, обеспечивающий проектную посадку в соединении. Этим методом ремонтируют подшипниковые узлы, блоки цилиндров и поршней поршневых компрессоров, резьбовые соединения и т.п.

Новые размеры деталей соединения отличаются от проектных (номинальных) значений и называются *ремонтными*. Ремонтные размеры устанавливаются для ремонтируемых деталей, изготавливаемых вновь взамен изношенных, и для дополнительных деталей, компенсирующих износ сопряженных пар.

Ремонтные размеры подразделяются на категорийные и пригоночные. *Категорийными* называются окончательные ремонтные размеры деталей, установленные для определенной категории ремонта. *Пригоночными* называются ремонтные размеры деталей, установленные с учетом припуска

на пригонку деталей «по месту», т.е. их не устанавливают заранее, а получают непосредственно в процессе ремонта, когда достигнуто заданное качество, чистота обработки и форма детали.

Когда механической обработке подвергают охватываемую деталь (вал), ремонтные размеры будут меньше номинальных.

При механической обработке охватывающей детали (отверстия) ремонтные размеры будут больше номинальных.

Ремонтные размеры определяются расчетом и назначают исходя из величины и характера износа, а также из минимального припуска на механическую обработку.

При обработке изношенных деталей под ремонтный (категорийный) размер необходимо:

- устранить следы износа (овальность, конусность, задиры и др.), толщина снимаемого слоя металла  $\delta_{изн}$  определяется предельным износом детали (по одну сторону), допускаемой посадкой сопряжения;

- довести обрабатываемую поверхность детали до ближайшего ремонтного размера; толщина снимаемого при этом слоя металла  $\delta_{прип}$  определяется припуском на обработку, величина которого зависит от применяемого способа обработки.

Удвоенная общая толщина снимаемого металла определяет межремонтный интервал  $\Delta$  (интервал между категорийными ремонтными размерами детали):

$$\Delta = 2(\delta_{изн} + \delta_{прип}) . \quad (3.1)$$

Количество категорийных ремонтных размеров для каждой изношенной детали устанавливают исходя из ее предельно допустимого износа по условиям прочности, износостойкости и других параметров.

Для охватываемой детали (вала) износ определяет минимально допустимый размер детали  $d_{min}$ .

Для охватывающей детали (отверстия) – максимально допустимый размер детали  $D_{max}$ .

Предельно допустимые размеры деталей ( $d_{min}$  и  $D_{max}$ ) определяются их конструкцией и особенностями работы совместно с сопряженными деталями. При этом производят проверку допустимости принятых предельных размеров расчетами на прочность, износостойкость, удельное давление и др.

Допускается уменьшение диаметра вала на 10% от первоначального размера.

Увеличение диаметра цилиндра поршневых компрессоров допускается 3-5% от его номинального значения. При достижении этого предела применяется постановка гильзы. Уменьшение толщины стенки после расточки не должно превышать 10% номинальной толщины.

Имея данные о предельно допустимом износе детали и необходимых припусках для ее обработки в ремонтные размеры, можно построить систему ремонтных размеров данной детали, пользуясь следующей методикой.

Межремонтный интервал  $\Delta$  рассматривают как поле одного ремонтного размера. Тогда общее поле ремонтных размеров детали будет являться суммой межремонтных интервалов  $\sum_{n=1}^n \Delta$ , которая в общем виде может быть выражена формулой:

$$\sum_{n=1}^n \Delta = 2 \sum_{n=1}^n (\delta_{узн} + \delta_{прпн}) . \quad (3.2)$$

Допустимая величина общего поля ремонтных размеров детали определяется ее предельно допустимым износом. Однако, учитывая, что последний ремонтный размер детали должен обеспечивать возможность ее износа на величину  $\delta_{узн}$  (на сторону), допустимую величину общего поля ремонтных размеров определяют по формулам:

для охватываемой детали (вала):

$$\left(\sum_{n=1}^n \Delta\right)_d = d_H - d_{\min} - 2\delta_{узн} , \quad (3.3)$$

для охватывающей детали (отверстия):

$$\left(\sum_{n=1}^n \Delta\right)_D = D_{\max} - D_H - 2\delta_{узн} , \quad (3.4)$$

где  $d_H$  и  $D_H$  – номинальные размеры охватываемой и охватывающей деталей, соответственно.

Зная допустимую величину общего поля ремонтных размеров и межремонтный интервал, определяют количество ремонтных размеров, которое в общем виде можно записать:

$$n = \sum_{n=1}^n \Delta / \Delta . \quad (3.5)$$

Расчет количества ремонтных размеров деталей производят по формулам:

для охватываемой детали (вала):

$$n_d = \frac{d_H - d_{\min} - 2\delta_{узн}}{\Delta} , \quad (3.6)$$

для охватывающей детали (отверстия):

$$n_D = \frac{D_{\max} - D_H - 2\delta_{узн}}{\Delta} . \quad (3.7)$$

В диапазоне между номинальным размером новой детали ( $d_H$  или  $D_H$ ) и последним ремонтным размером ( $d_{рп}$  или  $D_{рп}$ ) устанавливают промежуточные ремонтные размеры.

Промежуточные и последние ремонтные размеры определяют по формулам:

для охватываемой детали (вала):

$$d_{рп} = d_H - n\Delta , \quad (3.8)$$

для охватывающей детали (отверстия):

$$D_{рп} = D_H + n\Delta , \quad (3.9)$$

где  $n$  – порядковый номер ремонтного размера.



Порядковый номер ремонтного размера, под который нужно обрабатывать изношенную деталь, определяют при дефектации деталей ремонтируемого оборудования после его разборки. При этом может оказаться, что в результате длительной или неправильной эксплуатации оборудования имел место прогрессирующий износ сопряженных деталей, вследствие чего не представляется возможным применить очередной ремонтный размер и появляется необходимость в обработке детали под следующий ремонтный размер. При обработке деталей на ремонтные размеры сохраняются класс точности и посадки, предусмотренные в рабочих чертежах. Применение способа ремонтных размеров открывает возможность предварительного и централизованного производства заменяемых деталей ремонтных размеров.

На рис. 3.17 в качестве примера приведен чертеж на восстановление детали по методу ремонтных размеров. В таблице приведены численные значения размеров детали по рабочему чертежу и категорийные ремонтные размеры.

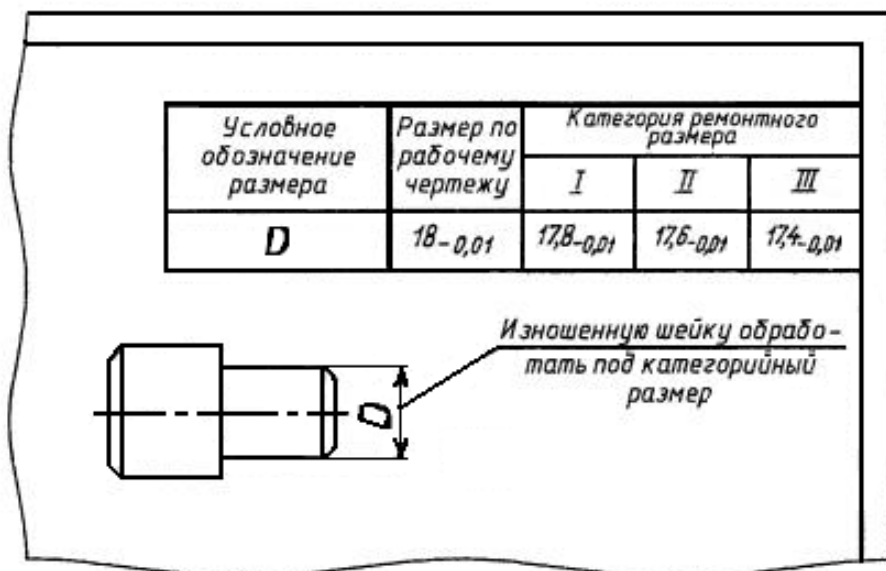


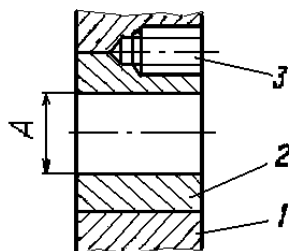
Рис. 3.17. Чертеж на ремонт детали по методу ремонтных размеров

Разновидностью метода обработки на ремонтные размеры является способ постановки дополнительных деталей, что позволяет сохранить обе изношенные детали сопряжения.

Сущность способа заключается в том, что вместо изношенных деталей ставятся детали дополнительные (втулки, кольца, гильзы, диски), которые соединяются с основной деталью сваркой, пайкой, с помощью винтов, штифтов и др.

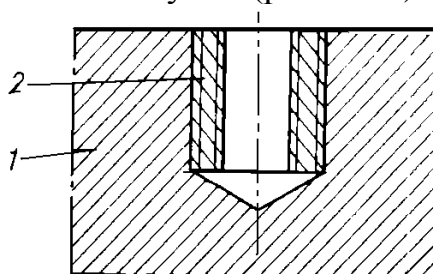
При восстановлении плоских деталей применяют накладки, в качестве которых могут быть использованы различные металлические и неметаллические материалы. Накладки в большинстве случаев улучшают конструкцию, т.к. исполняют роль компенсаторов износа, а при очередном ремонте упрощают восстановление узла.

На рис. 3.18 показана деталь, у которой отверстие имело значительный износ. После расточки отверстия в него запрессована втулка с номинальным размером А.



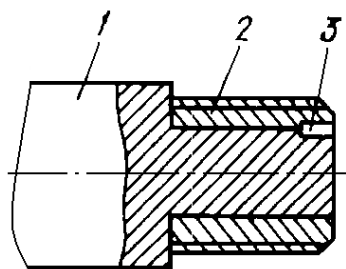
**Рис. 3.18. Установка втулки:**  
1 – деталь; 2 – втулка; 3 – штифт

При износе резьбы в чугунных или алюминиевых деталях, когда диаметр резьбы не может быть увеличен под ремонтный размер, применяется установка свертыша – резьбовой втулки (рис. 3.19).



**Рис. 3.19. Установка свертыша:**  
1 – деталь; 2 – свертыш

Установка втулки используется также при восстановлении резьбовых участков валов (рис. 3.20).



**Рис. 3.20. Установка резьбовой втулки на вал:**  
1 – вал; 2 – втулка; 3 – штифт

Восстановление зубчатых колес производят путем удаления старого венца и постановкой нового с последующей нарезкой на нем зубьев.

При износе цилиндров поршневых компрессоров их восстанавливают запрессовкой гильзы.

Обычно толщина устанавливаемых дополнительных деталей намного превышает величину износа основной детали, это вызывает необходимость снимать с нее значительный слой металла, что несколько снижает ее жесткость. Также к недостаткам метода дополнительных деталей следует

отнести снижение усталостной прочности деталей, а также невозможность применения для восстановления тонкостенных деталей.

### **3.8. НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ**

К другим слесарно-механическим способам ремонта и восстановления деталей, применяющихся в ремонтной практике, относятся: штифтование, чеканка, перевертывание деталей и др.

*Штифтование* применяется для восстановления герметичности таких деталей, как корпуса редукторов, резервуары, если они имеют трещины и пробоины, а также при ремонте деталей, имеющих небольшие трещины. При этом способе вдоль трещины сверлят отверстия, нарезают в них резьбу, а затем ввертывают медные штифты. Отверстия сверлят таким образом, чтобы штифты перекрывали один другой. Концы ввернутых штифтов зачеканивают и пропаивают мягким припоем.

*Чеканка* заключается в уплотнении поверхностных слоев металла с помощью зубила, заточенного под углом  $60^\circ$ .

Эти способы применяют главным образом как способы временного восстановления работоспособности оборудования.

*Перевертывание* деталей используют в тех случаях, когда у детали изнашивается одна сторона. При повороте такой детали на  $180^\circ$  включается в работу другая, неизношенная сторона. Если детали имеют достаточный запас прочности и работают всегда в одном направлении, то такой способ считается технически целесообразным и экономически выгодным.

При ремонте перевертывают рабочие поверхности венцовых и подвенцовых шестерен шаровых мельниц, сушильных барабанов, вращающихся печей, молотки молотковых дробилок и др.

## **Глава 4. ОСНОВНЫЕ РЕМОНТНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

Химическое оборудование, с точки зрения технологии ремонта, может быть разбито на четыре группы: машины, аппараты, промышленные печи и трубопроводы. К машинам относят оборудование, состоящее из деталей механически обработанных, кинематически связанных между собой, имеющих привод (электрический, паровой, гидравлический и др.). Сюда относятся: насосы, компрессоры, вакуум-насосы, центрифуги, дробильно-размольное оборудование, подъемно-транспортные машины, оборудование текстильных цехов предприятий химических волокон и др.

К группе аппаратов может быть отнесено оборудование, состоящее из цилиндрического, сферического или прямоугольного корпуса, снабженное простыми механическими устройствами или без них, например, теплообменная аппаратура, выпарные установки, реакторы, скрубберы,

промывные колонны, отстойники, резервуары и т.п.

На химических заводах ремонту подвергаются трубопроводы – технологические, санитарно-технические и др. К этой группе относятся трубопроводы внутризаводские и межцеховые, разных диаметров и изготовленные из разных материалов.

Особую ремонтную группу представляют промышленные печи. При ремонте печей выполняются работы: футеровочные, изоляционные, строительные, электросварочные и др.

Для каждой группы оборудования может быть своя схема проведения ремонтных работ. Очередность, объем, сроки ремонтных работ зависят от организационной формы ремонтной службы, метода ремонта, а также мощности ремонтной базы предприятия. Работы, проводимые при ремонте всех видов оборудования, независимо от условий, определяющих организационной формой, выполняются в следующей последовательности:

- подготовка оборудования к ремонту;
- технологическая чистка;
- приемка оборудования в ремонт;
- разборка на узлы и детали;
- мойка и чистка разобранных узлов и деталей;
- определение дефектов, сортировка деталей, уточнение ведомости дефектов;
- ремонт деталей и узлов оборудования;
- комплектование оборудования недостающими деталями;
- сборка оборудования и обвязка его трубопроводами;
- выполнение изоляционных и футеровочных работ, сушка;
- апробирование на холостом ходу и испытание аппарата или машины;
- технологическая заправка или разогрев аппарата;
- технологическое апробирование, наладка и сдача в производство.

При разборке и сборке машин и аппаратов применяются различные подъемно-транспортные устройства (краны, тельферы, тали, кран-балки и др.), а также простейшие грузоподъемные механизмы (домкраты, лебедки и др.). Находят применение также автомобильные краны, краны на гусеничном ходу, козловые и др. Для обеспечения возможности при сборке установить сопряженные детали в первоначальное положение, соответствующее их взаимной приработке, взаимное положение деталей при разборке фиксируют нанесением рисок, кернением или краской.

При разборке детали очищают от нагара, грязи и масла механическим способом (скребками, стальными щетками и др.) или химическим – погружением деталей в ванну с моющим раствором. После обработки раствором детали промывают в горячей воде. Наиболее распространенным является моющий раствор, состоящий из 24 г каустической соды, 35 г кальцинированной соды, 1,5 г жидкого стекла и 25 г жидкого мыла в 1 л воды. Широко применяется промывка деталей в керосине. Для очистки аппаратуры от твердых отложений применяется 5%-й раствор соляной

кислоты с добавкой ингибиторов коррозии.

Для очистки трубопроводной арматуры и мелких деталей оборудования используются моечные установки проходного типа, в которых моющий раствор с температурой 80-90<sup>0</sup>С подается через форсунки.

После обработки моющим раствором детали промывают в горячей воде, а затем сушат.

При разборке и сборке соединений применяют ручные гаечные ключи, а в труднодоступных местах - накидные и торцевые ключи. Широко применяются динамометрические ключи, ключи-мультипликаторы, гайковерты-увеличители крутящего момента.

При разборке – сборке аппаратов высокого давления вследствие больших размеров крепежных деталей требуется создание значительных крутящих моментов для затяжки при сборке.

Ручными операциями невозможно обеспечить равномерность усилий затяжки, что приводит к перенапряжению отдельных деталей и их износу. Кроме того, ручные операции физически тяжелые и трудоемкие. Для таких операций целесообразно применение гидравлических ключей и гайковертов.

Выпрессовка деталей с неподвижными посадками производится с помощью специальных съемников, прессов. Съемники бывают универсальные и специальные.

Универсальные съемники применяют для демонтажа деталей с определенным диапазоном диаметров, специальные – для снятия деталей определенного класса. Для запрессовки деталей используются ручные винтовые, рычажно-реечные и гидравлические прессы.

При запрессовке подшипников качения их нагревают в масляной ванне до 80-100<sup>0</sup>С.

При сборке любого узла необходимо соблюдать не только последовательность сборки, но и контролировать взаимное положение деталей (соблюдение зазоров и посадок, перпендикулярности и параллельности осей и т.п.).

При ремонте оборудования проводится трехступенчатая дефектация. Перед остановкой оборудования на ремонт проводится предварительная дефектация, а при разборке – поузловая и поддетальная. При предварительной дефектации выявляются наиболее вероятные места нарушения правильности сопряжения сборочных единиц и деталей между собой. При этом должны анализироваться записи в сменных журналах по учету выявленных дефектов и работ технического обслуживания. При поузловой дефектации выявляются отклонения узлов от заданного взаимного положения.

При дефектации деталей производится измерение размеров и определение отклонений от первоначальной геометрической формы. Видимые повреждения (трещины, следы коррозии, надломы и др.) определяются визуальным осмотром деталей. Визуально фиксируется также состояние крепежных деталей, предохранительных устройств, рабочих поверхностей и др.

