

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования -
«Оренбургский государственный университет»

**С.И. БОГОДУХОВ, Е.В. БОНДАРЕНКО, А.Д. ПРОСКУРИН,
В.А. НЕДЫХАЛОВ, А.Г. СХИРТЛАДЗЕ, Р.М. СУЛЕЙМАНОВ,
В.И. ЮРШЕВ, А.С. КИЛОВ, Е.В. КАЛМЫКОВ**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МА- ШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Оренбург 2004

ББК 34.5 я73
М34
УДК 621 (075.8)

Рецензент

доктор технических наук, профессор Р.Т. Абдрашитов

Богодухов С.И., Бондаренко Е.В., Проскурин А.Д. и другие
М34 Материаловедение и технологические процессы машино-
строительного производства: Лабораторный практикум/
Под общей редакцией Заслуженного деятеля науки РФ,
член-корреспондента Академии инженерных наук РФ,
доктора технических наук, профессора, заведующего
кафедрой материаловедения и технологии материалов
Богодухова С.И. –Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 409с.

ISBN

Лабораторный практикум состоит из 16 лабораторных работ по ма-
териаловедению и 21 лабораторной работы по технологическим процес-
сам машиностроительного производства и технологии конструкционных
материалов. Каждая работа включает теоретическое изложение материала,
описание методики проведения работы и контрольные вопросы для
самоподготовки.

Лабораторный практикум предназначен для выполнения лабора-
торных работ по дисциплинам: «Материаловедение», «Технологические
процессы машиностроительного производства» и «Технология конст-
рукционных материалов» для студентов специальности 060800 (ЭУП);
100100 (ЭС); 100400 (Э); 180100 (ЭМ); 180400 (ЭП); 180700 (ЭТ);
120100 (ТМ); 120200 (МСК); 120600 (ТПИ); 150200 (ААХ); 170500
(МАХП); 170600 (МАПП); 190600 (ИДМБ); 210200 (АТП); 230100
(СТЭ); 240400 (ОБД); 290300(ПГС); 271300 (ПИМП).

М 2701000000

ББК 34.5 я73

ISBN

© Богодухов С.И., Бондаренко Е.В.,
Проскурин А.Д. и др., 2004
© ГОУ ОГУ, 2004

Введение

Методические указания составлены в соответствии с рабочими программами курсов «Материаловедение», «Технологические процессы машиностроительного производства» и «Технология конструкционных материалов».

Целью лабораторного практикума является практическое изучение основных свойств материалов, основных технологических процессов в машиностроении.

В результате выполнения лабораторных работ студент приобретает знания по методам определения основных свойств материалов и их переработке, прогрессивных технологий, умения и навыки обработки результатов эксперимента, устанавливает связь между теоретическими основами и их практическим воплощением.

В каждой работе приведены относящиеся к ней основные сведения, порядок выполнения работы, содержание отчёта, контрольные вопросы для самопроверки. В конце пособия приведен рекомендуемый библиографический список.

Лабораторный практикум подготовили:

- по курсу материаловедение доктор технических наук, профессор Богодухов С.И. /1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14/; кандидат технических наук, доцент Бондаренко Е.В. /1, 3, 10, 11/; кандидат технических наук, доцент Проскурин А.Д. /4, 6, 7/; кандидат технических наук, профессор Схиртладзе А.Г. /3, 13/; кандидат технических наук, доцент Килов А. С. /16/; преподаватель Калмыков Е.В. /5, 9, 15, 16/.

- по курсам технологические процессы машиностроительного производства и технология конструкционных материалов доктор технических наук, профессор Богодухов С.И. /18, 23, 33, 37/; кандидат технических наук, доцент Бондаренко Е.В. /19/; кандидат технических наук, доцент Проскурин А.Д. /19, 29, 30, 31, 36/; кандидат технических наук, доцент Недыхалов В.А. /17, 18, 35/; кандидат технических наук, профессор Схиртладзе А.Г. /34, 35, 36, 37/; кандидат технических наук, доцент Сулейманов Р. М. /20, 21, 24/; кандидат технических наук, доцент Юршев В. И. /25, 26, 27, 28, 29, 31, 32/; кандидат технических наук, доцент Килов А. С. /22/.

Перед началом работы в лаборатории студент должен ознакомиться с правилами техники безопасности:

1) приступить к выполнению работ можно только с разрешения преподавателя, после проведённого им инструктажа по технике безопасности;

2) на занятии студент выполняет только ту работу, которая указана преподавателем. Переход на другое рабочее место, без разрешения преподавателя, не допускается;

3) включение и выключение лабораторного оборудования производится только преподавателем, учебным лаборантом или по их разрешению студентами;

4) при выполнении лабораторной работы необходимо быть предельно внимательным, сосредоточенным, не проявлять спешки, суеты, рассеянности;

5) категорически запрещается находиться в опасной зоне работающего оборудования и в расстёгнутой одежде;

6) не допускается работа на оборудовании в расстегнутой одежде и с распущенными волосами;

7) работать в лаборатории в отсутствие преподавателя или лаборанта, а также в неустановленное время без разрешения преподавателя – запрещается;

8) категорически запрещается студентам выполнять в учебной лаборатории экспериментальные работы, не связанные с учебным лабораторным практикумом, в отсутствие преподавателя.

Часть I Материаловедение

1 Лабораторная работа № 1

Макро- и микроскопический методы исследования металлов и сплавов

1.1 Цель работы

1.1.1 Иметь представление о существующих методах исследования строения металлов и сплавов.

1.1.2 Ознакомиться с методами макроскопического анализа и изучить характерные виды макроструктур

1.1.3 Ознакомиться с устройством металлографического микроскопа, с методикой исследования микроструктуры металлов и сплавов, изготовлением шлифов.

1.1.4 Научиться пользоваться металлографическим микроскопом для исследования микроструктуры

1.2 Общие сведения о микроструктурном методе исследования строения металлов и сплавов

Свойства металлов и особенно сплавов весьма разнообразны и обуславливаются, прежде всего, химическим составом, а затем строением или структурой.

Для изучения структур металлов и сплавов применяются прямые и косвенные методы. К числу прямых методов относятся:

1) исследование макроструктуры невооружённым глазом по виду изломов или шлифованных и протравленных макрошлифов;

2) исследование микроструктуры при помощи оптического микроскопа с увеличением до 1500 раз, а также с применением электронного микроскопа с увеличением до 200 тыс. раз;

3) исследование атомно-кристаллической структуры с помощью рентгенографического анализа, позволяющего различать расстояния порядка 10^{-8} см.

К числу косвенных методов относятся: магнитный, дилатометрический, измерение электросопротивления и другие физические методы исследования, которые, хотя и не дают прямого изображения структуры, но всё же позволяют вскрыть кинетику происходящих в них превращений.

Кроме того, существуют методы исследования структуры путём определения твёрдости, микротвёрдости, механических и технологических свойств, а также проведения химического и спектрального анализов и пр.

1.3 Макроскопический анализ

Макроструктурным анализом или кратко макроанализом называется метод исследования строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольших увеличениях - до 30 раз. Строение металлов, изучаемое при помощи макроанализа, называется макроструктурой.

Метод макроскопического анализа позволяет:

- 1) исследовать излом для установления характера разрушения;
- 2) выявить дефекты, нарушающие сплошность металла - рыхлость, газовые пузыри, трещины, усадочные раковины, флокены, расслоения, свищи и другие дефекты в литых заготовках или полученных обработкой давлением, а также в сварных швах;
- 3) определить характер первичной кристаллизации и дендритной структуры в слитках или литых деталях;
- 4) определить химическую неоднородность сплава (ликвацию, в частности, ликвацию углерода и вредных примесей серы и фосфора), шлаковые включения, неметаллические включения;
- 5) определить неоднородность строения сплава, вызванную последующей обработкой давлением;
- 6) определить неоднородность состава и структуры, возникающую после термической или химико-термической обработки, например, зону цементации в стали.

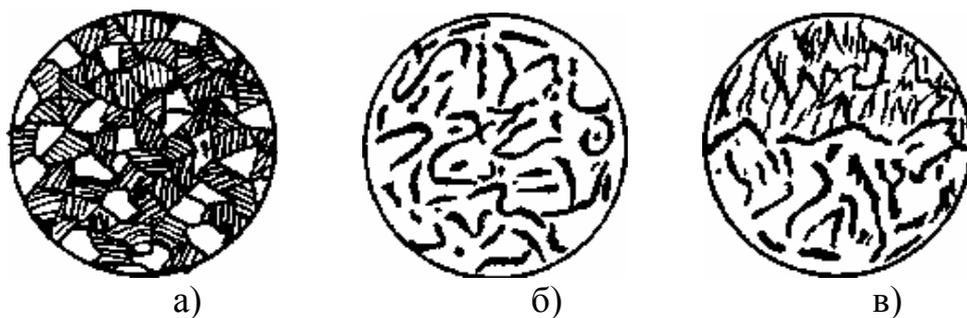
В задачу данного руководства не входит ознакомление со всеми видами дефектов, встречающихся в сталях, и методами их определения. Перечисленное выше должно способствовать пониманию того, что в металлах существуют многообразные факторы, нарушающие правильное строение металлов.

Изучение изломов - наиболее простой метод макроанализа. Этот метод прост и доступен. С помощью этого метода можно определить: форму и размеры зерен, разновидность излома, характер разрушения. Изучение металла по виду излома применяется для оценки качества металла. Например, мелкозернистый излом свидетельствует о более высоких механических свойствах, чем крупнозернистый.

По характеру разрушения различают три вида изломов: хрупкий, вязкий, а также усталостный (рисунок 1.1).

Хрупкий излом (рисунок 1.1 а) образуется при однократном статическом или динамическом нагружении без заметной предварительной пластической деформации. Излом имеет кристаллическое строение. Характерен для сталей, термообработанных на высокую прочность. В изломе обычно видно форму и размер зерен металла.

Вязкому излому (рисунок 1.1 б) предшествует значительная пластическая деформация. Излом имеет "волокнистое" строение, обусловленное сильной деформацией зерен.



а – хрупкий б – вязкий в - усталостный

Рисунок 1.1 - Виды изломов металлов

Усталостный излом (рисунок 1.1 в) образуется в результате зарождения и дальнейшего постепенного развития микротрещин под влиянием многократно повторяющихся циклических нагрузок. Усталостный излом имеет две зоны разрушения: усталостную зону предварительного разрушения с гладкой притертой поверхностью и зону долома. Зона долома образуется, когда поперечное сечение детали уже настолько ослаблено трещиной, что оказывается недостаточным для сопротивления действующей нагрузке. Окончательное разрушение металла происходит внезапно. Зона долома хрупких металлов имеет грубое кристаллическое строение, а зона долома вязких металлов - волокнистое.

Излом позволяет обнаружить различные дефекты металла (пустоты, трещины, газовые пузыри) и дефекты обработки. По излому можно определить глубину закаленного слоя. Закаленный образец ломают и по виду излома делают заключение о глубине закалки: закаленный слой имеет волокнистый излом, а незакаленная зона - кристаллический.

Не все дефекты и особенности строения металлов могут быть обнаружены в изломе. Для выявления дефектов, нарушающих сплошность металлов, определения химической неоднородности стали, определения неоднородности стали, созданной горячей обработкой давлением и других, применяют макрошлифы.

Макрошлифом называется образец металла, поверхность которого подготовлена для макроанализа. Подготовка образца заключается в вырезке его из интересующего участка изделия с последующей шлифовкой. В зависимости от химического состава сплава и целей макроанализа реактивы для выявления соответствующих дефектов могут быть различными. Так, для выявления характера распределения серы применяют метод Баумана, который нашел широкое применение в практике. Он заключается в том, что на макрошлиф накладывают предварительно смоченную в 5 % растворе серной кислоты бромосеребряную фотографическую бумагу. При выдержке в течение 2-3 минут между сульфидами серы и серной кислотой протекает реакция с выделением сероводорода. Последний взаимодействует с бромистым серебром.

ром и образует сернистое серебро, имеющее на фотобумаге темно-коричневый цвет, который указывает на участки, обогащенные серой.

Наиболее часто и характерно применение макроанализа для контроля сварных соединений. Его производят на макрошлифах с применением травления в специальных травителях.

Дефектами сварных соединений являются:

1) непровар - местное несплавление металла вследствие неполного расплавления кромок;

2) подрез зоны оплавления - местное углубление вдоль линии сплавления сварного шва;

3) трещины (продольные, поперечные, разветвленные, микротрещины, сетка трещин) сварного соединения, разрыв в сварном шве и прилегающих к нему зонах;

4) поры сварного шва - полости округлой формы наполненные газом;

5) неметаллические включения - шлаковые, окисные и другие частицы в металле шва.

1.4 Микроскопический анализ

Микроскопический метод исследования металлов и сплавов или кратко микроанализ, предусматривает изучение структуры металла при помощи металлографического микроскопа. Между микроструктурой и многими свойствами металла существует достаточно определенная связь. Поэтому микроанализ имеет большое значение.

Микроскопический анализ включает: приготовление микрошлифа, выявление микроструктуры (травление), исследование структуры под микроскопом. Наблюдаемая в микроскопе картина строения металла называется микроструктурой. Микроструктура металлов и сплавов характеризуется количеством, формой и расположением фаз и размером зерна, которые влияют на механические свойства сплавов. Микроанализ применяется для определения формы и размеров зерен, для выявления микропороков металла - микротрещин, раковин, пористости, микровключений, ликвации.

1.5 Приготовление микрошлифов

Изучать структуру металла с помощью микроскопа можно лишь при отражении световых лучей от поверхности исследуемого металла. Небольшой отражающей способностью обладает ровная и плоская блестящая поверхность. Поэтому поверхность образца для микроанализа должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для микроанализа, называется микрошлифом.

Микрошлиф представляет собой специальный образец металла, имеющий зеркальную поверхность, которая получается тщательным шлифованием и полированием.

Наиболее удобными для изготовления шлифов являются образцы цилиндрического или квадратного сечения диаметром или стороной квадрата 10-20 мм и высотой 15-30 мм. При изготовлении образцов малого размера из листов или проволоки следует применять зажимы или заливать их прозрачной пластмассой. Поверхность образца вначале выравнивается на абразивном круге, а затем подвергается шлифованию.

Шлифование проводят на наждачной шлифовальной бумаге разной зернистости, последовательно переходя от бумаги с крупным абразивным зерном к бумагам все меньшей зернистости.

Чтобы получить хорошее качество подготавливаемой поверхности образца шлифование с самого начала надо вести правильно и аккуратно. Нельзя переходить с крупнозернистой шлифовальной бумаги сразу на мелкозернистую. В этом случае грубые риски полностью не устраняются, промежутки между ними заполняются металлом, опилками, наждаком, и поверхность образца только с виду кажется хорошо подготовленной. После дальнейшей обработки поверхности (полирования, травления) легко растворимый металл и опилки будут удалены, и резко выступят грубые риски, которые придётся удалять повторным шлифованием.

При шлифовании также не следует сильно нажимать на образец для ускорения работы, что иногда практикуется, так как это может вызвать заметный нагрев шлифуемой поверхности и внедрение абразивных зёрен в металл, в результате чего на микрошлифе будут чёрные точки.

После шлифования необходимо смыть водой остатки абразива и приступить к полированию для удаления оставшихся мелких рисок.

Полирование осуществляется с помощью полировального станка, состоящего из обтянутого сукном диска, смачиваемого суспензией мелкого твёрдого порошка в воде. Частота вращения круга от электродвигателя 700-800 об/мин. Во время полирования нужно постоянно смачивать диск, чтобы диск ни на секунду не был сухим, так как при этом он может окислиться и испортиться. В зависимости от материала и твёрдости образца могут применяться различные виды абразивов: оксиды алюминия, магнезия, хрома, пасты ГОИ.

Полирование заканчивается при получении зеркальной поверхности шлифа. Образец промывается водой и быстро высушивается прикладыванием полированной стороны к фильтровальной бумаге (осторожно); касаться пальцами полированной стороны нельзя, так как это портит шлиф.

С помощью металлографического микроскопа до травления на зеркальной поверхности шлифа можно наблюдать только дефекты (микротрещины, микропоры) и неметаллические включения (оксиды, сульфиды, нитриды, силикаты, графит) в чугунах. Для стали разработаны методы выявления природы неметаллических включений и оценка их количества. Количественная оценка может быть осуществлена путём подсчёта включений и путём сопоставления наблюдаемой под микроскопом картины со стандартными шкалами.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению. Травление производят в растворах кислот, щелочей, солей и в специальных реактивах. Однофазные структуры зерен различной кристаллографической ориентировки имеют различную степень растворения или окрашивания при воздействии реактива-травителя. На участках стыков зёрен (граница зерна) скапливается наибольшее количество примесей, концентрируются искажения решётки, и поэтому травимость увеличивается. Такая структура при рассмотрении под микроскопом будет представлять зёрна различной окраски с ясно различимыми границами.

При травлении многофазных структур отдельные фазовые составляющие – зёрна чистых металлов, твёрдых растворов или химических соединений дают различную степень растворения при воздействии реактива-травителя. После травления на поверхности шлифа вследствие разной травимости структурных составляющих образуется рельеф.

При освещении протравленного микрошлифа на металлографическом микроскопе лучи света будут по-разному отражаться от различно протравленных фазовых составляющих.

Фазовые составляющие, протравившиеся слабо, отразят больше лучей света и будут казаться светлыми; фазовые составляющие, протравившиеся сильно, отразят вследствие рассеяния света меньше лучей и будут казаться тёмными.

Наиболее часто применяют следующие реактивы для травления сталей и чугунов:

а) 4 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте (для углеродистых сталей и чугунов);

б) 4 %-ный раствор пикриновой кислоты в спирте (для закалённых сталей);

в) пикриновая кислота и водный раствор едкого натрия для выявления карбидов.

Признаком протравления является потускнение поверхности шлифа. После травления микрошлиф промывают ватой, смочённой в спирте, а затем просушивают прикладыванием фильтрованной бумаги.

В результате травления должно быть чёткое выявление микроструктуры. Если структура недостаточно выявлена, следовательно, шлиф недотравлен и его травят повторно. Если структура получается слишком тёмная, следовательно, шлиф перетравлен. Тогда его нужно снова полировать и травить, уменьшив время выдержки или ослабив травитель.

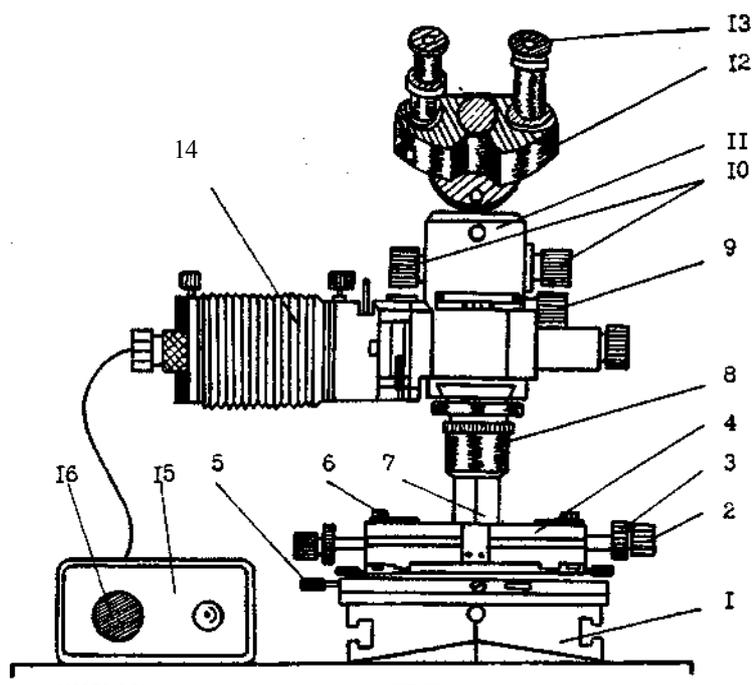
При выявлении структуры металлов, отличающихся высокой химической стойкостью, не всегда удаётся выявить структуру при химическом травлении. В таких случаях следует применять электролитическое травление. Электролитическое травление проводят на специальной установке. Шлиф помещают в электролит. Этот же шлиф является анодом. Катодом при травлении служит нержавеющая сталь. Напряжение при электролитическом травлении составляет от 2 до 6 В. Решающее значение для успешного распо-

знания микроструктуры имеет правильный выбор состава электролита, электрического режима и продолжительности травления.

1.6 Устройство металлографического микроскопа ММУ-3

Микроскоп металлографический упрощенный ММУ-3 состоит из оптической, осветительной и механической систем (рисунок 1.2).

Рабочие параметры любого микроскопа определяются его оптической системой. Основные элементы оптической системы – объектив и окуляр (рисунок 1.2).



- 1 - основание; 2 - рукоятка продольного перемещения столика;
- 3 - рукоятка поперечного перемещения столика; 4 - столик;
- 5 - винт; 6 - пружинные клеммы; 7 - колонка; 8 - объектив;
- 9 - рукоятка грубой наводки; 10 - рукоятка точной наводки;
- 11 - тубус; 12 - бинокулярная насадка; 13 - окуляры; 14 –осветитель;
- 15 - блок питания; 16 - рукоятка регулирования накала лампы.

Рисунок 1.2 - Металлографический микроскоп ММУ-3

Объектив 8 представляет собой систему линз, установленных в общей оправе и обращенных к рассматриваемому объекту. Основное назначение объектива - создание действительного увеличенного изображения в плоскости объекта окуляра. Оптические характеристики объектива (фокусное расстояние F и числовая апертура) обозначены на его оправе.