При дефектации определяется состояние деталей, степень их износа и возможность повторного использования.

Все детали сортируются на три группы:

- детали, имеющие износ в пределах допуска и годные для повторного использования без восстановления;
- детали, имеющие износ выше допустимого, но пригодные для восстановления;
- детали, имеющие износ выше допустимого, но не пригодные к восстановлению.

Для определения состояния деталей и степени их износа применяют измерительный инструмент, калибры, индикаторы и т.п. Скрытые дефекты деталей выявляются с применением дефектоскопии (магнитной, ультразвуковой, капиллярной, радиационной и др.).

После сборки машины и аппарата производятся их испытания.

Испытания аппаратов на герметичность и прочность проводят гидравлическим или пневматическим методами. По условиям безопасности предпочтение отдается гидравлическим испытаниям.

Машины испытывают (обкатывают) на холостом ходу и под нагрузкой согласно требованиям нормативных документов. При испытании оборудования выявляют и устраняют недостатки, допущенные при ремонте и монтаже.

Рассмотрим пример ремонта аппарата колонного типа.

Колонные аппараты широко применяются для проведения массообменных и теплообменных процессов (ректификация, абсорбция и др.). Они подразделяются на царговые, состоящие из отдельных царг, и цельносварные. В зависимости от конструкции внутренних устройств колонны бывают тарельчатые и насадочные. Для удобства разборки и сборки при ремонте тарелки изготавливают из отдельных сегментов.

Подготовительные к ремонту работы выполняет эксплуатационный и дежурный ремонтный персонал (аппаратчики, слесари и др.) под руководством ответственного за подготовку к ремонту лица (начальника смены, установки).

Подготовительные работы включают: удаление продукта, отключение аппарата от трубопроводов с постановкой заглушек, пропарку, промывку колонны, проветривание с целью ее охлаждения и доведение концентрации вредных веществ до допустимых санитарных норм. После окончания проветривания производится забор проб воздуха для анализа, взятых на разных высотных отметках.

К работам внутри колонны разрешается приступать только тогда, когда анализ покажет, что концентрация газов и паров в ней не превышает предельно допустимых санитарных норм.

Учет постановки заглушек ведется в специальном журнале, где

указывается дата, время, место постановки и фамилия лица, выполнявшего эту работу.

После выполнения подготовительных операций открываются люки колонны. Люки необходимо открывать в строгой последовательности, начиная с верхнего для предотвращения потока воздуха через колонну при одновременном открытии нижнего и верхнего люков.

При ремонте насадочных колонн основными работами являются: очистка внутренних устройств аппарата, выгрузка, промывка, сортировка и загрузка насадки.

Для выгрузки и загрузки насадки применяют емкости (бадьи) с открывающимся днищем и сменные или стационарные лотки. При выполнении этих операций важно исключить возможность разрушения насадки.

Для исключения этого при выгрузке насадки в конце лотков применяют устройства, гасящие скорость падающих элементов насадки. При загрузке насадки колонну предварительно заполняют водой.

Тарелки разбираются внутри колонны, выносятся через люки на обслуживаемые площадки и транспортируются для чистки и ремонта. Часто оказывается возможным производить чистку тарелок внутри аппарата или на площадке для обслуживания.

Спуск секции тарелок, насадки и подъем после чистки и ремонта осуществляется с помощью стреловых, башенных и других типов кранов или с помощью кран-укосины нужной грузоподъемности, закрепленной в верхней части колонны.

Кран-укосина через систему направляющих блоков канатом соединяется с лебедкой, установленной на земле на необходимом расстоянии от работающих аппаратов и ремонтируемой колонны. Лебедка должна иметь достаточное тяговое усилие и канатоемкость, чтобы обеспечить подъем груза определенной массы с нулевой отметки на требуемую высоту.

Ремонт тарелок связан в основном с их чисткой, заваркой образовавшихся трещин, ремонтом или заменой изношенных элементов, устранением образовавшихся выпуклостей, вогнутостей, правкой вмятин и др.

После ремонта тарелки устанавливаются в корпус колонны и проверяются на равномерность газораспределения по всей плоскости тарелки.

Проверка осуществляется визуально. Для этого в нижнюю часть колонны воздуходувкой (вентилятором) подается воздух, а испытываемая секция заливается водой. При этом все люки, расположенные ниже испытываемой тарелки, должны быть закрыты. Равномерность барботажа свидетельствует о правильной сборке и монтаже тарелки.

Ситчатые тарелки устанавливают строго горизонтально, что обеспечивает равномерное газораспределение. Даже при небольшом наклоне тарелки большая часть газа пойдет через приподнятый участок.

По этой же причине у ситчатых тарелок недопустимы местные деформации – выпуклости и вогнутости. Горизонтальность установки тарелок контролируется уровнем.

Для колпачковых тарелок допускается небольшая негоризонтальность, так как нормальный режим барботажа можно обеспечить регулировкой высоты колпачков.

Сборка и установка колпачковых тарелок является наиболее сложной и ответственной операцией.

Для правильной установки необходимо выполнение следующих условий:

- верхние срезы стаканов должны лежать в одной плоскости (допускается отклонение  $\pm 1,0$  мм.);
- расстояние от нижнего среза колпачка до верхнего среза стакана должно быть одинаковым по всему периметру колпачка и всех колпачков тарелки;
- верхний срез переливной трубы, должен быть ниже среза колпачка на проектную величину с допуском  $\pm 1,0$  мм.

Для проведения внутреннего осмотра и ремонта корпуса колонн требуется сооружение специальных лесов внутри аппарата или используют специальную подвесную платформу, элементы которой через люк подаются в аппарат и собираются внутри аппарата.

С помощью грузоподъемного механизма, установленного в верхней части колонны, платформа может подниматься и опускаться на заданную высоту, что позволяет производить очистку внутренней поверхности колонны, производить осмотр сварных швов. Сомнительные участки швов проверяют принятыми методами дефектоскопии. Обнаруженные дефектные участки вырубают, зачищают и вновь заваривают.

Особое внимание должно уделяться ревизии и ремонту штуцеров и люков. Дефектные штуцера и люки заменяют новыми с установкой укрепляющих колец.

Уплотнительные поверхности фланцев не должны иметь задиров, забоин, радиальных рисок и других дефектов. Обнаруженные дефекты устраняют шлифовкой с применением переносных электрических ручных шлифовальных машин.

При ремонте все прокладки, как правило, заменяются новыми. Они должны быть из соответствующего материала, определенной толщины, и вырезаны точно по диаметру уплотнительной поверхности.

У колонных аппаратов больше всего подвержены коррозии днища, в которых образуются застойные зоны. Операцию по замене днища можно выполнять без демонтажа колонны. Для этого к верхней части колонны крепится опорная площадка, под которую подводят домкраты. Нижняя часть колонны (днище) отрезается и после подъема верхней части на высоту 100 мм – удаляется. После подведения новой нижней части верхняя часть опускается и сваривается с нижней.



Операция по замене днища весьма сложная и ответственная, требуется выполнение необходимых расчетов, разработки технической документации, соблюдения дополнительных мер безопасности.

После окончания ремонта проводятся испытания колонны на прочность и герметичность гидравлическим или пневматическим методами.

## **Глава 5. РЕМОНТНЫЕ ЧЕРТЕЖИ**

### **5.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

К ремонтным чертежам относятся чертежи, предназначенные для ремонта деталей, сборочных единиц, для сборки и контроля отремонтированного изделия, изготовления дополнительных деталей и деталей с ремонтными размерами.

Рабочие чертежи сменных деталей служат для изготовления по ним новых деталей для замены износившихся или запасных частей. Изготовленные по ним детали должны соответствовать по качеству и размерам деталям, из которых была собрана новая машина. Однако иногда ремонт машины путем замены изношенных деталей новыми, изготовленными по рабочим чертежам, технически невозможен или экономически нецелесообразен, а более экономичным оказывается применение при ремонте восстановленных деталей или деталей, изготовленных с другими размерами, отличными от первоначальных. В таких случаях разрабатываются ремонтные чертежи.

При разработке ремонтных чертежей деталей следует исходить из принципов сохранения взаимозаменяемости деталей и узлов, предусматривая такой ремонт деталей, при котором будут восстановлены их первоначальные размеры. Изготавливать детали с категорийными или пригоночными размерами следует лишь в отдельных случаях, когда это диктуется соображениями технического и экономического порядка.

Ремонтные чертежи составляют на основе: рабочих чертежей, предназначенных для изготовления изделия; анализа допусков; дефектных ведомостей и перечня типовых неисправностей или величины износа отдельных деталей в зависимости от сроков их работы, установленных изучением эксплуатационных данных для каждого изделия; проверенных на практике способов ремонта. В комплект ремонтных чертежей изделия, кроме чертежей, перечисленных выше, входят:

- чертеж габаритный, если в результате ремонта должны измениться габаритные размеры изделия;

- чертеж монтажный, если в результате ремонта составных частей изделия изменяются графически изложенные условия монтажа по сравнению с условиями в монтажных чертежах, входящих в комплект конструкторской рабочей документации;

- схемы, если в процессе ремонта в различные схемы (электрическую, кинематическую и др.) должны быть внесены изменения;
- ведомость ссылочных документов, если в перечисленных документах имеются ссылки на документы, которые не входят в комплект ремонтных документов изделия;
- рабочие чертежи для изготовления инструментов и принадлежностей, входящих в состав запасных инструментов и принадлежностей (ЗИП), если в результате ремонта изделия требуется применять инструменты и принадлежности с измененными присоединительными размерами.

Допускается в комплект ремонтных чертежей включать анализы размерных и кинематических цепей, расчеты отремонтированных деталей и сборочных единиц на прочность, инструкции по ремонту и пр.

На чертежах габаритных, монтажных, схемах, входящих в комплект ремонтной документации, помещают только те данные, которые отличны от заданных соответствующих документов, входящих в комплект рабочей документации.

## 5.2. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОТНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

На ремонтных чертежах указывают только размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия.

На детали, которые при ремонте не могут быть разъединены (неразъемные соединения), отдельные чертежи не выпускают. Указания по ремонту таких деталей приводят на ремонтном чертеже соответствующей сборочной единицы с добавлением отдельных изображений, поясняющих сущность ремонта.

На ремонтных чертежах (за исключением чертежей на вновь изготавливаемые детали и сборочные единицы) изображают только те виды, разрезы и сечения, которые необходимы для проведения ремонта детали или сборочной единицы.

На ремонтных чертежах, как правило, представляют цифровые предельные отклонения размеров.

Места, подлежащие ремонту, выполняют сплошной основной линией, остальные изображения – сплошной тонкой линией (рис. 5.1).

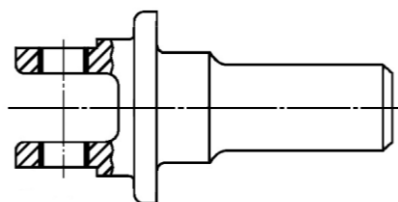


Рис. 5.1

Если у отдельных элементов ремонтируемой детали меняется конфигурация, то измененную часть детали показывают на чертеже

сплошной основной линией, а неизменную часть – сплошной тонкой линией (рис. 5.2).

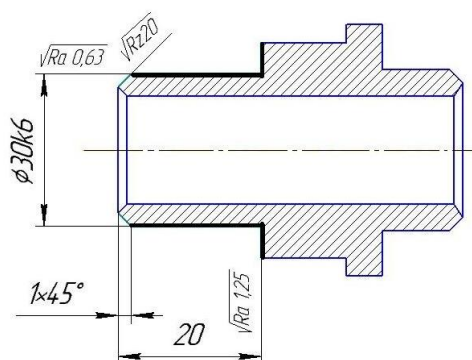


Рис. 5.2

На чертеже детали, ремонтируемой сваркой, наплавкой, нанесением металлопокрытий и т.п., рекомендуется выполнять эскиз подготовки соответствующего участка детали к ремонту (рис. 5.3).

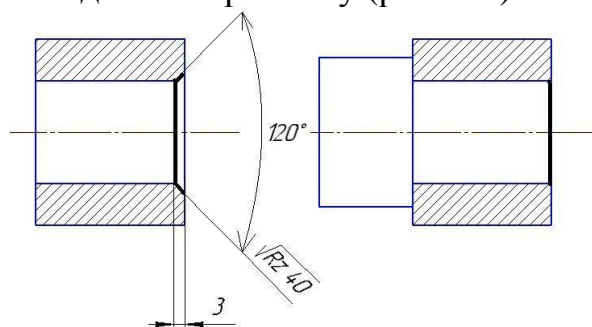


Рис. 5.3

При применении сварки, пайки и т.п. на ремонтном чертеже указывают наименование, марку, размеры материала, используемого при ремонте, а также номер стандарта на этот материал (рис. 5.4).

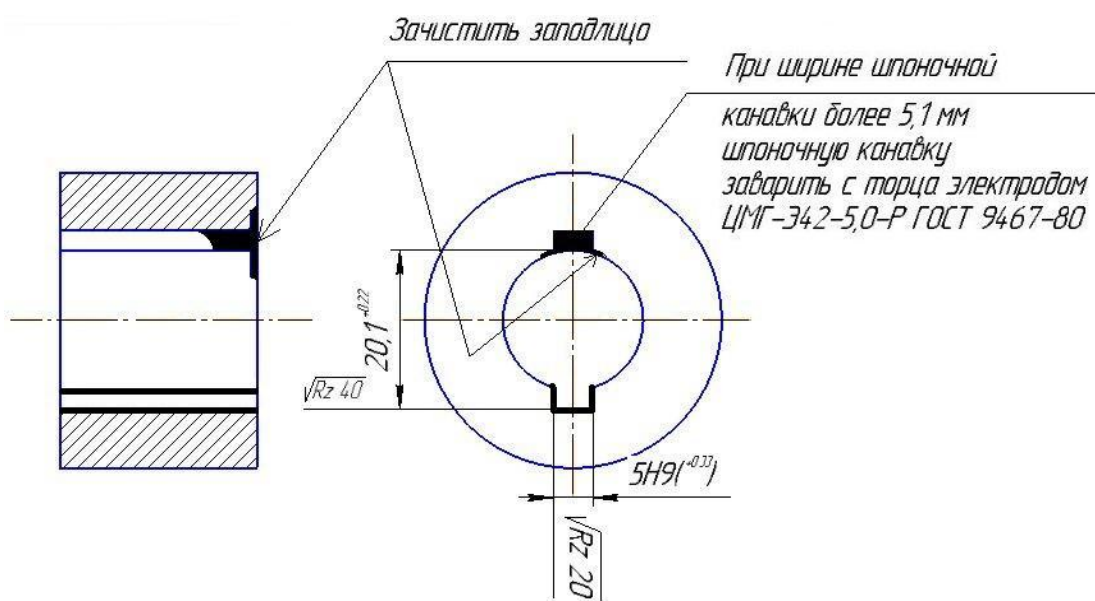


Рис. 5.4

Если при ремонте детали удаляют изношенную часть и заменяют ее новой (рис. 5.5), то на эскизе подготовки детали к ремонту удаляемую часть детали изображают штрих-пунктирной тонкой линией (рис. 5.6).

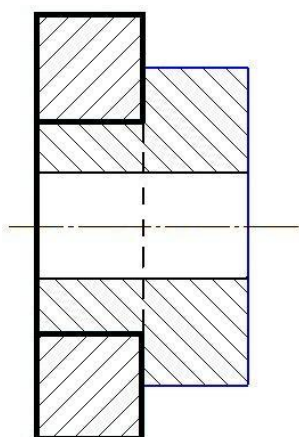


Рис. 5.5

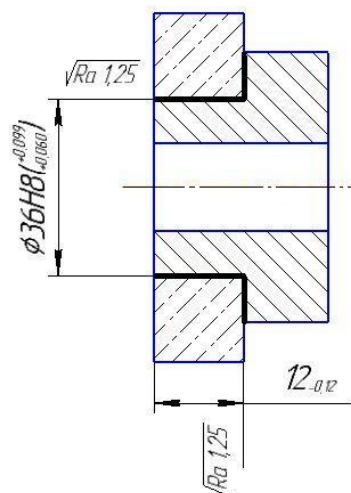


Рис. 5.6

Заготовку для новой части детали вычерчивают на отдельном чертеже.

На ремонтном чертеже детали, для которой установлены пригоночные размеры, при необходимости указывают установочные базы для пригонки детали «по месту». На ремонтных чертежах категорийные и пригоночные размеры, а также размеры детали, ремонтируемой снятием минимально необходимого слоя материала, проставляют буквенными обозначениями, а их числовые величины и другие данные указывают на линиях-выноски (рис.5.7) или в таблице.