Окуляр 13 представляет собой систему линз, установленных в одной оправе и обращенных к глазу наблюдателя. Окуляр даёт мнимое изображе-

ние, увеличивая изображение, полученное объективом. Значение собственного увеличения (кратность) окуляра нанесено на его оправе.

Осветительная система состоит из осветителя, линз, светофильтров и диафрагм. Питание лампы осуществляется через блок питания. Рукоятка 16 служит для регулировки накала лампы.

Механическая система у микроскопа имеет штатив, тубус 11 и предметный столик. Микрошлиф устанавливается на предметный столик 4, который перемещается в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях с помощью винтов 2 и 3 (рисунок 1.2).

Это позволяет перемещать шлиф на нужное расстояние и просматривать микроструктуры в различных участках без изменения фокусного расстояния

Для получения чёткого изображения микроструктуры шлифа вращением рукоятки 9 производят приблизительное фокусирование. Вращением рукоятки 10 производят микрометрическую фокусировку. Увеличение микроскопа подбирают путём комбинации объективов и окуляров, перемножая их собственные увеличения или пользуясь таблицей 1.1.

Таблица 1.1 - Увеличения микроскопа ММУ-3

| Объективы | Окуляры | | |
|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | 10 ^x | 12,5 ^x | 15 ^x |
| F = 25мм, A = 0,17 | 80 | 100 | 120 |
| F = 10мм, A = 0,40 | 200 | 250 | 300 |
| F = 6,3 мм, A = 0,65 | 317 | 396 | 476 |

1.7 Порядок выполнения работы

1.7.1 Ознакомьтесь с руководством.

1.7.2 Определите характер излома полученных образцов, зарисуйте и опишите виды изломов.

1.7.3 Изучите устройство микроскопа ММУ-3, пользуясь настоящим руководством. При изучении микроскопа необходимо найти объектив, окуляр, осветитель, научиться пользоваться рукоятками грубой и точной наводки на фокус.

1.7.4 Определите общее увеличение микроскопа. Для этого:

1) выпишите характеристики оптической системы микроскопа (на оправке объектива нанесены фокусное расстояние и апертурное число, на оправке окуляра - кратность его увеличения);

2) по таблице найдите общее увеличение микроскопа (для установленных на микроскопе объективе и окуляра).

1.7.5 Рассмотрите микрошлифы в микроскоп до травления и зарисуйте обнаруженные неметаллические включения, а для чугуна – графит.

1.7.6 Зарисуйте микроструктуру стали и чугуна, выявленную травлением, и дайте пояснения к ней.

1.8 Содержание отчёта

1.8.1 Цель работы.

1.8.2 Описать излом одного образца.

1.8.3 Перечислить дефекты выявляемые макроанализом.

1.8.4 Описать порядок работы на микроскопе. Кратко описать методику приготовления микрошлифа.

1.8.5 Зарисовать микроструктуру образцов стали и чугуна.

1.9 Контрольные вопросы

1.9.1 Каковы основные методы исследования строения металлов и сплавов? Дайте определение макроанализа, макрошлифа.

1.9.2 Какие дефекты металла и особенности его структуры позволяет выявить макроанализ?

1.9.3 Какие бывают виды изломов и как они различаются?

1.9.4 Назовите дефекты сварных соединений.

1.9.5 Дайте определение микроанализа, микрошлифа.

1.9.6 Как приготовить микрошлиф? Для чего производят травление?

1.9.7 Устройство и работа микроскопа ММУ-3.

1.9.8 Назначение травителей.

2 Лабораторная работа № 2

Испытание металлов на твёрдость

2.1 Цель работы

Ознакомиться с основными методами определения твердости металлов и сплавов, приобрести навыки измерения твердости на различных приборах.

2.2 Общие сведения

Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания. Вдавливается стальной шарик или алмазный наконечник (конус или четырехгранная пирамида).

Твердость – это свойство поверхностного слоя материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела (индентора) установленной формы и размеров. Однако такое определение не является общим, т. к. существуют и другие методы определения твердости, основанные не на принципе вдавливания, а на принципе царапания, маятниковом методе, методе упругой отдачи, динамическом методе и др.

Твердость имеет большое практическое значение, так как характеризует многие рабочие свойства металлов и сплавов, например, износостойкость, режущие свойства и др. Поэтому сложные и требующие времени испытания на растяжение, ударную вязкость и т. д. часто заменяют испытаниями на твердость, которые выполняются значительно быстрее и не требуют больших затрат. Твердость связана определенным соотношением с пределом прочности при растяжении σ_b .

Испытание на твердость может производиться непосредственно на детали без ее разрушения. Поэтому оно широко применяется не только для изучения свойств металла, но и как метод контроля качества металла в готовых изделиях.

В зависимости от формы индентора (шарик, конус, пирамида) и измеряемой величины (отношение нагрузки к площади полученного отпечатка) различают три метода определения твердости материала: определение твердости по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу.

2.3 Основные методы определения твердости

2.3.1 Метод Бринелля

При измерении твердости по Бринеллю в испытуемый образец вдавливают индентор в виде стального закаленного шарика диаметром D под нагрузкой P , приложенной в течение определенного времени твердость измеряют на приборах ТШ-2 или ТП-2. После снятия нагрузки на поверхности металла образуется отпечаток в виде сферической лунки диаметром d (рисунок 2.1).

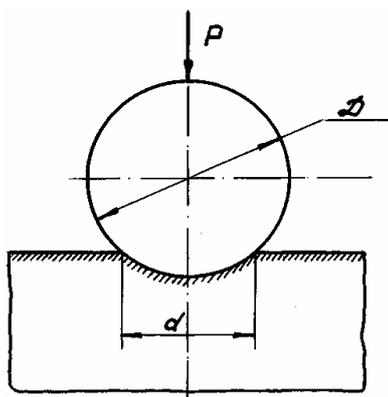


Рисунок 2.1 - Схема измерения твердости по методу Бринелля

Число твердости по Бринеллю HB (МПа) определяется отношением приложенной нагрузки P (МН) к площади поверхности сферического отпечатка F (m^2):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (2.1)$$

где D – диаметр вдавливаемого шарика, м;

d – диаметр отпечатка, м;

Число твердости по Бринеллю по ГОСТ 9012-59 записывают без единиц измерения. На практике при измерении твердости расчет по указанной формуле не проводят, а используют таблицы. Необходимо отметить, что определение твердости по методу Бринелля допускается для сталей, твердость которых не более 450 HB, цветных металлов с твердостью не более 200 HB.

Между пределом прочности σ_B , МПа, и числом твердости HB, МПа, различных металлов существует следующая приближенная зависимость:

$$\sigma_B = k \cdot HB,$$

где k – коэффициент.

Сталь с твердостью HB:

$$1200 - 1750 \dots\dots\dots \sigma_B \approx 3,4 \cdot HB$$

1750 – 4500..... $\sigma_g \approx 3,5 \cdot \text{HV}$

Медь, латунь, бронза:

отожженная..... $\sigma_g \approx 5,5 \cdot \text{HV}$

наклепанная..... $\sigma_g \approx 4,0 \cdot \text{HV}$

Алюминий и алюминиевые сплавы с твердостью

HV = 200 – 450..... $\sigma_d \approx 3,3-3,6 \cdot \text{HV}$

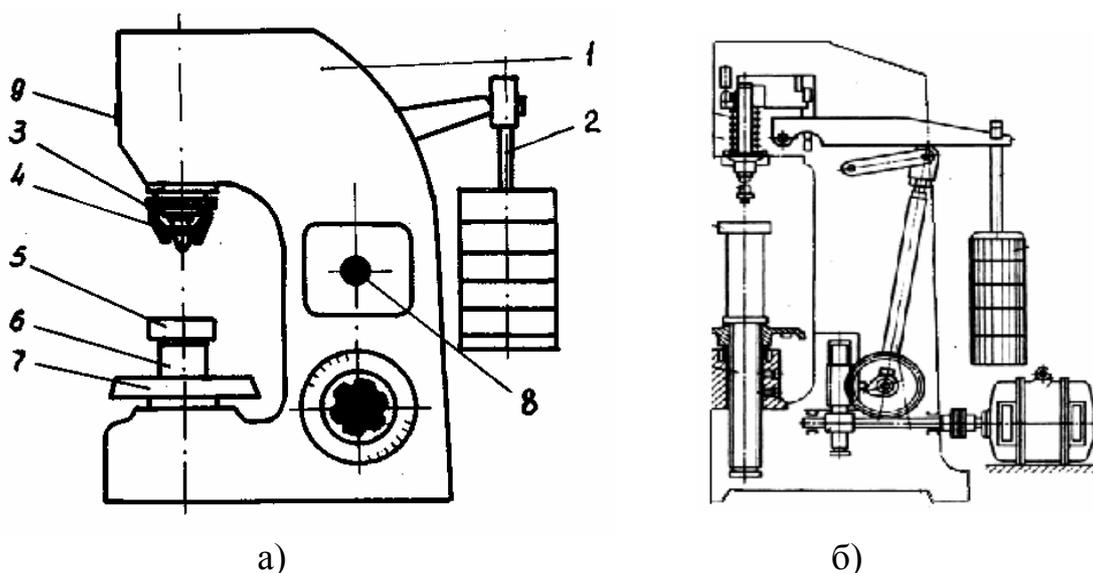
Дуралюмин:

отожженный..... $\sigma_g \approx 3,6 \cdot \text{HV}$

после закалки и старения..... $\sigma_g \approx 3,5 \cdot \text{HV}$

2.3.2 Прибор ТШ-2 для испытания металлов на твердость по методу Бринелля

Прибор ТШ-2 (рисунок 2.2) предназначен для измерения твердости по методу вдавливания стального шарика в соответствии с методикой ГОСТ 9012-59.



а – общий вид; б – схема;

1 – станина прибора; 2 – подвеска с грузами; 3 – шаровой индентор; 4 – ограничитель; 5 – сменный стол; 6 – винт;

7 – маховик; 8 – пусковая кнопка; 9 – сигнальная лампа

Рисунок 2.2 - Прибор ТШ-2

При испытаниях на твердость применяют шарики диаметром 10; 5 или 2,5 мм в зависимости от толщины испытуемого материала.

Механизмы прибора (механизмы привода, подъема стола, подъема рычажного устройства, реверсирования, нагружения) смонтированы на литой чугуновой станине 1.

Механизм нагружения состоит из подвески с грузами 2, которые через систему рычагов создают необходимые испытательные нагрузки на шаровом инденторе 3.

Механизм привода, состоящий из электродвигателя и червячного редуктора, обеспечивают работу механизма нагружения и возврата его в исходное состояние. Работа прибора протекает в автоматическом цикле.

Механизм подъема стола состоит из сменного стола 5, винта 6 и маховика 7. Включение прибора осуществляется пусковой кнопкой 8.