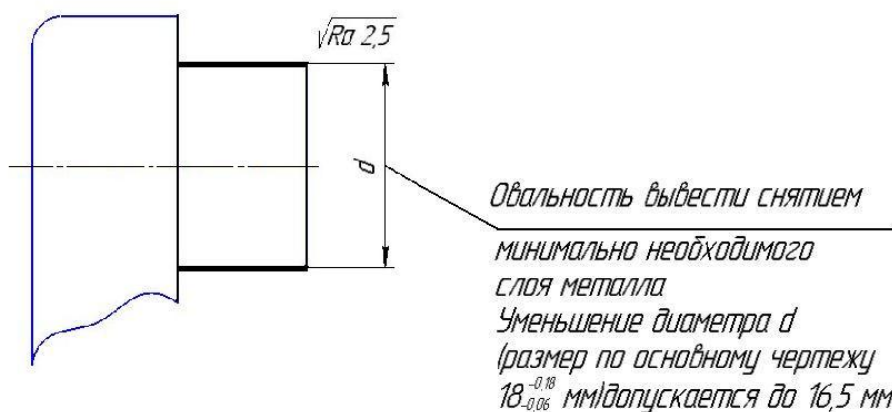


Рис. 5.7

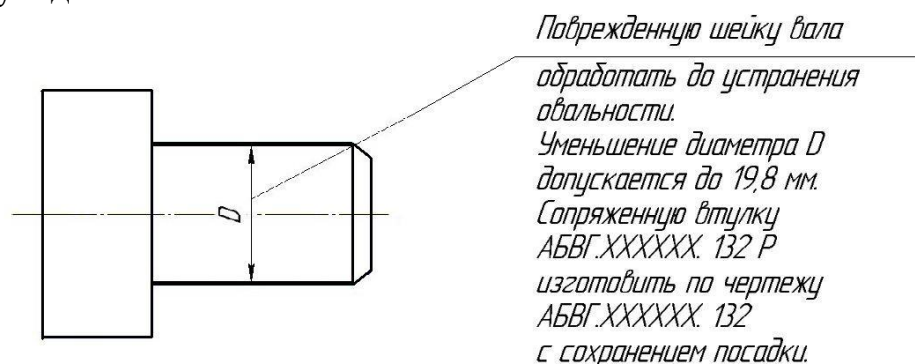
В сопряженных деталях с категорийными размерами на ремонтных чертежах сохраняют класс точности и посадку, предусмотренные в рабочих чертежах. На ремонтных чертежах деталей и сборочных единиц для определения способа ремонта помещают технологические требования и указания, которые являются единственными для восстановления эксплуатационных характеристик изделия.

Технологические требования, относящиеся к отдельному элементу детали или сборочной единицы, помещают на ремонтном чертеже, как правило, рядом с соответствующим элементом или участком детали или сборочной единицы.

На ремонтном чертеже одновременно можно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали с соответствующими разъяснениями на чертеже. На каждый принципиально отличный вариант ремонта детали или сборочной единицы выполняют отдельный чертеж.

Если при ремонте детали в нее необходимо ввести дополнительные детали (втулку, стопорный винт и т.п.), то ремонтный чертеж выполняют как сборочный.

Если на ремонтном чертеже одной детали дано исчерпывающее указание об изготовлении другой (сопряженной) детали по рабочей конструкторской документации (рис. 5.8) и эта документация включена в комплект документов для ремонта изделия, то отдельный ремонтный чертеж на сопряженную деталь не выполняется.



**Рис. 5.8**

Ремонтные чертежи обозначают добавлением к обозначению детали или сборочной единицы буквы Р (ремонтный). Ремонтный чертеж с одним категорийным размером получают добавлением к обозначению ремонтного чертежа цифр 1, 2, 3 и т.д. соответственно категории ремонтного размера детали, изображенной на чертеже. Ремонтный чертеж с несколькими категорийными размерами детали обозначают добавлением к обозначению этой детали дроби, в числителе которой стоит буква Р и цифра, соответствующая первой категории ремонтного размера детали, а в знаменателе – буква Р и цифра, соответствующая второй или третьей и т.д. категории ремонтного размера детали.

Обозначение ремонтного чертежа с пригоночным размером получают добавлением буквы П к обозначению ремонтного чертежа детали.

## Глава 6. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

### 6.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Техническая диагностика* – это область знаний, охватывающая теорию, методы и средства, определяющие техническое состояние объекта. Она является одним из основных элементов системы управления промышленной безопасностью.

Уровень безопасности связан со свойствами перерабатываемых материалов и условиями эксплуатации оборудования, его техническим состоянием.

Общие требования по безопасности промышленных объектов устанавливаются законами Российской Федерации «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», которые обязывают организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты, проводить диагностику и испытание технических устройств, оборудования и сооружений в установленные сроки и в установленном порядке.

Закон направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах.

Опасными производственными объектами могут быть предприятия или их отдельные цехи, участки, площадки и др.

*Промышленная безопасность* опасных производственных объектов – это состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий.

*Экспертиза промышленной безопасности* – это определение соответствия объектов экспертизы промышленной безопасности предъявляемым к ним требованиям промышленной безопасности.

Объектами технического диагностирования являются технические устройства или их составные части (машины, агрегаты, аппаратура, механизмы и др.), применяемые при эксплуатации опасного производственного объекта.

Под *техническим состоянием* объекта понимается состояние, которое характеризуется в определенный момент времени значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Различают следующие виды технического состояния объекта:

- исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации;

- неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации;

- работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и

(или) конструкторской документации;

- неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации;

- предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению или восстановление недопустимо или нецелесообразно из-за неустраняемого снижения безопасности или эффективности работы.

Исправный объект всегда является работоспособным и в то же время работоспособный объект может быть неисправным.

Неисправный объект может сохранять свою работоспособность, если неисправности незначительные и не нарушают функционирование объекта.

В результате прекращения функционирования узла или машины в целом возникает отказ.

Техническое состояние объекта непостоянно. Оно может изменяться за время эксплуатации под воздействием рабочей среды, статических и динамических нагрузок, в результате старения конструкционных материалов, износа и др.

Основное назначение технической диагностики состоит в повышении надежности объектов на стадии их производства, эксплуатации и хранения.

Целью технической диагностики является поддержание установленного уровня надежности, обеспечения требований безопасности и эффективности использования изделий. Основной задачей технической диагностики является распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации.

Диагностирование осуществляется либо человеком непосредственно (например, внешним осмотром визуально, «на слух» и т.д.), либо при помощи приборов и аппаратуры.

Диагностика технического состояния оборудования потенциально опасных производств является обязательной в следующих случаях:

- по истечении нормативного ресурса;
- после капитального ремонта;
- после устранения аварий;
- при эксплуатации оборудования в условиях и режимах, не предусмотренных назначением и регламентом его эксплуатации;
- при приемно-сдаточных испытаниях (в том числе при применении импортного оборудования);
- если эксплуатирующая организация сомневается в дальнейшей безопасной эксплуатации оборудования или отсутствует техническая документация.

Совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования по правилам, установленным в технической документации, составляет *систему технического диагностирования*. В

основе работы любой диагностической системы лежит процесс измерения с помощью измерительных устройств и приборов.

Система технического диагностирования должна иметь информационное, техническое и математическое обеспечение, на основе которых принимают решение о состоянии объекта, возможности его дальнейшей эксплуатации, необходимости замены или ремонта.

В разработке средств диагностирования и самом диагностировании участвуют эксперты-специалисты в предметной области решаемой проблемы, обладающие необходимой квалификацией, подтвержденной аттестацией.

Использование систем технического диагностирования позволяет продлить срок службы оборудования и эксплуатировать его до наступления предельного состояния.

## **6.2. ПРОГРАММА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Техническое диагностирование выполняется по программе с учетом особенностей конструкции и условий эксплуатации технического устройства и включает следующие мероприятия:

- анализ технической и эксплуатационной документации, содержащей информацию о техническом состоянии и условиях эксплуатации;
- анализ результатов контроля металла и сварных соединений (натурные обследования);
- анализ результатов исследования структуры и свойств металла для оборудования, работающего в условиях ползучести;
- расчет на прочность с определением остаточного ресурса и (или) остаточного срока службы, а также при необходимости циклической долговечности;
- обобщающий анализ результатов контроля, исследования металла и расчетов на прочность с установлением назначенного ресурса или срока службы.

Техническое диагностирование проводит специализированная организация, имеющая лицензию на проведение экспертизы промышленной безопасности.

Аналізу подлежат следующая техническая и эксплуатационная документация:

- паспорт технического устройства;
- эксплуатационные документы, содержащие методику проведения контрольных испытаний этого устройства и его основных узлов, ресурс и срок эксплуатации, порядок, объем, сроки технического обслуживания, ремонта и диагностирования;
- сертификаты утверждения типа средств измерения;
- акты испытаний, проводимых в процессе эксплуатации технического устройства;



- сертификаты соответствия и разрешение на применение;
- акты, отчеты о выполненных работах при проведении капитальных ремонтов и реконструкции технического устройства;
- комплект чертежей с указанием основных технических решений и всех изменений, внесенных при производстве работ, и отметок о согласовании этих изменений с проектной организацией, разработавшей проект технического устройства, а также организации-изготовителя;
- проектные данные, устанавливающие технологические параметры эксплуатации технического устройства, оснащение его средствами контроля и безопасности, автоматического регулирования технологических параметров;
- акты расследования аварий и инцидентов, связанных с эксплуатацией технического устройства;
- документы, отражающие фактические технологические параметры работы оборудования (технологический регламент на производство продукции, паспорт технического устройства);
- заключение ранее проводимых экспертиз промышленной безопасности данного технического устройства и сведения о выполнении рекомендаций, направленных на обеспечение его безопасной эксплуатации;
- документы, подтверждающие сроки эксплуатации технического устройства, периодичность проведения экспертизы и методики оценки его технического состояния.

По результатам анализа технической и эксплуатационной документации уточняется программа экспертизы промышленной безопасности.

Обследование объекта технического диагностирования осуществляют в несколько этапов. Сначала проводят визуально-измерительный контроль, измерение геометрических параметров объекта (овальность, прямолинейность и др.) и размеров выявленных дефектов. Далее выполняют толщинометрию и дефектоскопию элементов и участков объекта, выявленных по результатам анализа технической, эксплуатационной документации и уточненных при визуально-измерительном контроле.

При необходимости проводят исследование структуры, определение химического состава и механических свойств материалов.

В большинстве случаев натурное обследование завершают испытанием объекта под нагрузкой на прочность, устойчивость и герметичность. По завершении испытаний проводят расчет на прочность и расчет остаточного ресурса.

Объект считается работоспособным, если его несущие элементы имеют запас прочности выше нормативных значений. Если расчетный запас прочности ниже установленных норм, то принимается решение о снижении рабочих параметров диагностируемого объекта или выводе его из эксплуатации.

В зависимости от конструктивного исполнения конкретного объекта в

программу диагностирования вносят изменения и дополнения, учитывающие проведение дополнительных исследований и применения различных методов неразрушающего контроля.

### **6.3. ЭКСПЕРТИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Экспертиза промышленной безопасности проводится с целью определения соответствия объекта экспертизы, предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности.

Объектами экспертизы промышленной безопасности являются:

- проектная документация на капитальный ремонт, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию химических, нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих объектов;
- технические устройства, применяемые и предназначенные для применения на химических, нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих опасных производственных объектах;
- здания и сооружения на химических, нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих опасных производственных объектах.

Экспертизе промышленной безопасности подлежат технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте (если техническим регламентом не установлена иная форма оценки соответствия указанного устройства обязательным требованиям):

- до начала применения на опасном производственном объекте;
- при отсутствии паспорта на техническое устройство;
- по истечении срока службы или при превышении количества циклов нагружения технического устройства установленных его изготовителем;
- при отсутствии в технической документации данных о сроке службы технического устройства, если фактический срок его службы превышает двадцать лет;
- после проведения ремонтно-сварочных работ, связанных с изменением конструкции, заменой материала несущих элементов технического устройства, после аварии или инцидента на опасном промышленном объекте, в результате которых было повреждено такое техническое устройство.

Экспертиза промышленной безопасности технических устройств состоит из следующих основных этапов:

- предварительный этап;
- техническое диагностирование;
- оценка результатов экспертизы;
- оформление, согласование и утверждение заключения результатов экспертизы.

Предварительный этап включает в себя рассмотрение письменной заявки, содержащей первичную информацию об объектах экспертизы: тип, название, техническое назначение, параметры работы (давление,

температура, среда, наличие циклических нагрузок и др.), сведения о конструкции (размеры, материал и др.), причина необходимости проведения экспертизы.

Письменная заявка является исходной информацией для составления программы работ.

Техническое диагностирование проводит специализированная организация, имеющая лицензию на проведение экспертизы промышленной безопасности в соответствии с программой, согласованной с заказчиком экспертизы и утвержденной руководителем экспертной организации.

Отчетные материалы по отдельным видам работ оформляются согласно требованиям соответствующего нормативного документа на данный вид работы.

Если при проведении экспертизы выявлены несоответствия или дефекты, свидетельствующие о невозможности дальнейшей эксплуатации объекта без проведения ремонтных работ, объект должен быть выведен из технологического цикла и эксплуатация его должна быть приостановлена. Информация о невозможности дальнейшей эксплуатации объекта экспертизы передается в территориальный орган Ростехнадзора.

После проведения всех работ по техническому диагностированию объекта экспертизы исполнитель выдает заказчику замечания, выявленные в результате обследования, которые надо устранить.

После устранения выявленных замечаний заказчик официально информирует об этом исполнителя. После проверки информации заказчика об устранении замечаний оформляется заключение экспертизы промышленной безопасности, содержащее выводы о соответствии объекта экспертизы требованиям промышленной безопасности и возможности продления срока безопасной эксплуатации.

#### **6.4. ДЕФЕКТЫ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Техническое состояние оборудования определяется количеством дефектов и степенью их опасности. Дефектом считается каждое отдельное несоответствие или недопустимое отклонение объекта установленным требованиям нормативно-технической документации.

Дефекты могут проявляться как в основном металле, так и в сварных швах.

По степени влияния на работоспособность объекта дефекты бывают *недопустимые* и *допустимые*, которые не оказывают существенного влияния на работу оборудования и оговариваются в нормативно-технической документации.

Дефекты бывают явные, скрытые, поверхностные, внутренние, сквозные, единичные, групповые, исправимые, неисправимые и др.

По происхождению дефекты бывают металлургические,

технологические, эксплуатационные, конструкционные и др.

*Металлургические дефекты* возникают при получении заготовок литьем и при прокатке металла.

*Технологические дефекты* возникают при механической обработке заготовок, при сварке, термической и химико-термической обработке и т.д.

*Эксплуатационные дефекты* возникают в результате износа, коррозии металла, усталостных процессов, а также при нарушении правил технической эксплуатации оборудования и его технического обслуживания.

*Конструкционные дефекты* являются следствием несовершенства конструкции или из-за допущенных ошибок на стадии конструирования.

В сварочном производстве выделяют следующие типы дефектов:

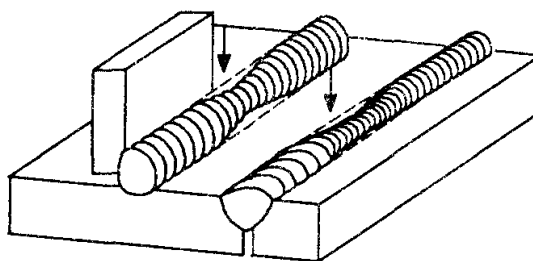
- дефекты подготовки и сборки изделий под сварку;
- дефекты формы шва;
- наружные и внутренние дефекты.

Характерными видами дефектов подготовки и сборки являются: неправильный угол скоса кромок у свариваемых элементов; непостоянство зазора между кромками по длине свариваемых элементов; слишком большой зазор между кромками и др.

По расположению в изделии дефекты бывают наружные и внутренние.

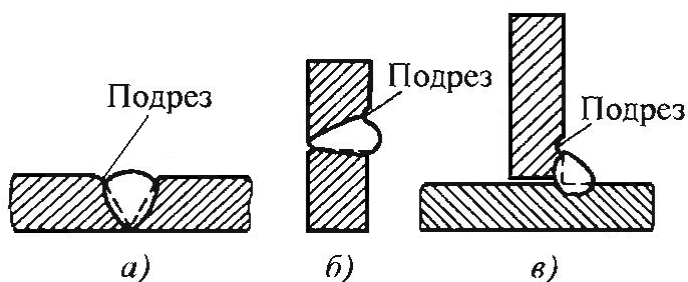
К наружным дефектам относятся: дефекты формы шва, подрезы, кратеры, прожоги, наплывы, трещины.

*Дефектами формы шва* (рис. 6.1) являются неравномерная ширина и высота шва, бугры, седловины и др. Они снижают прочность соединения и косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов. Дефекты формы шва возникают в основном из-за нарушения технологии сварки.



**Рис. 6.1. Дефекты формы шва**

*Подрезы* (рис. 6.2) представляют собой углубления, канавки в основном металле, расположенные по краям шва. Глубина подреза может достигать нескольких миллиметров. Они образуются при сварке на повышенных напряжениях дуги и значительной силе тока.

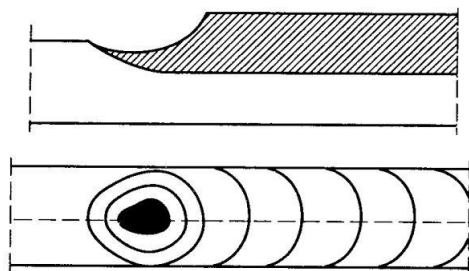


**Рис. 6.2. Подрезы:**

а – в стыковом шве; б – в горизонтальном шве, расположенном на вертикальной плоскости; в – в угловом шве таврового соединения

Подрезы уменьшают рабочее сечение шва, вызывают концентрацию напряжений от рабочих нагрузок и могут быть причиной разрушения швов в процесс эксплуатации из-за появления трещин у края подреза.

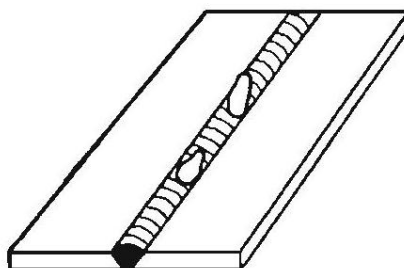
*Кратеры* (рис. 6.3) представляют собой углубления в конце шва, образующиеся при обрыве дуги (при внезапном прекращении сварки). Особенно часто кратеры возникают при выполнении коротких швов. Размеры кратера зависят от величины сварочного тока.