Перед проведением испытания следует, в зависимости от твердости материала, выбрать величину испытательной нагрузки и соответствующий индентор (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Ориентировочные параметры испытаний

| Материал | Твёрдость по Бринеллю, НВ $\frac{МПа}{(кгс / мм^2)}$ | Минимальная толщина испытуемого образца, мм | Диаметр шарика, мм | Нагрузка, Н (кгс) |
|---|---|---|--------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Черные металлы | $\frac{1370 - 4410}{(140 - 450)}$ | 6 - 3 4 - 2 менее 2 | 10 5 2,5 | 29420 (3000) 7355 (750) 1840 (187,5) |
| Черные металлы | $< \frac{1370}{(140)}$ | более 6 6 - 3 | 10 5 | 9807 (1000) 2452 (250) |
| Цветные металлы и сплавы (медь, латунь, бронза и т.д.) | $> \frac{1270}{(130)}$ | 6 - 3 4 - 2 менее 2 | 10 5 2,5 | 29420 (3000) 7355 (750) 1840 (187,5) |
| Цветные металлы и сплавы (медь, латунь, бронза и т.д.) | $\frac{340 - 1270}{(35 - 130)}$ | 9 - 3 6 - 3 | 10 5 | 9807 (1000) (250) |
| Цветные металлы и сплавы (алюминиевые, подшипниковые сплавы и т.д.) | $\frac{78 - 340}{(8 - 35)}$ | более 6 | 10 | 2452 (250) |

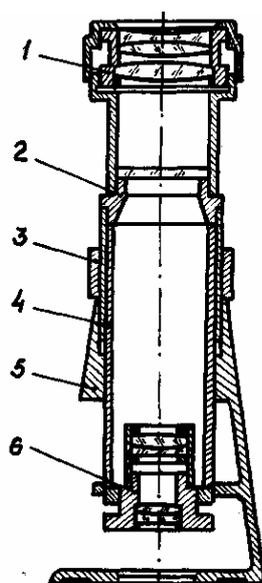
Для шарика диаметром 10 мм при стандартном испытании применяют нагрузку 29420 Н (3000 кгс).

В случае шарика меньшего диаметра необходимо сохранять постоянное соотношение нагрузки к квадрату диаметра шарика.

$$\frac{P}{D^2} = \frac{3000}{100} = 30 \quad (2.2)$$

Диаметр шарика и соответствующую нагрузку следует выбирать так, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах от 0,2 до 0,6.

Твердость испытуемого образца определяется путем измерения диаметра отпечатка при помощи микроскопа МПБ-3 (рисунок 2.3) и подсчета по формуле (2.1) или по таблицам (ГОСТ 9012-59).



1 – окуляр; 2 – сетка; 3 – установочное кольцо;
4 – тубус; 5 – колонка; 6 – объектив.

Рисунок 2.3 - Общий вид микроскопа МПБ-3

2.3.3 Метод Виккерса

При измерении твердости по Виккерсу в поверхность шлифованного материала вдавливают алмазный индентор в форме правильной четырехгранной пирамиды. Испытания проводят на приборе ТП-2. После снятия нагрузки P измеряют диагонали отпечатка в виде квадрата, оставшегося на поверхности образца (рисунок 2.4).

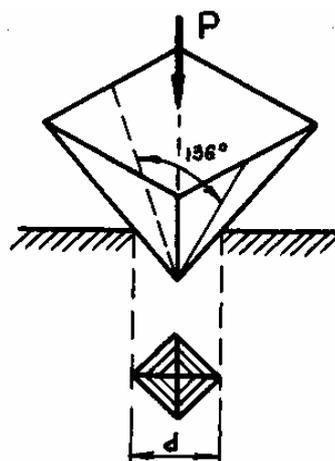


Рисунок 2.4 - Схема измерения твердости по методу Виккерса

Твердость HV (МПа) определяют как отношение нагрузки P к площади боковой поверхности F пирамидального отпечатка:

$$HV = \frac{P}{F} = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2}, \quad (2.3)$$

где P – нагрузка, Н;

d – среднее арифметическое значение длины обеих диагоналей отпечатка, мм.

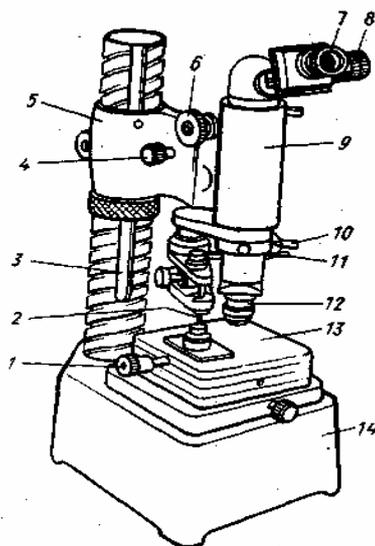
На практике число твердости определяют по специальным таблицам по значению диагонали отпечатка при выбранной нагрузке.

По Виккерсу можно испытывать как мягкие, так и высокотвердые металлы, можно измерять твердость образцов толщиной до 0,3 – 0,5 мм. Метод Виккерса особенно удобен при определении твердости поверхностно-упрочненных деталей, имеющих сложную конфигурацию, например, цементованных, азотированных или цианированных зубьев шестерен. Числа твердости по Виккерсу можно перевести в числа твердости по Роквеллу, а также в числа твердости по Бринеллю по таблицам (Приложение А).

Числа твердости по Виккерсу и Бринеллю имеют одинаковую размерность и для материалов с твердостью до 450 НВ практически совпадают.

2.3.4 Измерение микротвердости

Методом определения микротвердости оценивают твердость отдельных структурных составляющих: отдельных зерен карбидов, металлических соединений или тонких слоев, получающихся в результате химико-термической обработки и гальванических покрытий, тонких полуфабрикатов (лент, фольги, проволоки). Для этих целей используют приборы моделей ПМТ – 3, (рисунок 2. 5), ПМТ-5.



1 – микровинты для перемещения предметного столика;
 2 – алмазный наконечник; 3 – колонка; 4 – винт тонкой подачи;
 5 – кронштейн; 6 – винт грубой подачи; 7 - окуляр; 8 – окулярный
 микрометр; 9 – тубус микроскопа; 10 – винты; 11 – осветитель;
 12 – объектив; 13 – предметный столик; 14 - основание

Рисунок 2.5 – Прибор ПМТ-3

Определение микротвердости основано на вдавливании под нагрузкой от 0,005 Н (5 гс) до 2 Н (200 гс) в испытуемый образец алмазной четырехгранной пирамиды и последующем измерении диагонали отпечатка с помощью микроскопа при увеличении до 485 раз.

Поверхность исследуемого образца должна быть отполирована и подвергнута травлению. Значения микротвердости определяют по специальным таблицам (ГОСТ 9450-76) или по той же формуле (2.3), что и твердость по Виккерсу.

На рисунке 2.6 показаны отпечатки, полученные на отдельных структурных составляющих углеродистой стали, содержащей 0,4 % углерода, большой отпечаток (а) получен на мягком феррите, а отпечаток меньших размеров (б) – на твердом перлите.

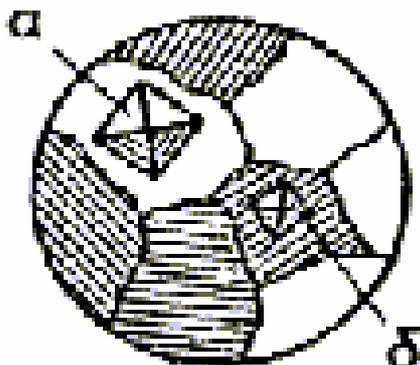
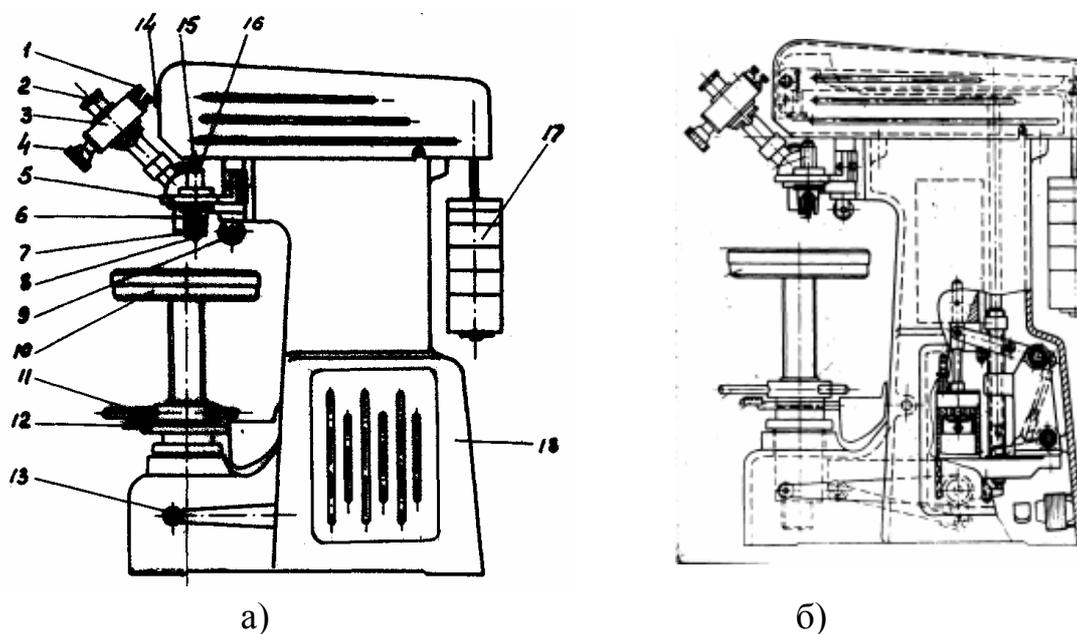


Рисунок 2.6 - Отпечатки, полученные при определении микротвердости

2.3.5 Приборы для испытания на твердость методами Виккерса и Бринелля



а - общий вид; б - схема;
 1 - микрометрический винт; 2 - окуляр; 3 - микроскоп; 4 - барабанчик;
 5 - поворотная головка; 6 - объектив; 7 - защитный чехол;
 8 - индентор; 9 - рукоятка; 10 - стол; 11 - маховик; 12 - клавиша;
 13 - рычаг; 14 - сигнальная лампа; 15 - промежуточный шпindelь;
 16 - рабочий шпindelь; 17 - подвеска с грузом; 18 - станина.

Рисунок 2.7 - Прибор ТП-2

Прибор ТП-2 (рисунок 2.7) предназначен для измерения твердости по Виккерсу по методу вдавливания алмазной пирамиды (ГОСТ 2999-75) при нагрузках, Н(кгс): 49(5); 98(10); 196(20); 294(30). Прибор позволяет производить испытания твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012-59) в диапазоне до

140 НВ стальным шариком диаметром 2,5 мм при нагрузках 153,2 Н (15,5 кгс) и 613 Н (62,5 кгс).

На приборе можно производить испытания как мягких металлов, так и металлов высокой твердости, а также цементованных, азотированных и др.

Все части прибора смонтированы на литой станине 18. Испытуемый образец устанавливается на стол 10, имеющий возможность перемещаться в вертикальном направлении с помощью маховика 11. Конструкция гидравлической системы привода прибора обеспечивает получение цикла испытания, при котором все операции (нагружение, выдержка под нагрузкой и снятие нагрузки) происходят автоматически. Подготовку привода к испытанию осуществляют путем заведения рычага 13. Включение привода производят клавишей 12. При этом нагрузка, создаваемая грузами 17, через рычажную систему и шпиндели 15 и 16 передается на индентор 8, который внедряется в поверхность испытуемого материала. В период нагружения горит сигнальная лампа 14, а рычаг 13 поднимается вверх.

Отпечаток индентора, остающийся на поверхности образца после снятия нагрузки, измеряют с помощью измерительного микроскопа 3, смонтированного на приборе и снабженного двумя сменными объективами, позволяющими получать общее увеличение, равное 50^{\times} и 125^{\times} .

В настоящее время ОАО «Точприбор» (г. Иваново) выпускает приборы для измерения твердости металлов по методу Бринелля ТБ 5004 и приборы универсальные ИТ 5010 для измерения твердости металлов и сплавов по методам Виккерса и Бринелля с цифровой индексацией.

Диапазоны измерения твердости прибора ТБ 5004:

- наконечниками со стальными шариками от 4 до 450 НВ;
- с твердосплавными шариками от 4 до 650 НВW;

Испытательные нагрузки, Н(кгс): 1839(1875,5); 2452(250); 4903(500); 7355(750); 9807(1000); 14710(1500); 29420(3000);

Продолжительность выдержки образца под нагрузкой регулируемая: от 5 до 300 с.

Диапазоны измерений твердости прибора ИТ 5010 по методу Виккерса, НV – 8 - 2000; по методу Бринелля, НВ - 5 - 450.

ОАО «Точприбор» (г. Иваново) также выпускает приборы переносные ИТ 5160 для измерения твердости НV на плоских и криволинейных поверхностях изделий из сталей и их сплавов в лабораторных, цеховых и полевых условиях. Допускается применение приборов для измерения твердости чугунов и сплавов из цветных металлов. Прибор состоит из датчика, электронного блока и блока питания с соединительными устройствами. Прибор обеспечивает математическую обработку результатов испытаний, а именно:

- вычисление среднего значения из серии до 255 измерений;
- нахождение наименьшего значения в серии;
- вычисление вариации (размаха) показаний в серии;
- просмотр последовательно каждого результата испытания в серии;

- исключение некорректного результата испытания из последующей статистической обработки;
- сохранение настроечных параметров, введенных оператором, после выключения;
- коррекцию градуировочной кривой.

2.3.6 Метод Роквелла

Этот метод измерения твердости (ГОСТ 9013-59) наиболее универсален и наименее трудоемок. Испытания проводят на приборе ТК-2. Здесь нужно измерять размеры отпечатка, так как числа твердости отсчитывают непосредственно по шкале. Отпечатки от конуса или шарика очень малы и поэтому можно испытывать без их порчи.

Определение твердости по методу Роквелла основано на вдавливании в исследуемый материал закаленного стального шарика диаметром 1,59 мм или алмазного конуса и последующем измерении глубины вдавливания (рисунок 2.8).

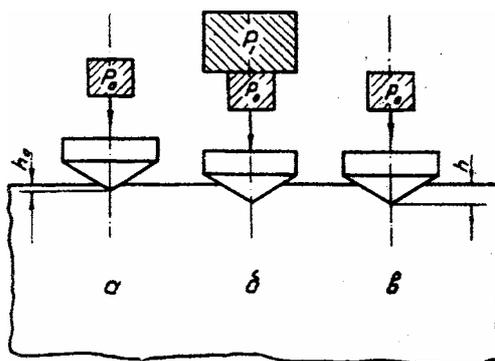


Рисунок 2.8 – Схема измерения твердости по Роквеллу

Шарик или конус вдавливаются в испытуемый образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 .

Предварительно нагружают для того, чтобы исключить влияние упругой деформации и шероховатости поверхности образца на результаты измерений. Под действием предварительной нагрузки P_0 , она всегда равна 98 Н (10 кгс), индентор погружается в поверхность образца на величину h_0 (рисунок 2.8). Затем на образец подается основная нагрузка P_1 (общая нагрузка P будет равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок). Глубина вдавливания h после снятия основной нагрузки P_1 , когда на индентор вновь действует только предварительная нагрузка P_0 , в условных единицах определяет число твердости по Роквеллу. Твердость по Роквеллу – величина безразмерная, выраженная в условных единицах.

Величину твердости определяют по индикаторной шкале, каждое деление которой соответствует глубине вдавливания 2 мкм. На циферблате име-

ются две шкалы: черная – при использовании алмазного конуса и красная – при использовании стального шарика. Стрелка индикатора отмечает не указанную глубину вдавливания h , а величину $100 - h$ по черной шкале при измерении твердости алмазным конусом и величину $130 - h$ по красной шкале при измерении шариком, где 100 и 130 – число делений на шкалах С и В индикатора.

Твердость на приборе Роквелла можно измерять:

- алмазным конусом с общей нагрузкой 1471 Н (150 кгс), значение твердости характеризуется цифрой, показываемой стрелкой на черной шкале С циферблата. Обозначается символом HRC. Эту шкалу используют для твердых материалов с твердостью более 450 НВ, например, закаленных сталей. Предел измерений по шкале С - 20-67;

- алмазным конусом с общей нагрузкой 589 Н (60 кгс). Значение твердости в этом случае определяют по шкале А. Обозначают HRA и применяют для особо твердых материалов, например, для изделий из твердых сплавов с твердостью более HRC 70, а также для измерения тонких твердых поверхностных слоев (0,3-0,5 мм); изделий с поверхностной термической или химико-термической обработкой. Пределы измерений твердости по шкале А - 70-85;

- стальным шариком с общей нагрузкой 981 Н (100 кгс). Значение твердости определяют по красной шкале В. Обозначают HRB. Способ применяют для измерения сравнительно мягких материалов, например мягкой отожженной стали или цветных сплавов. Пределы измерения твердости по шкале В - 25-100.

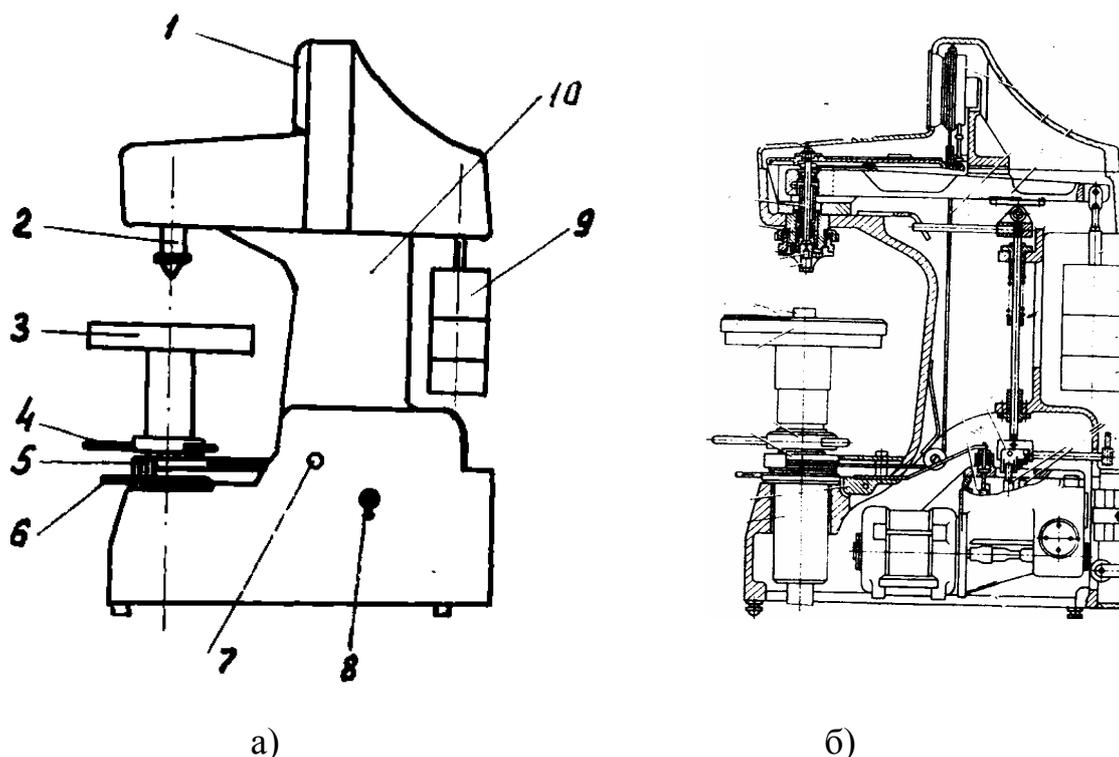
При замере твердости по Роквеллу расстояние от центра отпечатка до края образца или до центра другого отпечатка должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и 4 мм при вдавливании шарика. Толщина образца должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка. Твердость следует измерять не менее, чем в трех точках.

Сравнение чисел твердости по Роквеллу и по Бринеллю приведено в приложении А.

2.3.7 Приборы для измерения твердости по методу Роквелла

Прибор ТК-2 предназначается для определения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного конуса или стального закаленного шарика под действием заданной нагрузки в течение определенного времени. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 9013-59.

Схема прибора ТК представлена на рисунке 2.9. Основные механизмы: рычажное устройство, привод с электродвигателем, механизм подъема, шток нагрузки.



а - общий вид; б - схема
 1 – индикатор; 2 – индентор; 3 – стол; 4 – маховик;
 5 – установочный диск; 6 – клавиша; 7 – сигнальная
 лампа; 8 – тумблер; 9 – нагрузка; 10 - станина

Рисунок 2.9 - Прибор ТК-2

При измерении твердости в поверхность образца, установленного на столе 3, под действием предварительной нагрузки, создаваемой сжатием пружины и основной нагрузки 9, внедряется индентор 2. Глубина вдавливания индентора измеряется индикатором 1. Однако шкалы индикатора проградуированы не в единицах длины, а в единицах твердости, поэтому значение твердости читают непосредственно по одной из шкал индикатора.