**Рис. 6.3. Кратер в конце шва**

Кратеры уменьшают рабочее сечение шва и снижают его прочность. При вибрационной нагрузке снижение прочности соединения достигает 20-50% в зависимости от группы стали.

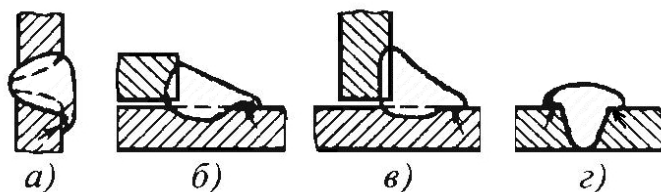
*Прожоги* (рис. 6.4) – дефекты в виде сквозного отверстия в сварном шве, образующиеся в результате вытекания металла из сварочной ванны. Они образуются вследствие чрезмерно высокой погонной энергии, неравномерности скорости сварки, увеличения зазора между кромками свариваемых элементов.



**Рис. 6.4. Прожоги**

Прожоги являются источниками концентрации напряжений, что снижает качество шва, даже после заделки дефекта.

*Наплывы* (рис. 6.5) образуются в результате стекания расплавленного металла электрода на нерасплавленный основной металл или ранее выполненный валик без сплавления с ним. Наплывы образуются из-за чрезмерно большой силы тока, большой скорости сварки и от нарушения процесса со стороны сварщика.



**Рис. 6.5. Наплывы в швах:**

*а* – горизонтальное соединение; *б* – нахлесточное соединение; *в* – тавровое соединение; *г* – стыковое соединение или при наплавке валиков

К внутренним дефектам относятся: поры (газовые поры), шлаковые включения, непровары, несплавления, расслоения, трещины.

*Поры* (рис. 6.6) образуются в металле шва при перенасыщении сварочной ванны газами вследствие загрязнения кромок изделия, влажности электродных покрытий (обмазки) и флюсов, влаги в защитных газах, увеличенной скорости сварки и др. При сварке в среде углекислом газе, а в некоторых случаях и под флюсом на больших токах, образуются сквозные поры – так называемые *свищи*.

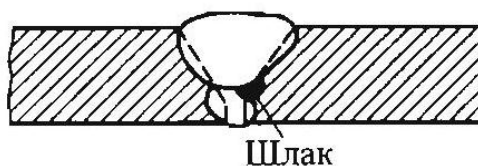
Поры снижают прочность и плотность швов.



**Рис. 6.6. Пористость в наплавленном металле шва**

*Шлаковые включения* в металле шва (рис. 6.7) образуются в результате окисления компонентов сплава в процессе расплавления, а также попадания частиц окалины, оксидов, флюса и др. в жидкий металл при его затвердевании (кристаллизации).

Шлаковые включения ослабляют рабочее сечение шва и снижают прочность соединения.



**Рис. 6.7. Шлаковые включения в многослойном шве**

*Непровары* (рис. 6.8) – это дефект в виде местного несплавления и представляет собой несплошности на границе между основным и наплавленным металлом или незаполненные металлом полости в сечении шва.



**Рис. 6.8. Непровары:**

а – по кромке с основным металлом; б – в корне шва

Образуются непровары при неправильной подготовке кромок, плохой зачистке кромок свариваемых деталей от окалины, шлака и других загрязнений, при неправильном режиме сварки, колебании силы сварочного тока и напряжения дуги, чрезмерно большой скорости сварки, при смещении электрода в сторону одной из свариваемых кромок и др.

Непровары снижают прочность свариваемого соединения за счет ослабления рабочего сечения шва.

*Несплавление* – это появление несплошности на свариваемых поверхностях или кромках материалов.

*Расслоение* – это внутреннее нарушение сплошности металла. Оно может возникать при обработке металла давлением или при прокатке вследствие наличия усадочных раковин, газовых пузырей и т.д. Часто встречаются расслоения в околошовной зоне. Расслоение может вызвать образование трещин в сварном шве.

*Трещины* (рис.6.9) – дефект сварного разрушения в виде местного разрушения (разрыва) металла в сварном шве и в прилегающих к нему зонах.



**Рис. 6.9. Трещины в сварных швах**

На образование трещин оказывают влияние многие факторы: повышенная плотность сварочного тока, высокая скорость охлаждения при сварке углеродистых сталей, недостаточный зазор между кромками деталей.

Трещины бывают продольные и поперечные, микро- и макроскопические, одиночные и групповые (кустовые), горячие и холодные и др.

Трещины относятся к числу наиболее опасных дефектов и по всем действующим нормативно-техническим документам являются недопустимыми.

При контроле качества сварных соединений и оценке пригодности их к

эксплуатации необходимо знать влияние наружных и внутренних дефектов на прочностные характеристики конструкции.

Степень влияния того или иного дефекта на работоспособность конструкции устанавливают испытанием образцов с дефектами с целью выработки критериев, которые могут служить основанием для забраковки конструкции после контроля.

Браковочные нормы, выражающиеся в значениях минимальных размеров недопустимых дефектов, приводятся в нормативно-технической документации. Эти нормы могут иметь ограничения по количеству дефектов, форме, их взаимному расположению, ориентации и др.

Устранение наружных дефектов производят вышлифовкой (шлифованием) дефектного места с обеспечением плавного перехода. Если толщина стенки детали в месте максимальной глубины выборки не меньше минимально допустимой, то место выборки можно не заваривать. Если в процессе вышлифовки не удалось полностью исправить наружные дефекты, то их, как и недопустимые внутренние дефекты, следует полностью удалить.

При удалении дефектных мест длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного места с припуском 10-20 мм с каждой стороны. Ширина разделки выборки должна быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала двойной ширины до заварки, при этом должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла.

Перед заваркой трещин концы трещины засверливают с целью предотвращения ее распространения. Сварку необходимо вести, накладывая шов короткими валиками с обоих концов трещины.

Исправленные швы должны быть повторно проконтролированы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству изделия. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то производят их повторное исправление. Число исправлений одного и того же дефектного участка зависит от ответственности конструкции и, как правило, не должно превышать трех.

Дефекты в сварных соединениях выявляют методами разрушающего и неразрушающего контроля.

Разрушающие испытания проводят обычно на контрольных образцах, реже на моделях и на самих изделиях. Контрольные образцы сваривают из того же материала и по той же технологии, что и сварные соединения изделия.

К разрушающим испытаниям контроля относятся: механические испытания, металлографические исследования, химический анализ, коррозионные испытания, исследования на свариваемость и др. Эти испытания позволяют получить данные, характеризующие прочность, долговечность, коррозионную стойкость и др.



## 6.5. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Неразрушающие методы контроля позволяют определить наличие дефектов в изделиях и косвенно характеризуют их эксплуатационные характеристики, при этом не требуется разрушения готовых изделий.

Основными видами неразрушающего контроля сварных соединений являются: визуальный и измерительный, акустический (ультразвуковая дефектоскопия), радиационный, магнитный, капиллярный (цветная дефектоскопия), гидравлические (или пневматические) испытания.

Контроль сварных соединений и основного металла предусматривает не менее двух методов, один из которых предназначен для обнаружения наружных дефектов, а второй для выявления внутренних дефектов.

Выбор метода контроля зависит от многих факторов: чувствительности и разрешающей способности метода, характеристики диагностируемого оборудования, типа дефектов и многих других факторов.

Неразрушающий контроль выполняют в соответствии с технологическими картами или технологическими инструкциями, разрабатываемыми для конкретных технических устройств, сооружений или их элементов.

Технологические карты (инструкции) разрабатывают специалисты неразрушающего контроля не ниже второго уровня квалификации, отестированные на выполнение конкретного вида контроля.

На технологических картах указывается вид неразрушающего контроля, приводится схема контроля или зона контроля с изображением эскиза объекта с указанием:

- объекта контроля;
- номера чертежа на объект контроля;
- категорий объекта контроля;
- документа, регламентирующего проведение контроля;
- документа оценки качества результатов контроля;
- геометрических размеров объекта контроля;
- вида сварки и типа сварного соединения;
- объема контроля, %;
- состояния поверхности и параметров контролируемой зоны;
- средств контроля и их характеристики;
- перечня контролируемых параметров;
- требований к квалификации персонала;
- требований к безопасности при проведении работ.

В технологических картах для некоторых видов неразрушающего контроля приводятся указания по выполнению контроля и последовательность технологических операций.

По результатам контроля заполняется журнал обнаруженных дефектов, их размеры, расположение и на основании этого дается оценка качества сварного соединения. В Приложениях I–III приведены примеры

технологических карт для некоторых видов неразрушающего контроля.

### 6.5.1. Визуальный и измерительный контроль

Визуальный и измерительный метод неразрушающего контроля – самый простой и достаточно информативный. Он проводится путем визуального обнаружения поверхностных дефектов с помощью человеческих глаз без использования какого-либо оборудования или с использованием простейших измерительных средств.

Этот метод позволяет выявить поверхностные поры и трещины, подрезы, кратеры, прожоги, свищи, наплывы, смещение кромок и другие дефекты. При осмотре выявляют также дефекты формы шва, участки, пораженные коррозией и т.п.

Если в процессе обследования используют контрольные оптические приборы, которые расширяют естественные возможности зрения, то такой метод контроля называют визуально-оптическим.

К недостаткам метода можно отнести то, что контроль сварных соединений позволяет обнаружить только наружные дефекты, тогда как внутренние могут оставаться скрытыми, а также зависимость обнаружения дефектов от субъективных факторов (острота зрения, усталость, опыт работы выполняющего контроль специалиста) и условий контроля (освещенность, оптический контраст и др.)

На оптимальном для глаз расстоянии – 250 мм различают дефекты размером примерно 0,15 мм.

К визуальной группе оптических приборов относятся лупы, микроскопы, эндоскопы. В качестве измерительных приборов используют штангенциркули, щупы, радиусные шаблоны, линейки, угломеры, уровни и др.

Самым простым и удобным при пользовании оптическим средством контроля является лупа. Обычно осмотр проводят с помощью лупы с фокусным расстоянием от 125 до 12,5 мм и увеличением от  $2^x$  до  $20^x$ .

Для контроля деталей и их дефектов используют измерительные микроскопы, которые обеспечивают увеличение до  $100^x$ .

Для контроля удаленных объектов используют оптические приборы прямого зрения: бинокли, телескопические зрительные трубы и др., которые предназначены для визуального контроля элементов конструкций, дымовых труб и др., находящихся в пределах прямой видимости.

Для диагностирования внутренних поверхностей полых устройств, трубопроводов и т.п. используют оптические приборы, которые называются *эндоскопами* или *бароскопами*.

В основе конструкции эндоскопа лежит оптическая система, которая позволяет передавать изображение участка осмотра на значительное расстояние (до нескольких метров). Эндоскопы подразделяются на линзовые, оптико-волоконные и комбинированные. Современные приборы такого типа

позволяют обнаружить не только размер дефекта, но и его глубину с точностью до 0,02 мм.

Геометрические размеры швов (ширина и высота шва, катеты угловых швов) контролируют с помощью шаблонов или измерительных инструментов.

Особое внимание при контроле необходимо обращать на состояние сварных соединений в зоне концентрации напряжений. Этими зонами являются места приварки люков и штуцеров к обечайке и днищам, особенно зоны входных и выходных штуцеров, участки пересечения швов, зоны сопряжения обечайки с днищами и др.

Зона контроля должна быть зачищена от ржавчины, окалины, краски, масла и других загрязнений, препятствующих контролю. Ширина зачистки с каждой стороны сварного шва должна составлять 20-50 мм в зависимости от вида сварки (дуговая, газовая, электрошлаковая). Шероховатость зачищенной зоны должна быть не более R<sub>z</sub>80.

Измерительному контролю подвергаются изогнутые участки труб. Проверке подлежат: отклонения от круглой формы (овальность), толщина стенки в растянутой части изогнутого участка трубы, высота волнистости (гофры) на внутреннем изогнутом участке трубы и др. Проверяется также отклонение от перпендикулярности наружной поверхности штуцеров по отношению к трубе, отклонение штуцеров от проектного положения и т.д.

Выполнение визуального и измерительного контроля организуют на специализированных участках, оснащенных необходимым оборудованием. Контроль крупногабаритного несъемного оборудования осуществляется на месте их установки. Освещенность контролируемой поверхности должна быть не менее 500 лк.

При осмотре защитные покрытия и изоляция подлежат удалению на участке поверхности объекта, где имеются явные признаки наличия дефектов.

Визуально-измерительный контроль осуществляется до выполнения диагностики другими методами и проводится по программе Инструкции РД03-606-03.

### **6.5.2. Капиллярный метод контроля**

Капиллярный метод контроля проводят, согласно методическим рекомендациям РД 13-06-2006, для выявления таких дефектов, как макро- и микротрещины, выходящие на поверхность объекта, поверхностные поры и непровары сварных швов. Подобные дефекты по своим физическим свойствам являются капиллярными, поэтому и метод назван *капиллярным*.

Капиллярная дефектоскопия основана на изменении контрастности изображения дефектов и фона, на котором они выявляются с помощью свето- и цветоконтрастных индикаторных жидкостей (пенетрантов).

Эффективность капиллярного метода зависит от проникающей

способности пенетранта и извлечения его из дефекта проявителем.

В зависимости от свойств пенетранта и проявителя различают три метода капиллярного контроля: люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной.

При *люминесцентном методе* в состав пенетрантов вводят вещества, называемые люминофорами, которые при естественном освещении или облучении ультрафиолетовыми лучами становятся источниками излучения яркого свечения.

*Цветной метод* (метод красок) основан на использовании пенетрантов, в состав которых вводят специальные красители.

*Люминесцентно-цветной метод* является сочетанием двух, рассматриваемых выше методов.

Наиболее широко в дефектоскопии используется метод красок.

Капиллярный метод позволяет выявлять дефекты, имеющие раскрытие порядка 1 мкм, а глубину более 0,02 мм. Глубина дефектов должна значительно превышать их ширину. Если ширина дефекта больше его глубины (риска, царапина), то он легко заполняется пенетрантом и также легко удаляется из повреждения. Такие дефекты, как правило, капиллярным методом не выявляются.

Капиллярный метод позволяет контролировать изделия, изготовленные из ферромагнитных и неферромагнитных металлов и сплавов, пластмасс, стекла, керамики и других конструкционных материалов, которые не растворяются и не набухают в дефектоскопических материалах – пенетранте, проявителе и очистителе пенетранта. Состав этих материалов не должен ухудшать эксплуатационные свойства материала контролируемых деталей и конструкций.

При контроле сварных соединений контролируемая зона должна включать всю поверхность сварного шва, а также примыкающие к нему участки основного материала (зону термического влияния) в обе стороны от шва шириной от 5 мм до 50 мм в зависимости от вида сварки, типа шва, толщины свариваемых деталей.

В свариваемых соединениях разной номинальной толщины ширина контролируемых участков основного материала определяется по номинальной толщине более толстой детали.

При доступности сварных соединений с двух сторон контроль следует проводить как с наружной, так и с внутренней стороны.

При проведении контроля одного объекта несколькими видами контроля капиллярный контроль выполняется до ультразвукового и магнитопорошкового контроля.

Основными способами нанесения дефектоскопических материалов являются *аэрозольный* и *кистевой*.

Иногда применяют краскораспылители, компрессоры или переносные окрасочные агрегаты.

Технологический процесс капиллярного контроля состоит из трех

этапов:

- подготовка к контролю;
- проведение контроля;
- оценка результатов контроля.

Подготовка к контролю включает выполнение следующих операций:

- изучение технологической карты (инструкции) контроля;
- визуальный осмотр контролируемого участка;
- подготовка поверхности для проведения контроля.

Необходимо убедиться при осмотре поверхности, чтобы параметры шероховатости соответствовали необходимым требованиям. При оценке шероховатости возможно использование комплекта эталонов шероховатости по ГОСТ 2789.

Для обезжиривания поверхности используют органические растворители (бензин, ацетон), применение керосина для этих целей не допускается. После обезжиривания проводится сушка поверхности протиркой чистой сухой тканью или обдувкой теплым воздухом.

Проверка качества подготовки поверхности проводится внешним осмотром.

Очистка полости несплошностей осуществляется путем подогрева детали или конструкции до температуры 100-120<sup>0</sup>С продолжительностью не менее 20 минут. После подготовки поверхности наносится индикаторный пенетрант.

Пенетранты в зависимости от класса чувствительности приготавливают из смеси растворителя и красителя. В качестве красителя используют нориол А, краситель жирорастворимый темно-красный «Ж», а в качестве растворителя – керосин, бензин, скипидар и ряд других.

В качестве примера можно привести следующий состав: краситель жирорастворимый темно-красный «Ж» (5 г) растворяют в скипидаре (500 мл) или в смеси керосина (200 мл) и бензина (300 мл).

После нанесения пенетрант выдерживают на поверхности не менее 5 минут, не допуская высыхания, после чего его удаляют.

Сушка поверхности после удаления пенетранта осуществляется путем протирки чистой сухой тканью. Качество очистки и сушки проверяется протиркой светлой чистой тканью. Ткань не должна окрашиваться в розовый цвет.

Сразу после очистки поверхности от пенетранта на поверхность наносится тонким слоем проявитель. Сушку проявителя проводят за счет естественного испарения или теплым воздухом.

Осмотр контролируемой поверхности проводят через 15-20 минут после высыхания проявителя.