АО «Точприбор» г. Иваново в настоящее время выпускает приборы для измерения твердости по методу Роквелла ТР 5006 и ТР 5006 – 02. Прибор ТР 5006 предназначен для измерения твердости по Роквеллу металлов и сплавов, графитов и металлографитов, пластмасс, клееной фанеры, прессованной древесины и других материалов. К прибору может дополнительно поставляться грузовая подвеска для обеспечения измерения твердости по методу Бринелля с нагрузками $N(\text{кгс})$: 612,9(62,5); 980,7(100); 1226(125); 1839(187,5). При этом обозначение прибора ТР 5006 – 02. Диапазон измерения твердости по методу Роквелла: шкала А, HRA – от 70 до 93; шкала В, HRB - от 25 до 100; шкала С, HRC₃ - от 20 до 70. Продолжительность времени приложения основной нагрузки регулируется, от 2 до 8 с.

Твердомер 2120ТР (рисунок 2.10) относится к группе полуавтоматических твердомеров. Особенностью конструкции является электромеханическое перемещение испытательного стола, предварительное обжатие испытуемого изделия, автоматизация приложения и снятия предварительной и основной нагрузок.

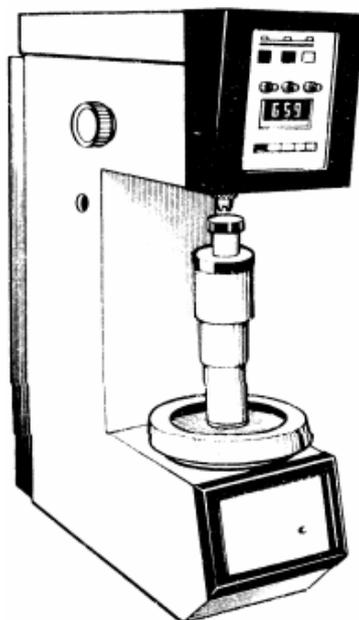


Рисунок 2.10 - Твердомер 2120ТР

2.3.8 Метод Польди

Наряду с рассмотренными статическими методами, иногда для определения твердости крупногабаритных деталей применяется также и динамический метод Польди.

Определение твердости по методу Польди НР основано на сравнении диаметров отпечатков шарика, полученных одновременно на исследуемом образце и эталоне с известной твердостью в результате одного удара (рисунок 2.11).

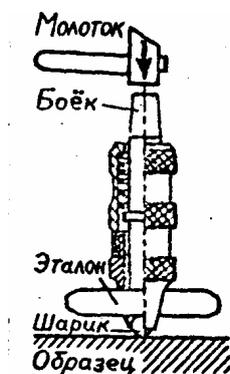


Рисунок 2.11 - Определение твердости по методу Польди

Удар производится ручным молотком по бойку, который прижат к эталону пружинной. Шарик находится между эталоном и образцом. При ударе шарик вдавливаются и в образец, и в эталон.

Измерив диаметры отпечатков на образце и эталоне и зная твердость эталона, можно подсчитать твердость исследуемого образца

$$HP = HB_{\text{э}} \cdot \frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{обр}}},$$

где $HB_{\text{э}}$ - число твердости эталона в единицах Бринелля;

$F_{\text{э}}$ - площадь поверхности отпечатка на эталоне;

$F_{\text{обр}}$ - то же, на исследуемом образце.

Если подсчитать поверхность отпечатков на эталоне и образце, имеющих форму шаровых сегментов, то приближенно

$$HP = HB_{\text{э}} \cdot \frac{d_{\text{э}}^2}{d_{\text{обр}}^2},$$

где $d_{\text{э}}$ - диаметр отпечатка на эталоне;

$d_{\text{обр}}$ - то же, на образце.

Прибор Польди дает приближенные результаты, так как твердость эталона $H_{\text{э}}$ определяется при статическом вдавливании по методу Бринелля, а твердость исследуемого образца HP - при динамическом вдавливании.

Для одного и того же материала динамическая твердость значительно больше статической. Для различных материалов отношение этих твердостей колеблется в пределах от 1,6 до 2,8.

Практически твердость по методу Польди после удара и измерения диаметров отпечатков не подсчитывается по приведенным формулам, а определяется по соответствующим таблицам.

2.3.9 Измерение твердости методом Шора

При измерении твердости по Шору груз вместе с укрепленным на нем индентором (обычно это стальной шарик) падает с высоты $H_{\text{п}}$ на образец перпендикулярно его поверхности (рисунок 2.12). Твердость по Шору определяется по высоте отскока шарика $H_{\text{о}}$. Шкала твердости разделена на 130 единиц. Она рассчитана таким образом, что твердость закаленной заэвтектоидной стали оказывается равной 100 единиц. Эти приборы используются для экспресс-анализов. Между твердостью по Шору и другими методами нет никакой взаимосвязи.

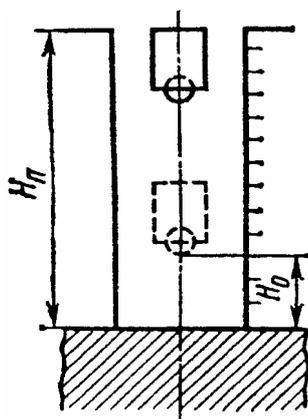


Рисунок 2.12 – Схема определения твердости по Шору

В некоторых случаях, когда применение перечисленных методов невозможно, твердость определяется с помощью тарированных напильников. Этот метод менее точен, но прост и легко применим в цеховых условиях.

2.4 Порядок выполнения работы

Получите у лаборанта образцы металлов, подлежащие испытанию на твердость (ориентировочная величина твердости образцов должна быть известна) и при необходимости шлифуйте на шлифовальной бумаге.

2.4.1 Проведение испытаний на твердость по Бринеллю на приборе ТШ-2

2.4.1.1 Используя данные таблицы 2.1, убедитесь, что диаметр шарика (рисунок 2.2) и величина нагрузки 2, установленные на приборе, соответствуют характеристикам образца, подлежащего испытанию на твердость, учитывая, что рычажная система с подвеской создают нагрузку 1839 Н (187,5 кгс).

2.4.1.2 Положите образец на стол 5 прибора и вращением маховика 7 по часовой стрелке подожмите его к шарикам до тех пор, пока он не упрется в ограничитель 4.

Нажатием кнопки 8 включите электродвигатель привода прибора. По окончании испытания (после того как сигнальная лампа 6 погаснет, а электродвигатель остановится) вращением маховика 7 против часовой стрелки опустите стол. Снимите образец со стола.

2.4.1.3 Измерьте диаметр отпечатка с помощью микроскопа МПБ-3. Для этого:

1) установите микроскоп основанием колонки 5 (рисунок 2.3) на испытуемый образец так, чтобы отверстие в основании было концентрично с измеряемым отпечатком, а окно в колонке находилось против внешнего источника света;

2) наблюдая в окуляр 1 и вращая его вокруг продольной оси, установите резкое изображение шкалы сетки;

3) вращением установочного кольца 3 добейтесь получения резкого изображения отпечатка в поле зрения окуляра;

4) снимите отсчет по шкале с ценой деления 0,02 мм;

2.4.1.4 Рассчитайте среднее арифметическое двух измерений, по таблицам (ГОСТ 9012) определите твердость НВ образца и рассчитайте предел прочности материала.

2.4.1.5 Занесите данные в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 - Результаты испытаний твердости

| Метод Бринелля | | | | | | Метод Роквелла | | | | | |
|------------------|-------------------|-----------|---------------|----------------------------|--|------------------|-------------------|-----------|-------|---------------|----------------------------|
| Материал образца | Нагрузка, Н (кгс) | Отпечатка | Твердость, НВ | Среднее значение твердости | Расчет предела прочности $\sigma_{\text{в}}$, МПа | Материал образца | Нагрузка, Н (кгс) | Инденитор | Шкала | Твердость, HR | Среднее значение твердости |
| | | | | | | | | | | | |

2.4.2 Проведение испытаний на твердость по Бринеллю на приборе ТП-2

2.4.2.1 Убедитесь, что нагрузка 17 (рисунок 2.7), установленная на приборе, составляет 613 Н (62,5 кгс). При этом следует иметь в виду, что подвеска передает нагрузку, равную 49 Н (5 кгс).

2.4.2.2 Включите прибор и проверьте освещенность.

2.4.2.3 Переводом рукоятки 13 вниз до защелкивания приведите привод прибора в состояние готовности к испытаниям.

2.4.2.4 Установите поворотную головку 5 в крайнее левое положение. При этом инденитор 8 встанет по оси прибора.

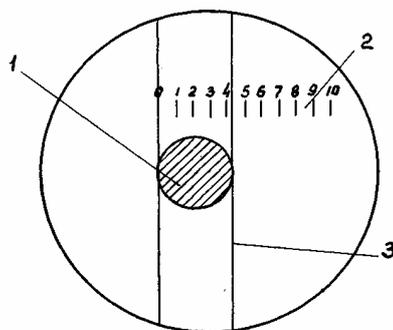
2.4.2.5 Провести испытания на твердость образцов малоуглеродистой стали. Установите испытуемый образец стали на стол 10 и вращением маховика 11 поднимите стол до упора образца в торец защитного чехла 7.

2.4.2.6 Нажатием на клавишу 12 приведите прибор в действие. По окончании испытания (рычаг 13 поднимется в верхнее положение, а сигнальная лампа 14 погаснет) опустите маховиком стол до выхода образца из контакта с инденитором.

2.4.2.7 Установите рукояткой поворотную головку 5 в крайнее правое положение. При этом объектив 6 микроскопа окажется точно над отпечатком, оставленном инденитором на поверхности образца. Наблюдая в окуляр 2 и опуская стол, добейтесь четкого видения отпечатка.

2.4.2.8 С помощью измерительной системы микроскопа измерьте диаметр отпечатка. Измерение отпечатков производится с помощью двух штрихов, которые перемещаются вращением микрометрического винта 1 и барабанчика 4.

Вращением микрометрического винта 1 подведите нулевой штрих видимой в поле окуляра шкалы слева от отпечатка, вращением барабанчика 4 подведите подвижный штрих справа от отпечатка так, как это показано на рисунке 2.13.



1 -отпечаток; 2 -шкала окуляра; 3 -подвижный штрих

Рисунок 2.13 - Схема измерения диаметра отпечатка

Снять показания: целые числа по шкале, видимой в поле окуляра, десятые и сотые - по шкале, нанесенной на боковой поверхности барабанчика 4 (рисунок 2.7).

По результатам трех измерений диаметров отпечатков по таблице (ГОСТ 10241 – 62) определить твердость НВ. Определить среднее значение твердости.

2.4.2.9 Вычислить предел прочности стали, зная твердость НВ.

2.4.2.10 Данные занесите в таблицу 2.2.

2.4.3 Проведение испытаний на твердость по Роквеллу на приборе ТК – 2

2.4.3.1 Перед испытанием на твердость по Роквеллу необходимо произвести контроль прибора с целью определения точности его показаний. Контроль прибора производят при помощи брусков, твердость которых заранее известна. При проверке показания прибора должны находиться в пределах чисел твердости, обозначенных на контрольных брусках. Если твердость по прибору не соответствует твердости контрольных брусков, то к показаниям прибора при испытании образцов вводится соответствующая поправка. Порядок проведения контроля аналогичен порядку проведения испытаний.

2.4.3.2 Убедитесь, что индентор и величина нагрузки, установленные на приборе (рисунок 2.9), соответствуют характеристикам образца, подлежащего испытанию на твердость.

2.4.3.3 Тумблером включите электродвигатель привода прибора.

2.4.3.4 Провести испытания на твердость образцов отожженной стали шариком (шкала В) при нагрузке 981 Н (100 кгс) и закаленной стали алмазным конусом (шкала С) при нагрузке 1475 Н (150 кгс). Допускается применение конусных инденторов из твердого сплава при твердости до 50 HRC₃. Установите испытуемый образец на стол и вращением маховика плавно, **ОСТОРОЖНО** поднимите его до соприкосновения образца с индентором. При быстром подъеме образца можно сломать кончик алмазного индентора. Продолжая подъем стола, установите стрелки индикатора так, чтобы малая стрелка заняла положение у красной точки, а большая - положение, близкое к вертикальному (допустимо отклонение от вертикали не более, чем на 15 градусов).

2.4.3.5 Установочным диском совместите нулевую отметку черной шкалы индикатора с большой стрелкой. Нажатием клавиши приведите прибор в действие.

После того, как стрелки индентора установятся, произведите отчет по соответствующей шкале.

2.4.3.6 Вращением маховика отведите образец от индентора.

2.4.3.7 Твердость следует измерять не менее, чем в трех точках. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков или от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 3 мм. Определите среднее значение твердости.

2.4.3.8 Данные испытаний твердости занесите в таблицу 2.2.

2.5 Содержание отчета

В отчете должны быть изложены:

- 1) цель работы;
- 2) характеристика испытаний на твердость, как способа исследования металлов; краткое описание методов определения твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу;
- 3) схемы испытания на твердость методами Бринелля, Виккерса и Роквелла;
- 4) заполненные таблицы с результатами измерения твердости по методам Бринелля и Роквелла; расчет предела прочности материалов, испытанных по методу Бринелля.

2.6 Контрольные вопросы

2.6.1 Что понимается под твердостью?

2.6.2 Назовите приборы для определения твердости.

2.6.3 Опишите принцип действия приборов для испытания на твердость.

2.6.4 Чем объясняется широкое применение способа измерения твердости?

2.6.5 Какова размерность твердости для различных способов испытания?

2.6.6 Когда применяются методы Роквелла, Виккерса, Бринелля?

2.6.7 Твердость каких металлов испытывают по методу Бринелля?

Приложение А (справочное)

Таблица ориентировочного перевода значений твердости, определяемых различными методами

| Твердость НВ | Твердость НВ | | | Твердость HR по шкале | | | Твердость НВ | Твердость НВ | | Твердость HR по шкале | | |
|--------------|-----------------------|---|---|-----------------------|----|-----|--------------|-----------------------|---|-----------------------|----|-----|
| | диаметр отпечатка, мм | НВ при испытании стандартным стальным шариком | НВ при испытании шариком из карбида вольфрама | С | А | В | | диаметр отпечатка, мм | НВ при испытании стандартным стальным шариком | С | А | В |
| 1234 | 2,20 | 780 | 872 | 72 | 84 | — | 228 | 4,00 | 229 | 20 | 61 | 100 |
| 1116 | 2,25 | 745 | 840 | 70 | 83 | — | 222 | 4,05 | 223 | 19 | 60 | 99 |
| 1022 | 2,30 | 712 | 812 | 68 | 82 | — | 217 | 4,10 | | 17 | 60 | 98 |
| 941 | 2,35 | 682 | 794 | 66 | 81 | — | 213 | 4,15 | 212 | 15 | 59 | 97 |
| 868 | 2,40 | 673 | 760 | 64 | 80 | — | 208 | 4,20 | 207 | 14 | 59 | 95 |
| 804 | 2,45 | 627 | 724 | 62 | 79 | — | 201 | 4,25 | 201 | 13 | 58 | 94 |
| 746 | 2,50 | 601 | 682 | 60 | 78 | — | 197 | 4,30 | 197 | 12 | 58 | 93 |
| 694 | 2,55 | 578 | 646 | 58 | 78 | — | 192 | 4,35 | 192 | 11 | 57 | 92 |
| 650 | 2,60 | 555 | 614 | 56 | 77 | — | 186 | 4,40 | 187 | 9 | 57 | 92 |
| 606 | 2,65 | 534 | 578 | 54 | 76 | — | 183 | 4,45 | 183 | 8 | 56 | 90 |
| 587 | 2,70 | 514 | 555 | 52 | 75 | — | 178 | 4,50 | 179 | 7 | 56 | 90 |
| 551 | 2,75 | 495 | 525 | 50 | 74 | — | 174 | 4,55 | 174 | 6 | 55 | 89 |
| 534 | 2,80 | 477 | 514 | 49 | 74 | — | 171 | 4,60 | 170 | 4 | 55 | 88 |
| 502 | 2,85 | 461 | 477 | 48 | 73 | — | 166 | 4,65 | 167 | 3 | 54 | 87 |
| 474 | 2,90 | 444 | 460 | 46 | 73 | — | 162 | 4,70 | 163 | 2 | 53 | 86 |
| 460 | 2,95 | 429 | 432 | 45 | 72 | — | 159 | 4,75 | 159 | 1 | 53 | 85 |
| 435 | 3,00 | 415 | 418 | 43 | 72 | — | 155 | 4,80 | 156 | — | — | 84 |
| 423 | 3,05 | 401 | 401 | 42 | 71 | — | 152 | 4,85 | 152 | — | — | 83 |
| 401 | 3,10 | 388 | 388 | 41 | 71 | — | 149 | 4,90 | 149 | — | — | 82 |
| 390 | 3,15 | 375 | 375 | 40 | 70 | — | 148 | 4,95 | 146 | — | — | 81 |
| 386 | 3,20 | 363 | 364 | 39 | 70 | — | 143 | 5,00 | 143 | — | — | 80 |
| 361 | 3,25 | 352 | 352 | 38 | 69 | — | 140 | 5,05 | 140 | — | — | 79 |
| 344 | 3,30 | 341 | 341 | 36 | 68 | — | 138 | 5,10 | 137 | — | — | 78 |
| 334 | 3,35 | 331 | 330 | 35 | 67 | — | 134 | 5,15 | 134 | — | — | 77 |
| 320 | 3,40 | 321 | 321 | 33 | 67 | — | 131 | 5,20 | 131 | — | — | 76 |
| 311 | 3,45 | 311 | 311 | 32 | 66 | — | 129 | 5,25 | 128 | — | — | 75 |
| 303 | 3,50 | 302 | 302 | 31 | 66 | — | 127 | 5,30 | 126 | — | — | 74 |
| 292 | 3,55 | 293 | — | 30 | 65 | — | 123 | 5,35 | 123 | — | — | 73 |
| 285 | 3,60 | 285 | — | 29 | 65 | — | 121 | 5,40 | 121 | — | — | 72 |
| 278 | 3,65 | 277 | — | 28 | 64 | — | 118 | 5,45 | 118 | — | — | 71 |
| 270 | 3,70 | 269 | — | 27 | 64 | — | 116 | 5,50 | 116 | — | — | 70 |
| 261 | 3,75 | 262 | — | 26 | 63 | — | 115 | 5,55 | 114 | — | — | 68 |
| 255 | 3,80 | 255 | — | 25 | 63 | — | 113 | 5,60 | 111 | — | — | 67 |
| 249 | 3,85 | 248 | — | 24 | 62 | — | 110 | 5,65 | 110 | — | — | 66 |
| 240 | 3,90 | 241 | — | 23 | 62 | 102 | 109 | 5,70 | 109 | — | — | 65 |
| 235 | 3,95 | 235 | — | 21 | 61 | 101 | 108 | 5,75 | 107 | — | — | 64 |

3 Лабораторная работа № 3

Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов

3.1 Цель работы

3.1.1 Изучить влияние пластической деформации на строение и свойства металлов.

3.1.2 Рассмотреть влияние температуры нагрева на структуру и свойства холоднодеформированных металлов и сплавов.

3.2 Основные сведения

Наличие металлической связи придает металлу способность к пластической деформации и к самоупрочнению в результате пластической деформации. Приложение к материалу напряжения (нагрузки) вызывает деформацию.

Деформацией называется изменение размеров или формы тела под действием внешних сил либо физико-механических процессов, протекающих в самом теле (перепад температур, фазовые превращения и т.п.). Деформация тела сопровождается относительным смещением атомов из положения равновесия. Свойства недеформированного и пластически деформированного металла различны.

Различают упругую и пластическую деформацию (рисунок 3.1).

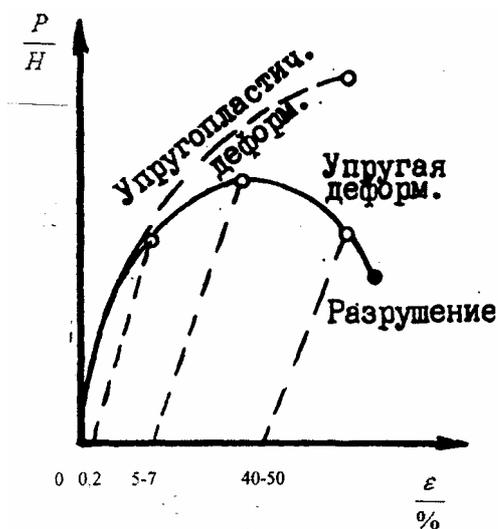


Рисунок 3.1 – Диаграмма деформации

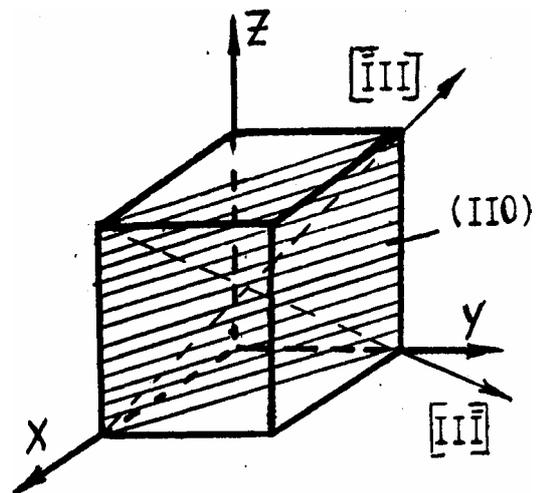


Рисунок 3.2 – Плоскости и направления скольжения в объёмно-центрированной кубической решётке

Упругой деформацией называют деформацию, влияние которой на форму, структуру и свойства тела исчезают после снятия нагрузки; и она не вызывает заметных остаточных изменений в структуре и свойствах металла.

Степень деформации

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 \%,$$

где l_0 - начальная длина;

l_1 - длина после деформации.