Дефекты проявляются в виде ярко окрашенных полос, извилин, расплывчатых пятен, точек. По форме рисунка и степени растекаемости пенетранта на проявителе можно определить вид дефекта и его величину.

Результаты контроля оцениваются в соответствии с нормами

допустимости дефектов, предусмотренных нормативно-технической документацией.

Обнаруженные недопустимые дефекты отмечают мелом или цветными карандашами и их координаты (местоположение, размеры, форму) и переносят на эскиз.

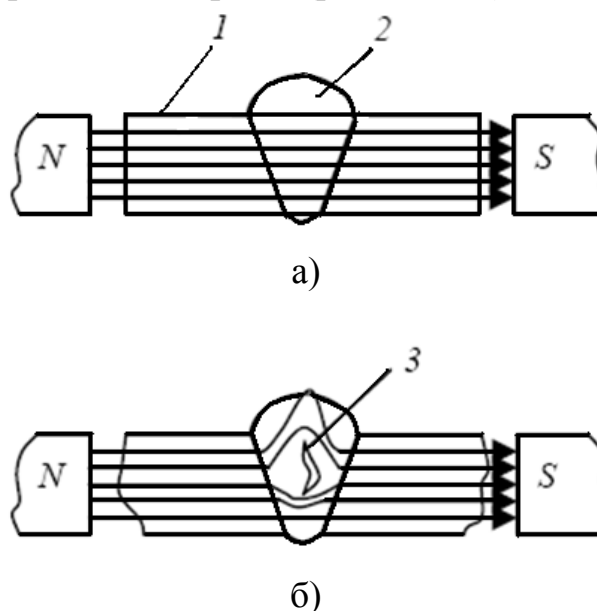
### 6.5.3. Магнитные методы контроля

Магнитные методы неразрушающего контроля применяют для диагностики объектов из ферромагнитных материалов, которые под действием внешнего магнитного поля изменяют свои магнитные характеристики.

Магнитопорошковыми методами можно выявить усталостные, шлифовочные, закалочные трещины шириной от 1 мкм и глубиной более 0,01 мм, а в сварных швах – непровары, шлаковые включения, поры и др.

Магнитные методы контроля основаны на регистрации и анализе полей рассеяния, возникающих в местах нахождения дефектов.

Если намагничиваемый материал сплошной (без дефектов), то магнитный поток в нем распространяется по сечению равномерно (рис. 6.10, а). Если же материал объекта имеет несплошности (дефекты), то они оказывают магнитному полю большее сопротивление, чем сам материал. Магнитный поток в этом случае как бы обтекает дефект, после сгущается и частично выходит за границы объекта, распространяясь по воздуху и затем входит в материал за пределами дефекта (рис. 6.10, б).



**Рис. 6.10. Распределение силовых линий магнитного потока в свариваемых деталях: а – без дефекта; б – с дефектом**  
1 – свариваемый материал; 2 – сварной шов; 3 – дефект

Магнитное поле над дефектом называется полем рассеяния. Поле рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен

перпендикулярно направлению магнитного потока. Для надежного обнаружения дефектов намагничивание объекта производят в двух направлениях. Интенсивность поля рассеяния растет с увеличением намагничивающего поля.

В практике диагностирования находят применение два метода: магнитопорошковый и магнитографический.

*Магнитопорошковый метод* состоит в том, что поле рассеяния над местами расположения дефектов можно обнаружить с помощью порошков. Такие порошки состоят из ферромагнитных частиц, которые, попадая в неоднородное магнитное поле, сосредотачиваются в тех местах, где его силовые линии сгущаются, т.е. по краям дефектов или над дефектами.

В магнитном поле ферромагнитные частицы намагничиваются, т.е. становятся элементарным магнитом и ориентируются в направлении внешнего поля, образуя цепочки и создавая характерные рисунки в виде валиков, по которым судят о наличии дефекта.

Порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа, измельчением окалины железа, окислением магнетита.

Оптимальный размер частиц магнитного порошка зависит от характера обнаруживаемых дефектов. Для выявления поверхностных дефектов размер частиц должен быть в пределах 5-10 мкм, для выявления подповерхностных дефектов – в пределах 10-50 мкм.

В зависимости от способа нанесения порошка различают сухой и мокрый методы порошковой дефектоскопии. Сухой способ состоит в напылении порошка, а мокрый основан на применении суспензии или паст: порошок – жидкость. В качестве жидкости используют воду, керосин, масло. Применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы.

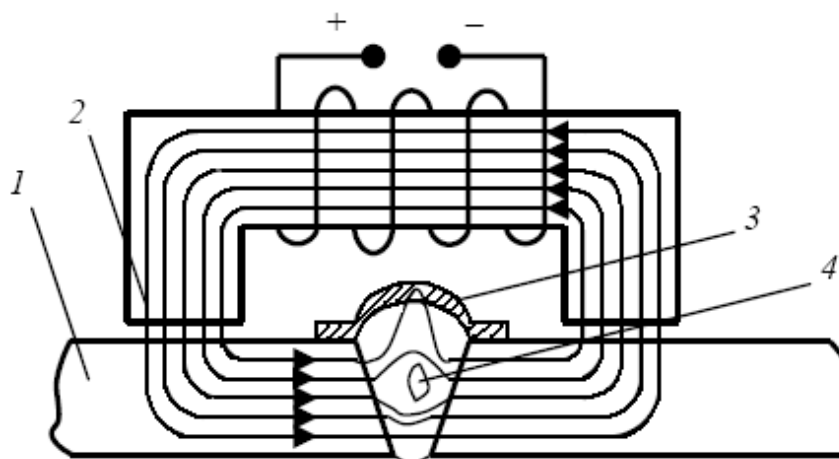
Для намагничивания объекта контроля используют постоянные магниты, электромагниты.

Магнитопорошковый метод имеет следующие основные достоинства: высокая производительность, наглядность результатов контроля, высокая чувствительность (выявляемость).

На выявляемость дефектов оказывают влияние факторы, связанные со свойствами объекта и принятой технологией контроля.

После окончания магнитопорошкового контроля производят размагничивание объекта, так как намагниченность может вызвать нежелательные последствия: ускорение износа деталей объекта контроля, снижение чистоты обработки и т.п.

*Магнитографический метод* (рис. 6.11) заключается в том, что магнитные поля рассеяния от дефектов регистрируются с помощью магнитной ленты. Затем эта запись на ленте преобразуется в сигналы, которые считываются и становятся видны на экране электронно-лучевой трубки. В качестве считывающего устройства используются вращающиеся магнитные головки.



**Рис. 6.11. Схема магнитографического контроля сварного шва:**  
 1 – свариваемое изделие; 2 – электромагнит; 3 – магнитная лента; 4 – дефект

#### 6.5.4. Ультразвуковой метод контроля

Ультразвуковой метод контроля является одним из методов акустического неразрушающего контроля. Он основан на распространении и отражении ультразвуковых колебаний (волн) в объекте контроля, частота которых лежит выше 20 кГц. Обычно применяют колебания с частотой 0,5-10 МГц.

Ультразвуковой метод получил широкое распространение благодаря следующим своим преимуществам: высокая чувствительность к мелким дефектам, большая проникающая способность, возможность определения размеров и места расположения дефектов, возможность диагностирования объектов из различных материалов, оперативность индикации дефектов, возможность контроля при одностороннем доступе к объекту, возможность проведения контроля в полевых условиях и др. Он применяется в основном для выявления внутренних дефектов в сварных швах и основном металле.

В сварных швах выявляют трещины, поры, непровары, шлаковые включения, а также трещины и расслоения в околошовных зонах и основном металле. Широкое применение метод получил при проведении толщинометрии.

При ультразвуковом контроле колебания передаются от внешнего источника частицам материала объекта.

Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего используют пьезоэлектрические преобразователи, которые изготавливают из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконат-титаната свинца и др. Из таких материалов изготавливают пластинку, на обе стороны которой наносят тонкие слои серебра, служащие электродами. Затем пластинку поляризуют в постоянном электрическом токе, после чего она приобретает пьезоэлектрические свойства.

Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение,

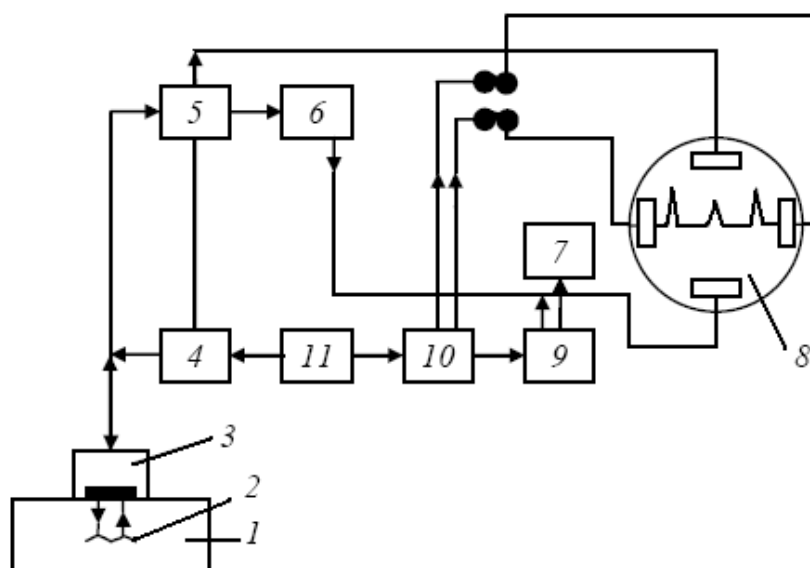


то пластинка будет совершать вынужденные колебания. Приложив колеблющуюся пластинку к поверхности контролируемого объекта, в его материале будут возбуждаться и распространяться упругие волны. Скорость распространения волн зависит от акустического сопротивления материала контролируемого объекта.

Пластинки помещают в специальные призмы из оргстекла для защиты от механических повреждений и получают искательные головки (искатели).

Аппаратура для ультразвуковой диагностики состоит из дефектоскопа, набора искательных головок, тест-образцов для настройки дефектоскопа перед контролем объекта, которые должны наиболее полностью имитировать предполагаемые дефекты. В нормативно-технических материалах (ГОСТ 14782) приводятся описание образцов и методика настройки аппаратуры.

Дефектоскоп представляет собой совокупность функциональных блоков (рис. 6.12).

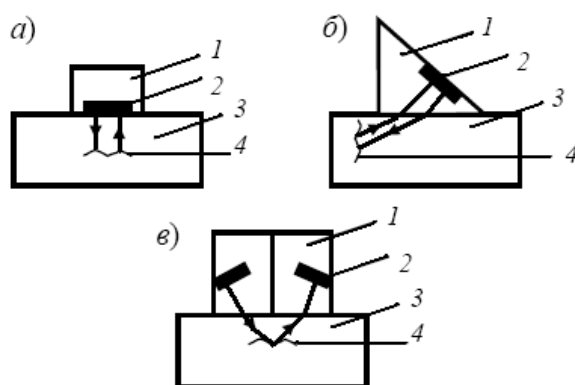


**Рис. 6.12. Схема ультразвукового дефектоскопа:**

1 – объект контроля; 2 – дефект; 3 – искатель; 4 – генератор зондирующих импульсов; 5 – усилитель высокой частоты; 6 – селектор автоматического сигнализатора; 7 – электронная лупа; 8 – электронно-лучевая трубка; 9 – электронный глубиномер; 10 – генератор развертки; 11 – генератор синхронизирующих импульсов

Важным элементом в схеме дефектоскопа является искательная головка (искатель).

Некоторые виды искательных головок показаны на рис. 6.13.



**Рис. 6.13. Основные типы искательных головок:**

а – прямой; б – наклонный (призматический); в – раздельно-совмещенный;  
1 – оргстекло; 2 – пьезопластина; 3 – объект контроля; 4 - дефект

Выявление дефектов осуществляется путем перемещения искательной головки по поверхности объекта контроля.

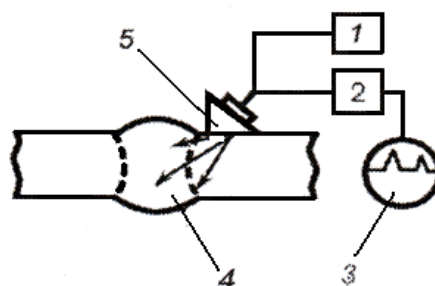
Иногда искательные головки снабжаются устройствами для изменения угла наклона пьезопластины, подачи контактирующей жидкости и стабилизации давления на головку.

При отсутствии дефекта в объекте контроля ультразвуковые колебания выбранной частоты распространяются прямолинейно в виде расходящегося пучка.

Дефекты, встречающиеся на пути распространения ультразвуковой волны и обладающие другими акустическими свойствами, вызывают изменение нормального процесса ее распространения. Искажение процесса распространения ультразвуковых колебаний будет свидетельствовать о наличии в объекте контроля внутренних дефектов.

При дефектации сварных соединений применяют три основных метода: эхо-импульсный, теневой (зеркально-теневой) и эхо-теневой. Каждый из них имеет определенную область применения, в которой он эффективен.

Для контроля сварных соединений широко применяется эхо-импульсный метод (рис. 6.14), который обладает более высокой чувствительностью по сравнению с другими методами. Этим методом контролируют около 90% всех сварных соединений с разными типами швов (стыковых, угловых, тавровых, нахлесточных).



**Рис. 6.14. Схема контроля эхо-методом:**

1 – генератор; 2 – усилитель; 3 – экран (экран дефектоскопа);  
4 – объект контроля (шов); 5 – преобразователь

Выбор метода и методики ультразвукового контроля является важной задачей, от правильного решения которой зависит надежность контроля.

Признаком наличия дефекта при ультразвуковом контроле является прием эхо-сигнала от отражателя, расположенного в объекте контроля, амплитуда которого превышает заданный уровень.

При разработке методики контроля необходимо изучить характеристики контролируемого изделия (форму, размеры, технологию изготовления, состояние поверхности, условия нагружения при эксплуатации и др.), материала (макроструктуру, термическую обработку, плотность, акустические характеристики), дефекты (тип, размеры, место и глубину залегания, ориентировку относительно поверхностей изделия и др.).

Важным условием для получения объективных результатов контроля является настройка дефектоскопа по стандартным контрольным образцам, что обеспечивает высокую чувствительность метода.

Прозвучивание сварного соединения выполняют по способу продольного и (или) поперечного перемещения искательной головки при постоянном или переменном угле ввода луча по поверхности объекта контроля. Эту операцию (сканирование) выполняют по заранее выбранной схеме в соответствии с требованиями, установленными в технической документации на контроль.

Поверхность сварного соединения, подлежащего ультразвуковому контролю, должна быть очищена с обеих сторон шва от загрязнений (брызг металла, окалина, шлака и др.), не иметь вмятин и неровностей. Ширина зоны очистки с каждой стороны шва должна быть не менее –  $(2,5S + 40\text{мм})$ , где  $S$  – толщина стенки в миллиметрах.

Шероховатость поверхности после подготовки должна быть не ниже  $Rz40$ .

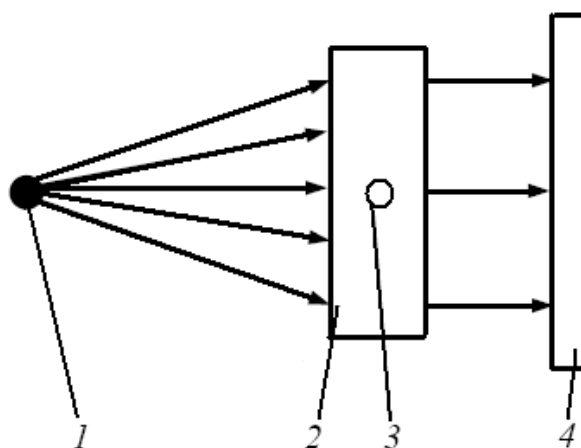
Подготовленную поверхность покрывают слоем контактной смазки. В качестве смазки в зависимости от температуры окружающей среды применяют моторные и дизельные масла, трансформаторное масло, а также специальные пасты, глицерин и др.

При разработке методики контроля важно правильно выбрать частоту и вид ультразвуковых колебаний, что обеспечивает необходимую чувствительность к выявлению дефектов.

Выбор вида ультразвуковых колебаний определяется габаритами и формой контролируемого изделия, а также видом и местом расположения дефекта.

### **6.5.5. Радиационные методы контроля**

Радиационные методы контроля основаны на способности ионизирующих излучений проникать через конструкционные материалы (оптически непрозрачные) и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор) (рис. 6.15).

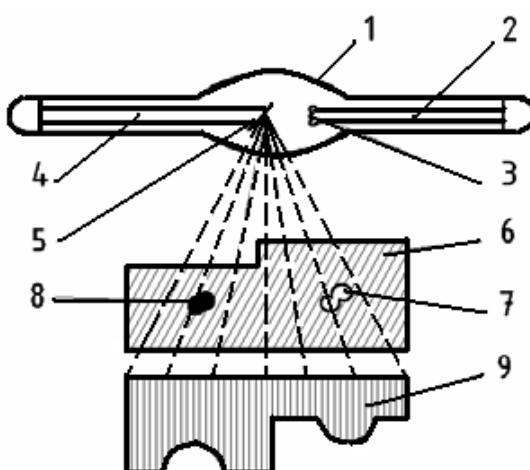


**Рис. 6.15. Схема радиационного «просвечивания»:**  
 1 – источник ионизирующего излучения; 2 – контролируемый элемент; 3 - дефект; 4 – детектор

Проникающая способность ионизирующих излучений зависит от плотности их энергии, т.е. от её количества, приходящегося на единицу поверхности.

Для радиационного контроля используют различные типы ионизирующих излучателей: рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы и различного рода ускорители. Наиболее широкое применение получили рентгеновские аппараты и гамма-дефектоскопы.

Рентгеновский аппарат состоит из источника высокого напряжения, рентгеновской трубки, которая является основным элементом аппарата, и контрольно-измерительных приборов. Чаще всего используют двухэлектродные трубки, которые представляют собой стеклянный баллон под вакуумом  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  мм ртутного столба, в который впаяны электроды. Схема просвечивания такой трубкой представлена на рис. 6.16.



**Рис. 6.16. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки:**  
 1 – стеклянный баллон; 2 – катод; 3 – вольфрамовая спираль; 4 – анод (медный полый цилиндр); 5 – вольфрамовая мишень; 6 – объект контроля; 7 – раковина (дефект) в объекте контроля; 8 – плотное включение(дефект); 9 – эпюра интенсивности излучения за объектом

По конструкции рентгеновские аппараты бывают переносные, передвижные и стационарные, кабельные и моноблочные.

Источником ионизирующего излучения для гамма-дефектоскопов служат радионуклиды, которые помещают в герметичные ампулы из нержавеющей стали или других материалов, исключающих попадания радиоактивных веществ в окружающую среду.

Фиксирование дефектов в объекте контроля при просвечивании ионизирующими источниками производится одним из следующих способов: радиографическим, радиоскопическим или радиометрическим.

Наибольшее применение получил радиографический метод вследствие его простоты, высокой чувствительности (выявляемости) и достоверности результатов контроля.

Радиографический метод контроля применяют для контроля сварных соединений из металлов и их сплавов с толщиной свариваемых элементов от 1,0 мм до 400 мм. Этот метод применяют для выявления трещин, непроваров, пор, прожогов, шлаковых и других включений.

Метод основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающее устройство с последующим преобразованием его в световое изображение.

Различают пленочную радиографию и электрорадиографию. При пленочной радиографии детектором и регистратором изображения служит фоточувствительная пленка. Основными характеристиками пленки является чувствительность и контрастность. Тип пленки устанавливается технической документацией на контроль сварных соединений, она должна соответствовать техническим условиям на её изготовление.

Радиографический способ используется для различных источников излучения. Тип радиоактивного источника, напряжение на рентгеновской трубке должны устанавливаться в зависимости от толщины просвечиваемого материала технической документацией на контроль сварных соединений.

Радиографический контроль проводят после устранения наружных дефектов, обнаруженных при визуальном контроле сварного соединения и очистки поверхности от загрязнений (брызг металла, шлака, окалины и др.), изображение которых на снимке могут помешать расшифровке снимка.

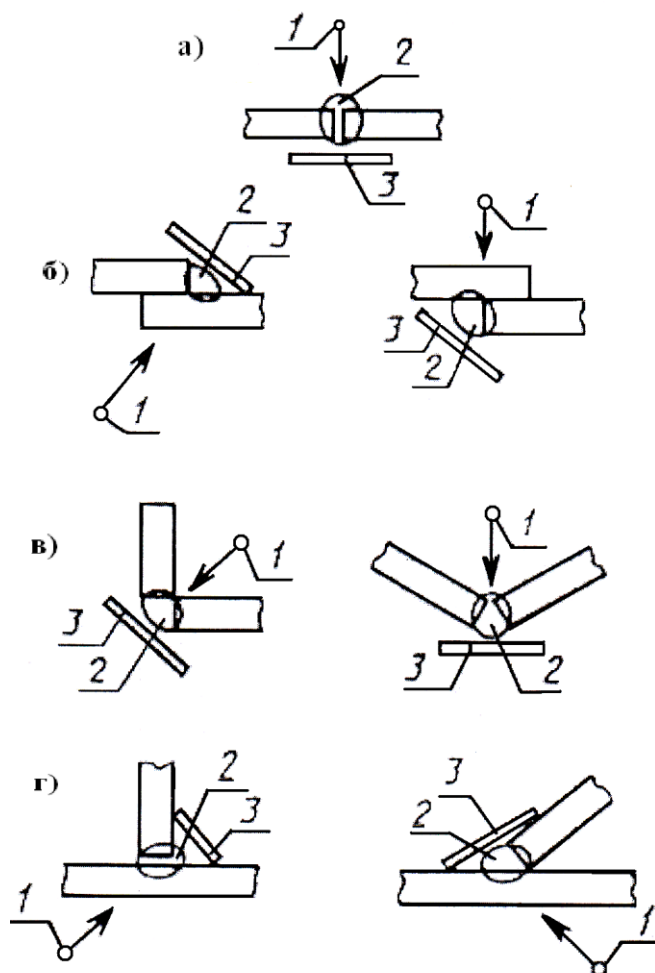
После подготовки поверхности производится разметка участков соединения на участки и маркировка (нумерация) участков. На каждом участке должны быть установлены эталоны чувствительности и маркировочные знаки.

Эталон чувствительности служит для определения чувствительности контроля. Их изготавливают из металла или сплава, основа которого по химическому составу аналогична основе контролируемого сварного соединения. Применяют эталоны чувствительности трех типов: проволоочные, канавочные и пластинчатые.

Маркировочные знаки используют для ограничения длины

контролируемых за одну экспозицию участков сварных соединений. Их устанавливают на границах размеченных участков, а также на границах наплавленного и основного металла.

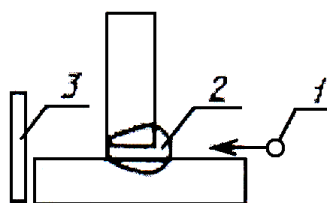
Схема контроля устанавливается в зависимости от типа сварного соединения (рис. 6.17).



**Рис. 6.17. Схема контроля сварных соединений:**

а – стыковой шов; б – нахлесточные швы; в – угловые швы; г – тавровые швы;  
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

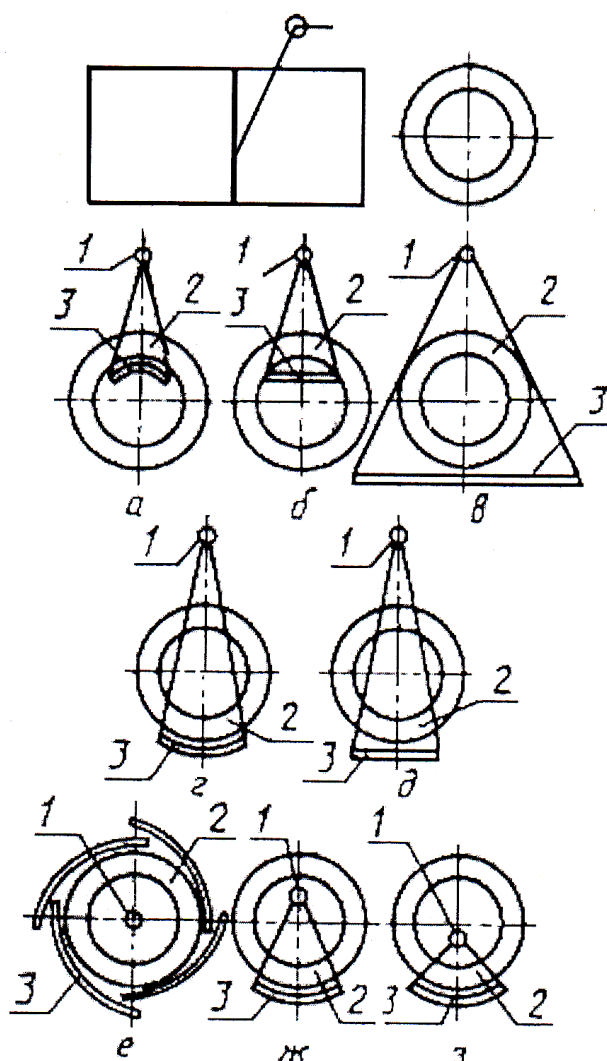
При ограниченной ширине привариваемого элемента допускается проводить контроль тавровых соединений с направлением излучения по образующей этого элемента (рис. 6.18).



**Рис. 6.18. Схема контроля таврового соединения с малой шириной привариваемого элемента:**

1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий схема контроля выбирается в зависимости от диаметра изделия, места нахождения участка контроля и объема контроля, % (рис. 6.19).



**Рис. 6.19. Схема контроля кольцевых сварных соединений:**

1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

В зависимости от конструктивных особенностей сварных соединений и предъявляемых к ним требований могут использоваться другие схемы и направления излучения.

При расшифровке снимков определяют размеры выявленных дефектов с использованием измерительных инструментов (измерительные линейки, лупы, измерительные шаблоны и др.), которые подвергаются проверке в соответствии с действующими положениями.

При выборе схемы и направления излучения необходимо соблюдать:

- расстояние от контролируемого сварного соединения до радиографической пленки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм;
- угол между направлением излучения и нормалью к радиографической

пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения должен быть минимальным и в любом случае не превышать  $45^{\circ}$ .

### 6.5.6. Толщинометрия

При проведении технической диагностики и прогнозировании остаточного ресурса оборудования возникает необходимость измерения толщины стенок – операция «толщинометрия». Для этих целей используют приборы – *толщинометры*, работающие на различных физических принципах: радиометрии, акустики, магнитных полей, радиоволновые и др.

Наибольшее распространение получили ультразвуковые толщинометры отечественного и зарубежных производств, соответствующие требованиям действующей нормативной документации, обеспечивающие погрешность измерения не более  $\pm 0,1$  мм.

По результатам измерений определяют скорость коррозионного (эрозионного) изнашивания стенок и устанавливают расчетом на прочность допустимый срок эксплуатации (остаточный ресурс), уровень снижения рабочих параметров или сроки проведения ремонта.

Контроль толщины стенки проводят в местах элементов диагностируемого объекта, указанных в специальных инструкциях, в типовых или индивидуальных программах технического диагностирования, а также в зонах интенсивного коррозионно-эрозионного износа металла, в местах выборок дефектов и на поверхности вмятин или выпучин. Ультразвуковой толщинометрии подвергают аппараты, емкости, трубопроводы и др.

В случае невозможности выполнения толщинометрии по полной программе число точек замера толщины стенок должно быть таким, чтобы обеспечить максимально надежное представление о техническом состоянии объекта исследований и проведение прочностных расчетов.

В местах измерения толщины поверхность должна быть защищена до металлического блеска. Толщина металла определяется как среднее значение результатов 3-х измерений.

Для сосудов и аппаратов толщинометрия проводится согласно РД 03-421-01.

В вертикальных сосудах необходимо особое внимание обращать на толщинометрию нижнего днища и примыкающую к нему царгу обечайки. Число точек измерения на днище должно быть не менее 9, при этом обязательным является измерение толщины в полюсе днища и не менее 5 на каждом листе в случае сварного днища.

В горизонтальных сосудах необходимо в обязательном порядке проводить измерения толщины по нижней образующей обечайки, а также по двум образующим обечайкам, находящимся на расстоянии 100-150 мм и 200-250 мм с каждой стороны нижней образующей вверх по периметру окружности обечайки.



В зонах протечки продукта, повышенной коррозии, вмятин и выпучин измерения необходимо проводить с шагом не более 25 мм.

Нормы отбраковки элементов сосудов и аппаратов, трубопроводов по результатам толщинометрии устанавливаются в зависимости от рабочего давления и свойств технологического продукта (среды).

Элементы сосудов и аппаратов, работающих под давлением свыше  $0,7 \text{ кг/см}^2$  ( $0,07 \text{ МПа}$ ), должны отбраковываться:

- если под действием коррозии и эрозии уменьшилась толщина стенки (обечаек корпуса, днищ, крышек, заглушек, штуцеров и др.) до значений, определенных расчётами по паспорту, с учетом всех действующих нагрузок (внутреннего и наружного давления, весовых, ветровых, сейсмических и пр.) без учета прибавки на коррозию;

- если расчетная толщина стенки (без учета прибавки на коррозию) оказалась меньше величины, указанной ниже, то за отбраковочный размер для обечаек и днищ сосудов и аппаратов принимается величина 4 мм.

Для кожухотрубчатых теплообменников отбраковочные размеры (толщина стенок корпуса, крышки и днища, распределительной камеры) принимаются согласно табл. 6.1; а для патрубков – в соответствии с табл. 6.2.

Таблица 6.1

Материал	Диаметр, мм		
	500 и ниже	600-800	1000 и выше
	Толщина стенки, мм		
Стали углеродистые, низколегированные, кремнемарганцовистые, хромомолибденовые	3,5	4	5
Стали высоколегированные хромоникелевые	2	3	4

Таблица 6.2

Наружный диаметр патрубка, мм	$\leq 2,5$	$\leq 57$	$\leq 108$ (114)	$\leq 219$	$\leq 377$	$\leq 426$
Наименьшая допустимая толщина стенки, мм	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

Элементы сосудов и аппаратов, работающих под давлением  $0,7 \text{ кг/см}^2$  ( $0,07 \text{ МПа}$ ) и ниже, под вакуумом и атмосферном давлении, отбраковываются в следующих случаях:

- если толщина стенки под действием коррозии и эрозии уменьшилась до значений, определенных расчетами по паспорту, с учетом всех действующих нагрузок без учета прибавки на коррозию;

- если расчетная толщина стенки (без учета прибавки на коррозию) оказалась меньше величины, указанной ниже, то за отбраковочный размер принимают величину не менее:

- для обечаек и днищ сосудов (аппаратов) при диаметре 2000 мм и ниже – 3,0 мм, а при диаметре более 2000 мм – 4,0 мм;

- для кожухотрубчатых теплообменников отбраковочные размеры (толщина стенок корпуса, распределительной камеры, крышки и днища,) принимаются в соответствии с табл. 6.3; а для патрубков – в соответствии с табл. 6.4.

Таблица 6.3

Материал	Диаметр, мм		
	500 и ниже	600-800	1000 и выше
	Толщина стенки, мм		
Стали углеродистые, низколегированные, кремнемарганцовистые, хромомолибденовые	3,5	4	5
Стали высоколегированные хромоникелевые	2	3	4

Таблица 6.4

Наружный диаметр, мм	≤2,5	≤57	≤108 (114)	≤219	≤377
Наименьшая допустимая толщина стенки, мм	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Нормы отбраковки трубопроводов устанавливаются по их категории и назначению.

На предприятиях различных отраслей промышленности технологические трубопроводы являются неотъемлемой частью технологического оборудования. Они делятся на *внутрицеховые*, соединяющие отдельные аппараты, установки, машины расположенные на территории цеха и *межцеховые*, соединяющие оборудование, которое находится в различных цехах.

Все технологические трубопроводы в зависимости от свойств транспортируемого продукта, температуры и давления подразделяются на группы и категории.

Технологические трубопроводы (трубы, детали трубопроводов, арматура, в том числе литая) подлежат отбраковке согласно табл. 6.5.

Таблица 6.5

Наружный диаметр, мм	≤2,5	≤57	≤108 (114)	≤219	≤325	≤377	≤426
Наименьшая допустимая толщина стенки, мм.	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

Трубопроводы пара и горячей воды подлежат отбраковке согласно табл. 6.6.

Таблица 6.6

Наружный диаметр, мм	≤38	≤51	≤70	≤90	≤108	>108
Наименьшая допустимая толщина стенки, мм.	1,45	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2

Результаты контроля толщинометрии оформляются в виде заключений или протоколов, в которых приводится наименование контролируемых элементов, схема расположения мест замера, толщины с указанием точек контроля и таблица значений измеренной толщины стенки, паспортная (номинальная) толщина стенки.

В Приложении IV приведена развертка корпуса и днищ конденсатора аммиачного кожухотрубного с указанием точек замера толщины стенок.

### **6.5.7. Контроль качества и физико-механических свойств конструкционных материалов**

При проведении технической диагностики и определения остаточного ресурса оборудования необходимо иметь следующую информацию о конструкционных материалах:

- о начальном состоянии и механических свойствах материалов;
- состоянии и свойствах материалов на момент диагностирования;
- характере и скорости процессов, протекающих в материале, при эксплуатации оборудования, которые изменяют его физико-механические свойства, химический состав.

Свойства конструкционных материалов регламентируются соответствующими стандартами и техническими условиями завода-изготовителя. При применении зарубежных марок материалов они должны быть идентифицированы с отечественными марками.

К числу контролируемых параметров конструкционных материалов относятся: химический состав, структура, механические свойства, коррозионно-стойкие и износостойкие свойства, теплофизические свойства.

Контроль этих свойств должен проводиться в обязательном порядке в следующих случаях:

- при отсутствии технической документации на объект;
- замены отечественных материалов на зарубежные;

- замены материалов при ремонтно-восстановительных работах;
- возможное изменение состава и свойств материалов при эксплуатации в результате изменения условий и режимов эксплуатации и т.п.

Замена материалов должна подтверждаться соответствующими актами, которые являются неотъемлемой частью технической документации на объект.

Лабораторные исследования основного металла и сварных соединений проводят на образцах основного металла и сварных соединений. Изготовление и испытание образцов необходимо производить в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

При лабораторных исследованиях определяются механические свойства, проводится металлографический анализ и определяется химический состав основного металла и сварных соединений. Химический состав определяется только в случае необходимости идентификации основных и сварочных материалов.

Металлографический анализ проводится с целью изучения строения металла.

По макроструктуре металла можно установить характер расположения в отливке усадочных раковин, шлаковых включений, усадочных трещин, степень межкристаллической неоднородности, характер и режим термической обработки и др.

При этом можно не только обнаружить дефект, но и вскрыть его природу (металлургическую, технологическую).

По микроструктуре можно определить загрязнение металла неметаллическими включениями, наличие микропор, полноту закалки и степень отпуска, глубину слоя при химико-термической обработке, концентрацию углерода в поверхностном слое, наличие межкристаллитной коррозии и др.

При проведении технической диагностики возникает необходимость измерения твердости как основного металла, так и сварных швов.

Методы испытания на твердость регламентированы стандартами, например:

- ГОСТ 9012 – по Бринелю;
- ГОСТ 9013 – по Роквеллу;
- ГОСТ 2999 – по Виккерсу;
- ГОСТ 23273 – по Шору.

Твердость, измеренная по одному из методов, может быть пересчитана в единицу твердости по другим методам. Для этого пользуются таблицами или по эмпирическим формулам.

Измерение твердости проводится в следующих случаях:

- для оценки механических свойств, при необходимости идентификации основных и сварочных материалов при отсутствии сведений о них, в случае необходимости идентификации импортных сталей;
- если показатель твердости является одной из определяющих

характеристик свойств основного металла и сварных соединений по паспорту и в результате условий эксплуатации (среда, температура, давление) или в результате аварийных ситуаций могли произойти необратимые изменения этого показателя;

- для оценки механических свойств по показателю твердости в случае возможных изменений этих свойств в результате изменения условий эксплуатации оборудования или в результате аварийной ситуации.

Поверхность металла при измерении твердости должна быть соответствующим образом подготовлена (удалена окалина и другие загрязнения, отполирована до шероховатости не более  $Ra = 2,5$  мкм).

В каждой точке производится не менее 3-х замеров и в протокол заносятся минимальные, максимальные и среднее значение твердости.

Если полученные результаты измерения не соответствуют требованиям нормативно-технической документации, то производится не менее двух дополнительных замеров на расстоянии 20-50 мм от точек, показавших неудовлетворительные результаты.

При подтверждении полученного значения твердости определяют размеры участка или длину шва с отклонениями по твердости. Количество дополнительных замеров твердости и их частоту определяют специалисты, проводившие обследование.

Твердость может служить критерием для оценки механических свойств металлов. Так величина твердости характеризует временное сопротивление (предел прочности на растяжение  $\sigma_B$ ) металлов – сталей и многих цветных металлов.

По значениям твердости можно определять также предел текучести  $\sigma_T$  и некоторые пластические свойства металлов (пластичность, вязкость).

Твердость характеризует предел выносливости сталей в отожженном состоянии, медных сплавов, дюралюминов.

Преимуществом использования твердости для оценки механических свойств материала является простота и высокая производительность метода измерения, выполняемого без разрушения конструкции.

Измерение твердости не требует изготовления специальных образцов и выполняется непосредственно на проверяемых деталях с помощью переносных твердомеров после зачистки на поверхности соответствующей площадки. Размер площадок определяется исходя из конструкции индентаторов твердомера. Оптимальным считается размер  $50 \times 50$  мм. Чистота поверхности должна быть не ниже  $Rz20$ .

### **6.5.8. Определение остаточного ресурса оборудования**

*Ресурс* (технический ресурс) – суммарная наработка изделия от начала его эксплуатации, или возобновления эксплуатации после ремонта, до наступления предельного состояния.

Различают полный, назначенный, остаточный ресурсы, ресурс до первого капитального ремонта, гамма-процентный ресурс и др.

При эксплуатации оборудования происходит снижение ресурса. Для обеспечения надежной работы оборудования необходимо знать его остаточный ресурс (остаточное время работы).

*Остаточный ресурс* – суммарная наработка изделия от момента контроля его технического состояния до наступления предельного состояния.

Остаточный ресурс определяется на основании условий эксплуатации оборудования, результатов технического диагностирования и критериев предельного состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса производится только для объектов, техническое состояние которых по результатам технического диагностирования оценивается как удовлетворительное.

Ресурс должен определяться по самому неблагоприятному режиму предстоящей эксплуатации.

Если остаточный ресурс определяют параллельно по нескольким критериям, то он принимается по тому критерию, который дает наименьшее значение остаточного времени работы.

В том случае, если расчетный остаточный ресурс превышает 10 лет, то его принимают равным 10 годам.

Остаточный ресурс определяется по критериям коррозии, эрозии, циклических нагрузок, по изменению механических характеристик металла, хрупкому разрушению, с учетом ползучести материала.

Остаточный ресурс сосудов и аппаратов, подвергающихся действию коррозии  $T_K$  и эрозии  $T_Э$ , определяется по формуле:

$$T_{к(э)} = \frac{S_p - S_\phi}{a}, \quad (6.1)$$

где  $S_p$  – расчетная толщина стенки элемента, мм;  
 $S_\phi$  – фактическая минимальная толщина стенки элемента (по результатам измерений), мм;  
 $a$  – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Если при проведении имеется только одно измерение контролируемого параметра  $S_\phi(t_1)$ , то скорость коррозии определяется по формуле:

$$a = \frac{S_u + C_o - S_\phi}{t_1}, \quad (6.2)$$

где  $S_u$  – исполнительная толщина стенки элемента, мм;  
 $C_o$  – плюсовой допуск на толщину листа металла, мм;  
 $t_1$  – время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

Для оборудования, работающего при циклических нагрузках в условиях малоциклического нагружения (до  $5 \cdot 10^5$  циклов),

допустимое число циклов нагружения  $[N]$  определяется из расчета циклической долговечности.

Ресурс работоспособности  $T_{ц}$  определяется по формуле:

$$T_{ц} = \frac{T_{э} \cdot [N]}{N_{э}}, \quad (6.3)$$

где  $T_{э}$  – время эксплуатации сосудов с момента его ввода в эксплуатацию, лет;

$N_{э}$  – количество циклов нагружения за период эксплуатации;

$[N]$  – допускаемое количество циклов нагружения.

При определении  $[N]$  используются минимальные значения толщины стенок элементов сосуда  $S_{\phi}$ , определенные при толщинометрии с учетом прибавки на коррозию на момент исчерпания ресурса циклической работоспособности сосуда  $T_{ц}$ .

Остаточный ресурс определяется по формуле:

$$T_{ост(ц)} = T_{ц} - T_{э}. \quad (6.4)$$

Если ресурс остаточной работоспособности определенный по выше приведенным формулам (6.3, 6.4) оказался исчерпанным, то необходимо провести очередное обследование сосуда или аппарата. При этом необходимо подвергнуть 100%-му контролю места концентраторов напряжений и сварные швы аппарата.

Прогнозирование остаточного ресурса можно осуществлять по изменению механических характеристик металла. В процессе эксплуатации оборудования в ряде случаев может происходить снижение механических характеристик материала отдельных элементов сосудов и аппаратов. Такое снижение может быть определено путем испытания образцов, изготовленных из контрольных вырезок или путем замера твердости металла.

Если снижение механических характеристик оказалось более 5% от нормативных, то определяют скорость снижения механических характеристик аналогично определению скорости коррозии.

Если снижение механических характеристик оказалось менее 5% от нормативных, то все расчеты отбраковочных размеров или допускаемого количества циклов нагружения проводят по фактическим механическим свойствам материала.

Остаточный ресурс с учетом ползучести материала (длительной прочности) определяется для оборудования, работающего при повышенных температурах. Значение температуры, при которой необходимо учитывать ползучесть, принимается равной 380<sup>0</sup>С и выше – для углеродистых сталей, 420<sup>0</sup>С и выше – для низколегированных сталей, 525<sup>0</sup>С и выше – для сталей аустенитного класса.

Остаточный ресурс оборудования, работающего в условиях ползучести при непрерывном режиме нагружения, определяется по формуле:

$$T = \frac{S_P - S_\Phi}{a}, \quad (6.5)$$

где  $S_P$  – расчетная толщина стенки, определяется по допускаемым напряжениям, учитывающим предел длительной прочности материалами стенки элемента, мм;

$S_\Phi$  – фактическая минимальная толщина стенки элемента (по результатам измерений), мм;

$a$  – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Прогнозирование остаточного ресурса по критерию хрупкого разрушения материала проводится в следующих случаях:

- минимальная температура стенки сосуда при рабочих режимах эксплуатации или при гидроиспытаний может быть меньше предусмотренной для применяемой стали;

- сталь или сварные соединения при рабочих режимах эксплуатации или испытаний имеет ударную вязкость ниже значений, предусмотренных в нормативно-технической документации;

- при диагностировании оборудования обнаружены дефекты, превышающие пределы, установленные нормами в нормативно-технической документации;

- при проведении технического диагностирования выявлены трещины, которые были заварены, и места ремонта проверены, на отсутствие дефектов.

Определение остаточного ресурса технологических трубопроводов, основным видом износа которых является общая коррозия, производится по формуле:

$$T = \frac{K(S_\Phi - S_{OTB})}{a_\Phi}, \quad (6.6)$$

где  $S_\Phi$  – фактическая минимальная толщина стенки элемента (труба, отвод, колено, тройник и др.), мм;

$S_{OTB}$  – отбраковочная толщина стенки элемента, мм;

$a_\Phi$  – фактическая скорость коррозионного и эрозионного износа, мм/год;

$K$  – коэффициент, зависящий от категории трубопровода и срока службы.

Для трубопроводов *I* категории, проработавших без замены:

- до 20 лет включительно –  $K=1,0$ ;

- от 20 до 30 лет включительно –  $K=0,95$ ;

- более 30 лет –  $K=0,90$ .

Для трубопроводов *II* и *III* категорий, проработавших без замены:

- до 30 лет включительно –  $K=1,0$ ;



- более 30 лет –  $K=0,95$ .

Для трубопроводов IV и V категорий, проработавших без замены до 20 лет и более –  $K=1,0$ .

Значение отбраковочной величины может приниматься из паспорта, нормативной документации или из расчета с учетом фактических свойств металла.

За остаточный ресурс трубопровода принимается минимальное из полученных значений расчетного ресурса.

В тех случаях, когда расчетный остаточный ресурс превышает десять лет, остаточный ресурс принимается равным десяти годам.

### **6.5.9. Испытание оборудования на прочность и герметичность**

При проведении технической диагностики после получения положительных результатов неразрушающего контроля, а также после устранения обнаруженных дефектов проводятся гидравлические или пневматические испытания технологического оборудования на прочность и герметичность. Предпочтение отдается гидравлическим испытаниям.

Пневматические испытания проводят в тех случаях, когда невозможно проводить гидравлические испытания по причине:

- когда опоры или конструкции не рассчитаны на вес воды, которой заполняют аппарат;
- возможно нарушение внутренних покрытий сосуда (аппарата);
- при низкой температуре окружающего воздуха;
- большая нагрузка на фундамент.

При гидравлических испытаниях температура воды должна быть не ниже  $5^{\circ}\text{C}$  и не выше  $40^{\circ}\text{C}$  или соответствовать указаниям нормативно-технической документации. Разрешается проводить испытания только при разнице температуры воды и окружающей среды не более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ . При большей разнице температуры возможно появление на наружной поверхности сосуда (аппарата) влаги (росы). Испытание разрешается проводить только после высыхания стенок.

Перед испытанием должен быть полностью удален из сосуда (аппарата) воздух; для этого в аппаратах предусмотрены краны–воздушники.

При гидравлических испытаниях применяются насосы с разным давлением нагнетания. Поднимать и повышать давление необходимо плавно, контролируя его значение по двум манометрам. Манометры выбираются одного типа, предела измерения, класса точности не ниже 2,5, одинаковой цены деления.

Время выдержки под пробным давлением зависит от толщины стенки и должно быть не менее 10 минут. Затем пробное давление снижают до рабочего, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда (аппарата), всех его разъемных, вальцовочных и сварных соединений.

При резком падении давления в процессе испытания или

возникновении шума, ударов внутри сосуда испытания прекращаются для установления и устранения причин нарушений.

Оборудование признается выдержавшим испытания, если не обнаружено на нем признаков разрыва, течи, трещин, слезок, потения и видимых остаточных деформаций.

При пневматических испытаниях воздух должен быть очищен от масла и осушен. Давление повышают до пробного поэтапно с выдержкой через определенные интервалы времени. Для этих испытаний используют специальные компрессоры.

После выдержки аппарата под пробным давлением в течение 5 минут давление снижают до рабочего и проверяют герметичность сварных соединений (швов) нанесением на них мыльного раствора. При испытании воздухом запрещается обслуживать оборудование, находящееся под давлением.

Гидравлические испытания сосудов и аппаратов, работающих при избыточном давлении более 0,07 МПа (за исключением литых), должны проводиться пробным давлением  $P_{\text{пр}}$ , определяемым по формуле:

$$P_{\text{пр}} = 1,25P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \quad (6.7)$$

где  $P$  – расчетное давление сосуда или аппарата, МПа;

$[\sigma]_{20}$ ,  $[\sigma]_t$  – допускаемые напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при 20<sup>0</sup>С и расчетной температуре  $t^{\circ}$ С, МПа.

Отношение  $[\sigma]_{20}/[\sigma]_t$  принимается по тому из материалов элементов (обечаек, днищ, фланцев) сосуда, для которого оно является наименьшим.

При испытании литых сосудов пробное давление  $P_{\text{пр}}$  определяется по формуле:

$$P_{\text{пр}} = 1,5P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}. \quad (6.8)$$

Пробное давление  $P_{\text{пр}}$  при испытании сосудов, изготовленных из неметаллических материалов, определяется по формуле:

$$P_{\text{пр}} = 1,6P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}. \quad (6.9)$$

Гидравлические испытания сосудов и аппаратов, работающих при давлении 0,07 МПа и ниже, должны проводиться пробным давлением  $P_{\text{пр}}$ , определяемым по формуле:

$$P_{\text{пр}} = 1,25P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \text{ но не менее } 0,1 \text{ МПа.} \quad (6.10)$$

Для сосудов и аппаратов, работающих под вакуумом, расчетное давление принимается  $P = 0,1$  МПа.

Гидравлические испытания эмалированных сосудов и аппаратов, независимо от рабочего давления, должны проводиться пробным давлением, указанным в паспорте сосуда предприятием-изготовителем.

Испытание сосудов и аппаратов, работающих без давления (под наливом), проводится путем заполнения сосуда водой и выдержкой не менее 4 часов до начала осмотра сварных швов с обстукиванием швов молотком.

Герметичность сварных соединений проверяют также «керосиновым методом», который заключается в следующем. На наружную сторону сварного шва наносят обмазку мелового раствора, после высыхания которой внутреннюю поверхность шва смачивают керосином не менее двух раз с интервалом 10 минут. Если в соединении имеются поры, неплотности, трещины, то на поверхности меловой обмазки через некоторое время образуются пятна, указывающие на наличие дефектов. Время выдержки при испытании смачиванием керосином зависит от толщины шва и положения шва (нижнее, вертикальное или потолочное) и назначается в пределах от 20 до 40 минут.

Гидравлические испытания технологических трубопроводов должны проводиться пробным давлением, определяемым по формуле:

$$P_{пп} = 1,25P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t}, \text{ но не менее } 0,2 \text{ Мпа.} \quad (6.11)$$

Время выдержки трубопровода под пробным давлением воды должно быть не менее 15 мин.

Результаты испытаний оборудования на прочность и герметичность с указанием пробного давления оформляются актом и должны быть занесены в паспорт или формуляр.

После устранения обнаруженных в результате испытаний дефектов проводятся повторные испытания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

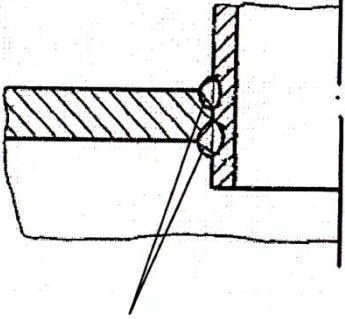
1. РД 09-539-38.08. Положение о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М. : Госгортехнадзор, 2003. – 12 с.
2. РД 03-421-01 Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определение остаточного ресурса службы сосудов и аппаратов. – М. : Госгортехнадзор, 2003. – 130 с.
3. ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
4. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнито-порошковый метод.
5. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
6. ГОСТ 20415-82 Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.
7. ГОСТ 20426-82 Методы дефектоскопии радиационные.
8. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
9. РД 13-06-2006 Методические указания о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на основном производственном объекте.
10. ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах.
11. Ермаков, В. И. Технология ремонта химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Л. : Химия, 1977. – 278 с.
12. Ермаков, В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 367 с.
13. Ремонтпригодность машин / под ред. П. Н. Волкова. – М. : Машиностроение, 1975. – 368 с.
14. Восстановление деталей машин : справочник / под ред. В. П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
15. Решетов, Д. Н. Надежность машин / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М. : Высшая школа, 1988. – 238 с.
16. Воронкин, Ю. Н. Методы профилактики и ремонта промышленного оборудования / Ю. Н. Воронкин, Н. В. Поздняков. – М. : Академия, 2002. – 240 с.
17. Валеев, С. И. Техническая диагностика : учебное пособие / С. И. Валеев,

- С. И. Поникаров. – Казань, 2015. – 124 с.
18. Кормильцын, Г. С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования / Г. С. Кормильцын. – Тамбов, 2008. – 120 с.
  19. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2005. – 490 с.
  20. Моцохин, С. Б. Контроль качества сварных соединений и конструкций / С. Б. Моцохин. – М. : Стройиздат, 1985. – 233 с.
  21. Бигус, Г. А. Техническая диагностика опасных производственных объектов / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев. – М. : Наука, 2010. – 415 с.
  22. Носов, В. В. Диагностика машин и оборудования : учебное пособие / В. В. Носов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб. : Издательство Лань, 2012. – 384 с.
  23. Сеницын, В. В. Подбор и применение пластичных смазок / В. В. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1974. – 414 с. : ил.; 22 см.
  24. Суденков, Е. Г. Восстановление деталей плазменной металлизацией / Е. Г. Суденков, С. И. Румянцев. – М. : Высшая школа, 1980. – 39 с.
  25. Ткачев, В. Н. Методы повышения долговечности машин / В. Н. Ткачев. – М. : Машиностроение, 1971. – 272 с.
  26. Фарамазов, С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С.А. Фарамазов. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ I**

Свидетельство об аттестации № \_\_\_\_\_ Срок действия: до \_\_\_\_\_

**Технологическая карта капиллярного контроля № \_\_\_\_\_**

 <p>контролируемые сварные швы</p>	<b>Зона контроля</b>		<b>Объект контроля</b>		Хранилище жидкого аммиака (сварка штуцера)	
	Номер чертежа		203.290.00.000СБ			
	Категория объекта контроля		1	по	ПБ 03-584-03	
	Объем контроля, %		100	в соответствии с		ПБ 03-584-03
	Документ, регламентирующий проведение контроля				ГОСТ 18442-80; РД 13-06-2006	
	Документ оценки качества		ОСТ 26-5-99			
	<b>Характеристика объекта контроля:</b>					
	Геометрические размеры		Ø108x6 мм		Марка материала	
	Состояние контролируемой поверхности		Rz 12,5 мкм			
	Ширина контролируемой зоны		Ширина сварного шва и 25 мм околошовной зоны с каждой стороны шва			
	<b>Средства контроля и их характеристики</b>					
	Контрольный образец по II классу чувствительности					
	Дефектоскопический набор		NORD-TEST			
	Лупа 2-7 кратного увеличения, часы, ветошь, переносная лампа					
	<b>Требования к квалификации персонала</b>					
Специалисты II уровня квалификации в соответствии с требованиями ПБ 03-440-02						
<b>Операция контроля</b>						
1) Визуальный осмотр поверхности. 2) Очистка поверхности органическими растворителями (ацетоном, спиртом) с последующей протиркой чистой сухой безворсовой х/б тканью. 3) Нанесение пенетранта в несколько слоев, с выдержкой не менее 5 мин. При контроле по участкам, их длина и площадь устанавливается так, чтобы не допускалось высыхание пенетранта до повторного его нанесения. 4) Удаление пенетранта влажной безворсовой х/б тканью смоченной очистителем (интенсивность удаления пенетранта и время контакта с поверхностью д. б. минимальным, чтобы исключить вымывание						

	<p>пенетранта из несплошностей).</p> <p>5) Проверка на полноту удаления пенетранта: после протирки - отсутствие красных следов на белой х/б ткани.</p> <p>6) Нанесение проявителя: в один слой (при наличии проблесков непокрытого металла, возможно, повторить нанесение, не допуская высыхания первого слоя), обеспечивая его одинаковую толщину. Подтеки и наплывы недопустимы.</p> <p>7) Оценка результатов контроля (по индикаторным следам, по фактическим характеристикам), с пометкой дефектных участков на ОК маркером по металлу (мелом).</p> <p>8) По результатам контроля заполнить журнал и оформить заключение.</p>
--	---

Разработал			
Утвердил			

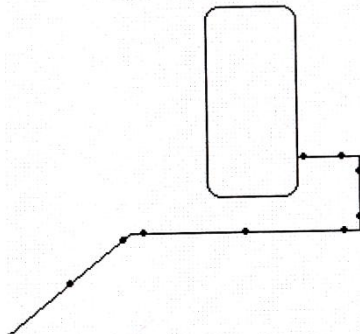
142

## ПРИЛОЖЕНИЕ II

Свидетельство об аттестации № \_\_\_\_\_ Срок действия: до \_\_\_\_\_

### Технологическая карта рентгеновского контроля № \_\_\_\_\_

<b>Схема контроля</b> эскиз трубопровода растворами МДА с указанием сварных соединений	<b>Объект контроля</b>		трубопровод раствора МДА			
	Номер чертежа		376.00.000			
	Категория объекта контроля		П-Б	по		
	Документ, регламентирующий проведение контроля			СТО СА 03-005-2010; ГОСТ 7512-82		
	Документ оценки качества		СТО СА 03-005-2010			
	<b>Характеристика объекта контроля:</b>					
	Геометрические размеры		Ø89x6.0 мм		Марка материала	Ст.20
	Вид сварки	РД	Тип сварного соединения		С15	по ГОСТ 5264-80
<b>Параметры контроля:</b>						

 	Объем контроля, %	100	в соответствии с	СТО СА 03-005-2010	
	Вид просвечивания по ГОСТ 7512-82	5В			
	Радиальная толщина, мм	20			
	Толщина, для оценки качества сварного соединения, мм	12			
	Требуемая чувствительность контроля, мм	0.2			
	Минимальное расстояние от источника излучения до поверхности объекта, мм	1780			
	Количество экспозиций, не менее	2 (через 90°)			
	Время экспозиции, имп. (сек)	15			
	<b>Средства контроля и их характеристики</b>				
	Тип, номер, место установки эталона чувствительности	канавочный №1, со стороны кассеты			
Маркировочные знаки №	5				
Тип рентгеновского аппарата	Импульсный АРИНА-3				
Размер фокусного пятна, мм	2.0				
Напряжение на трубке, кВ	180	Ток, мА			
Тип рентгеновской пленки	РТ-1В				
Тип усиливающих экранов	ЭУ-В2А				
Толщина защитных свинцовых экранов, мм	передний 0.9; задний 2.0				
<b>Требования к квалификации персонала</b>					
Специалисты II уровня квалификации в соответствии с требованиями ПБ 03-440-02					
<b>Требования к безопасности</b>					
1) РК должен проводиться только с использованием специальной, предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры. 2) Электрооборудование действующих установок для РК должно соответствовать требованиям «Правил устройств электроустановок». 3) При проведении РК должна быть обеспечена безопасность работ в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99/2010, НРБ-99/2009.					
<b>Указания по выполнению контроля (последовательность технологических операций):</b>		1) Радиографический контроль проводить после внешнего осмотра сварного шва и устранения обнаруженных наружных дефектов (неровностей, брызг металла, окалины и других загрязнений). 2) Выбрать наилучший участок сварного шва по результатам ВИК. Отметить на нем направление укладки радиографической пленки маркером по металлу. 3) Провести разметку изделия.			

1 – источник излучения;  
 2 – контролируемый участок;  
 3 – касса с пленкой

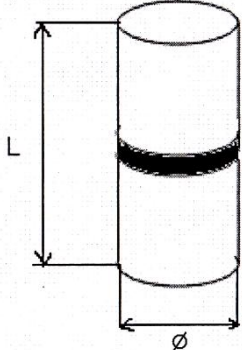
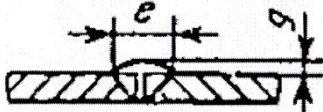


	<p>4) Установить эталон чувствительности.</p> <p>5) Установить маркировочные знаки.</p> <p>6) Прикрепить на шов радиографическую пленку в светонепроницаемых кассетах так, чтобы обеспечить плотное прилегание пленки к металлу шва и перекрытие изображений смежных участков сварного соединения не менее 20 мм.</p> <p>7) Оградить сигнальными знаками зону излучения.</p> <p>8) Установить источник излучения согласно схеме просвечивания. Установить время экспозиции. Отойти на безопасное расстояние и произвести просвечивание.</p> <p>9) По окончании просвечивания снять радиографическую пленку со стыка.</p> <p>10) Провести фотообработку экспонированной пленки.</p> <p>11) Провести расшифровку снимков с применением негатоскопов.</p> <p>12) Снимки допускаются к расшифровке, если удовлетворяют следующим требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- на снимках отсутствуют пятна, полосы, загрязнения и повреждения эмульсионного слоя, затрудняющие расшифровку;</li> <li>- должны быть видны эталоны чувствительности, изображение ограничительных меток и маркировка;</li> <li>- оптическая плотность изображений основного металла контролируемого участка должна быть не менее 1,5 ЕОП, разность оптических плотностей изображений эталона чувствительности и основного металла в месте установки эталона не должна превышать 1,0;</li> </ul> <p>13) По результатам расшифровки заполнить журнал и оформить заключение, в котором приводится описание обнаруженных дефектов, их размеры и расположение в стыке. Дать оценку качества данного сварного стыка.</p>		
Разработал			
Утвердил	Нач. (Зам. нач.) ЛТКДС		

**ПРИЛОЖЕНИЕ III**

Свидетельство об аттестации № \_\_\_\_\_ Срок действия: до \_\_\_\_\_

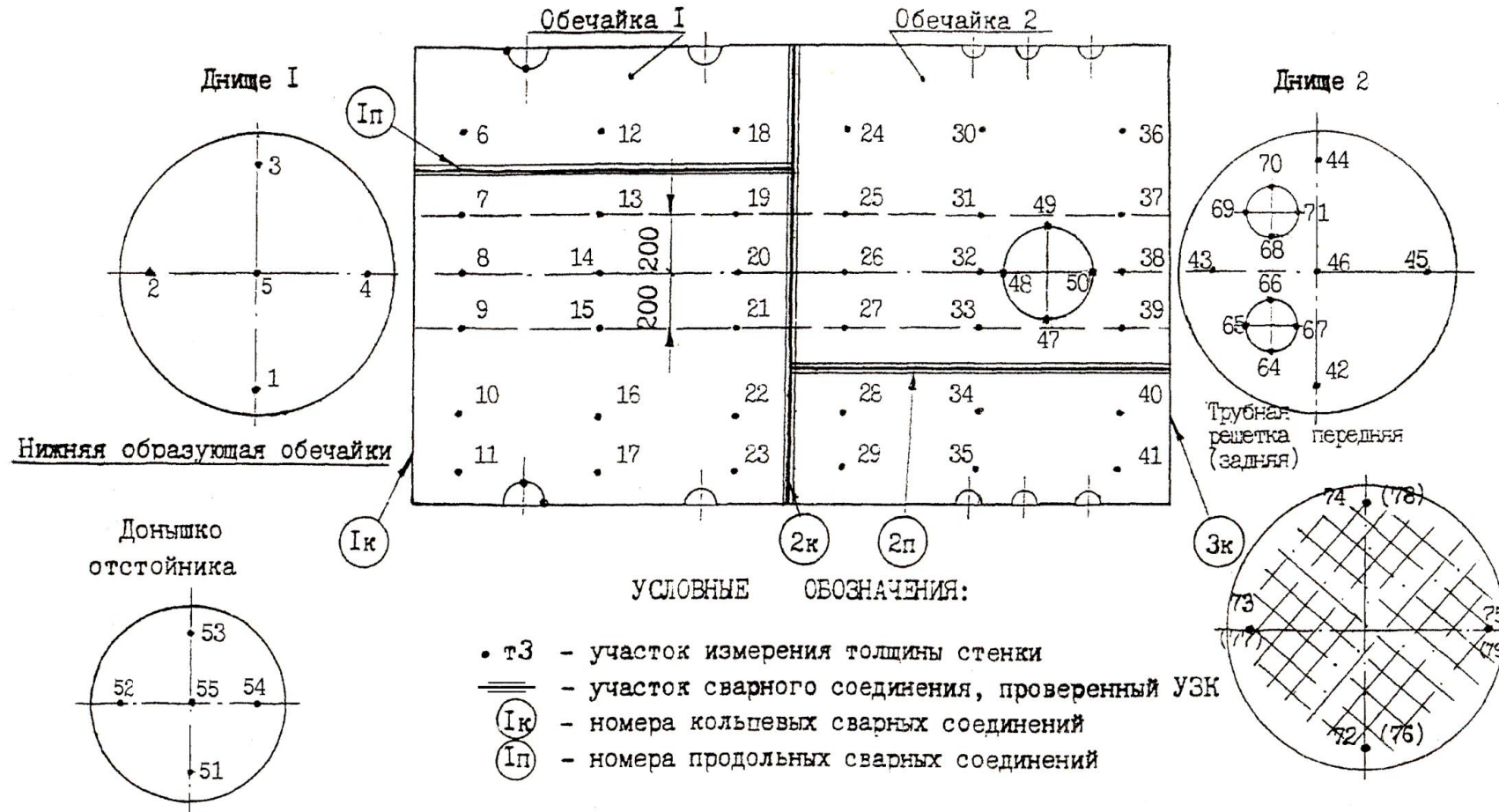
**Технологическая карта визуального и измерительного контроля № \_\_\_\_\_**

<p align="center"><b>Зона контроля</b></p>  <p align="center">L = 250 мм Ø = 57 мм</p> <p align="center"><b>Тип сварного соединения С2</b></p> 	<b>Объект контроля</b>		КСО		
	Номер чертежа		-		
	Категория объекта контроля		II	по	СНиП 3.05.05-84
	Объем контроля, %		100% визуальный	в соответствии с	п. 331 приказа Ростехнадзора от 27.12.2012 № 784
	Стадия контроля		готовое сварное соединение (КСО)		
	Документ, регламентирующий проведение контроля			СНиП 3.05.05-84	
	Документ оценки качества		РД 03-606-03, ГОСТ 16037-80, СНиП 3.05.05-84		
	<b>Характеристика объекта контроля:</b>				
	Геометрические размеры		Ø57x3.5 мм	Марка материала	12X18H10T
	<b>Требования к контролируемой поверхности</b>				
	<p>1) Контролируемая поверхность сварного шва и прилегающие к нему участки основного металла шириной не менее 20 мм должны быть очищена от ржавчины, окалины, грязи, краски, масла, продуктов коррозии и других загрязнений, препятствующих проведению контроля, до чистого металла.</p> <p>2) Зачистка поверхностей деталей перед контролем проводится металлическими щетками, напильником или абразивным кругом. После зачистки размеры ОК не должны уменьшаться за пределы минусовых допусков на сварной шов и основной металл.</p> <p>3) Шероховатость подготовленных под контроль поверхностей должна составлять не более Ra 12,5 мкм (Rz 80 мкм) согласно РД 03-606-03.</p> <p>4) Освещенность контролируемой поверхности должна быть достаточной для надежного выявления дефектов, но не менее 500 Лк.</p>				
	<b>Средства контроля и их характеристики</b>				
	Набор для проведения визуального и (или) измерительного контроля «ЛУЧ»				
	1) Лупа ЛП-6				
	2) Зеркало поворотное				
3) Фонарь миниатюрный					
<b>Требования к квалификации персонала</b>					
Специалисты II уровня квалификации в соответствии с требованиями ПБ 03-440-02					

<p>Параметры шва:</p> <table border="1"> <tr> <td>Толщина свариваемых элементов <math>S=3,5</math> мм</td> </tr> <tr> <td><math>e</math>, не более 8 мм</td> </tr> <tr> <td><math>g = 2,0^{+/-1,0}</math></td> </tr> <tr> <td>Смещение кромок, не более 0,5 мм</td> </tr> </table>	Толщина свариваемых элементов $S=3,5$ мм	$e$ , не более 8 мм	$g = 2,0^{+/-1,0}$	Смещение кромок, не более 0,5 мм	<b>Операции контроля</b>
	Толщина свариваемых элементов $S=3,5$ мм				
	$e$ , не более 8 мм				
	$g = 2,0^{+/-1,0}$				
Смещение кромок, не более 0,5 мм					
<p>Визуальный контроль сварных конструкций (узлов, элементов) предусматривает проверку:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) отклонений по взаимному расположению элементов сварной конструкции;</li> <li>2) наличия маркировки сварных соединений;</li> <li>3) наличия маркировки сварных конструкций (узлов);</li> <li>4) отсутствия поверхностных повреждений материала, вызванных отклонениями в технологии изготовления, транспортировкой и условиями хранения;</li> <li>5). отсутствие не удаленных приварных элементов.</li> </ol>					
<b>Перечень контролируемых параметров</b>					
<p>В сварном соединении визуально следует контролировать:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;</li> <li>2) отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала);</li> <li>3) качество зачистки металла в местах приварки временных технологических креплений, гребенок индуктора и бобышек крепления термоэлектрических преобразователей (термопар), а также отсутствие поверхностных дефектов в местах зачистки;</li> <li>4) качество зачистки поверхности сварного соединения изделия (сварного шва и прилегающих участков основного металла) под последующий контроль неразрушающими методами (в случае если такой контроль предусмотрен ПТД);</li> <li>5) наличие маркировки (клеймения) шва и правильность ее выполнения.</li> </ol> <p>По результатам внешнего осмотра и измерений сварные швы должны удовлетворять следующим требованиям:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) форма и размеры шва должны быть стандартными и соответствовать требованиям ГОСТ 5264-80;</li> <li>2) поверхность шва должна быть мелкочешуйчатой; ноздреватость, свищи, скопления пор, прожоги, незаплавленные кратеры, наплывы в местах перехода сварного шва к основному металлу труб не допускаются.</li> </ol> <p>Допускаются отдельные поры в количестве не более 3 на 100 мм сварного шва с размерами, не превышающими приведенных в Приложении № 14 приказа Ростехнадзора от 27.12.2012 №784</p>					

Разработал	Дефектоскопист		
Утвердил	Нач. (Зам. нач.) ЛТКДС		

РАЗВЕРТКА КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА



Учебное издание

Козловский Эдуард Алексеевич  
Повтарев Иван Александрович

**Технология ремонта и основы технической диагностики  
химического оборудования**

Учебное пособие

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 11.04.2017. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.  
Усл. печ. л. 8,60. Тираж 50 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный  
химико-технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
кафедры экономики и финансов ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7.