Способность металлов к остаточной деформации называется пластичностью.

При возрастании касательных напряжений выше определенной величины деформация становится необратимой. При снятии нагрузки исчезают лишь упругая составляющая деформации, часть же деформации, которую называют пластической, остается. При пластической деформации необратимо изменяется структура металла, а следовательно, и его свойства.

В поликристаллических телах пластическая деформация может осуществляться как путем перемещений внутри зерна (внутризеренная), так и смещения зёрен относительно друг друга (межзёренная).

В основе протекания пластической деформации лежит явление зарождения и движения дислокаций под действием касательных напряжений путем сдвига (скольжения) отдельных частей кристалла относительно друг друга по плоскостям с наиболее плотным расположением атомов (рисунок 3.3). В металлах с ОЦК решеткой сдвиг происходит по диагональным плоскостям (110) в направлении пространственных диагоналей (111) (могут быть и другие плоскости скольжения).

Пластическая деформация поликристаллических тел происходит весьма неоднородно. Это объясняется двумя обстоятельствами:

- 1) различной ориентацией кристаллов относительно приложенной силы, что приводит к неодновременности деформации разных зёрен;
- 2) наличием границ зёрен и неметаллических включений, препятствующих перемещению дислокаций и вызывающих их локальное скопление.

Пластическая деформация в основном характеризуется скольжением и двойникованием.

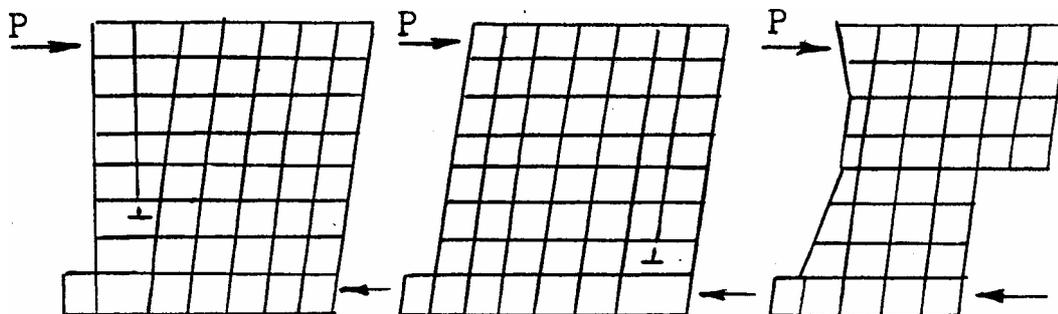


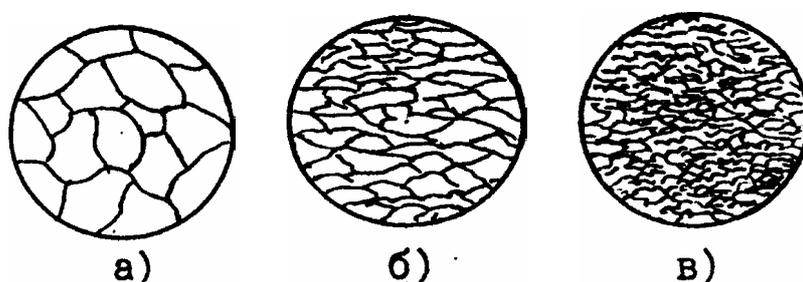
Рисунок 3.3 - Схема сдвига в кристаллах

В процессе скольжения возникают новые дислокации, и плотность дислокаций увеличивается. В недеформированном кристалле плотность дис-

локаций достигает 10^6 см^{-2} , а в сильнодеформированном металле порядка 10^{12} см^{-2} .

Пластическая деформация некоторых металлов, имеющих плотноупакованные решетки К12 и Г12, кроме скольжения, может осуществляться двойникованием, которое заключается в переориентации части кристалла в положение, симметричное по отношению к первой части, относительно плоскости, называемой плоскостью двойникования.

При деформации поликристалла отдельные зёрна меняют свою форму (вытягиваются), стремятся принять отдельную кристаллографическую ориентировку вдоль направления действия внешних сил. Изменение ориентировки происходит постепенно по мере увеличения степени деформации. При большой деформации металл приобретает определенную кристаллографическую ориентировку зёрен, называемую текстурой.



а - структура металла до деформации; б - волокнистая структура деформированного металла; в - структура металла после большой степени деформации

Рисунок 3.4 - Характер изменения микроструктуры при пластической деформации

При пластической деформации зёрна металла вытягиваются в направлении прокатки, волочения и принимают форму листочков или волокон (рисунок 3.4 б). При больших степенях деформации зёрна разбиваются на большее число фрагментов и блоков, увеличивается травимость металла, и микроструктура выявляется нечетко (рисунок 3.4 в).

Образование текстуры деформации способствует тому, что поликристаллический металл становится анизотропным (свойства его изменяются в зависимости от направления испытания). Изменение механических свойств технического железа зависит от степени холодной пластической деформации.

Упрочнение металла в процессе пластической деформации - наклёп - объясняется увеличением числа дефектов кристаллического строения (дислокаций, вакансий, межузельных атомов). Пластическая деформация приводит к изменению физических свойств металла: увеличиваются искажения решетки и, следовательно, его внутренняя энергия, растут твердость и прочность, увеличивается электрическое сопротивление, уменьшается пластичность. Деформация происходит не только в результате приложения внешних

сил, но и в результате фазовых превращений. Все они приводят к наклёпу. Наклёпанные металлы более склонны к коррозионному разрушению при эксплуатации.

С увеличением степени холодной деформации характеристики прочности (предел прочности, предел текучести, твёрдость) возрастают, а характеристики пластичности падают. После деформирования у металла со степенью деформации до 70 % предел прочности и твёрдость возрастают до 3 раз, а предел текучести - до 8 раз, при этом относительное удлинение снижается до 40 раз.

Структурное состояние пластически деформированного металла термодинамически неустойчиво. При нагреве пластически деформированный металл постепенно восстанавливает свою структуру и снова переходит в устойчивое состояние.

Степень и характер деформации, температура, скорость и продолжительность нагрева влияют на устранение наклёпа и изменения в структуре и свойствах металла. Различают две стадии процесса при нагреве: возврат (отдых и полигонизация) и рекристаллизация (первичная, собирательная и вторичная), (рисунок 3.5).

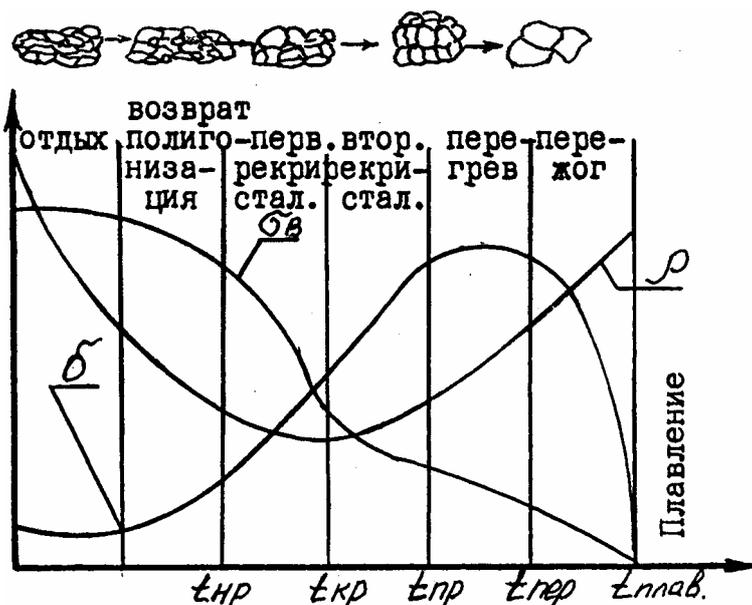


Рисунок 3.5 - Влияние нагрева на механические свойства и структуру деформированного металла

Возврат - начальная стадия разупрочнения, связанная с изменениями в тонкой кристаллической структуре.

Возврат I-го рода (или отдых) происходит при нагреве до относительно невысоких температур и приводит к частичному снятию упругих искажений в решётке. При отдыхе в металле протекает ряд элементарных процессов, основным из которых следует считать диффузию точечных дефектов и их смещение к дислокациям.

Возврат II-го рода или полигонизация заметно меняет структуру деформированного металла при нагреве. Под полигонизацией понимают перераспределение дислокаций, приводящее к образованию областей кристалла, свободных от дислокаций и отделенных друг от друга поверхностями раздела.

Первичная рекристаллизация. Является следующей стадией изменения структуры деформированных металлов после полигонизации (рисунок 3.5).

Рекристаллизация, т. е. образование новых зёрен, протекает при более высоких температурах, чем возврат и полигонизация, может начаться с заметной скоростью после нагрева выше определенной температуры. Сопоставление температур рекристаллизаций различных металлов показывает, что между минимальной температурой рекристаллизации и температурой плавления существует простая зависимость

$$T_p = a \cdot T_{пл},$$

где T_p - абсолютная температура рекристаллизации;

$T_{пл}$ - абсолютная температура плавления;

a - коэффициент, зависящий от чистоты металла.

Чем выше чистота металла, тем ниже температура рекристаллизации. У металлов обычной технической чистоты $a = 0,3 - 0,4$. Температура рекристаллизации сплавов, как правило, выше температуры рекристаллизации чистых металлов и в некоторых случаях достигает $0,8 T_{пл}$. Наоборот, очень чистые металлы имеют низкую температуру рекристаллизации: $0,2 T_{пл}$ и даже $0,1 T_{пл}$.

В деформированном металле формируются и растут центры рекристаллизации - участки с неискажённой решеткой, отделенные от матрицы границами с большими углами разориентировки. При критической деформации имеется неоднородность наклёпа разных зёрен; и она настолько большая, что из-за разности в накопленной объёмной энергии соседних зёрен при нагреве идёт быстрая миграция отдельных границ на расстояния, соизмеримые с размерами зёрен, т.е. исходные зёрна растут за счёт соседей. Кроме того, плотность дислокаций и избыток дислокаций одного знака недостаточны, чтобы вызвать образование новых высокоугловых границ и центров первичной рекристаллизации.

Собирательная рекристаллизация возникает после первичной, точнее после того, как выросшие центры рекристаллизации приходят во взаимное соприкосновение. Она заключается в равномерном укрупнении структуры путём роста одних зёрен за счёт других, новых и происходит в результате перемещения границ.

Вторичная рекристаллизация протекает в материале при высокой температуре и очень большом увеличении продолжительности отжига. Она заключается в резком избирательном росте отдельных рекристаллизованных

зёрен и сопровождается появлением разнотерности. Этой стадии способствуют следующие факторы:

1) разная величина объёмной энергии у зёрен, менее искажённые зёрна растут за счёт более искажённых;

2) высокая подвижность границ одних зёрен по сравнению с другими, что может быть вызвано разными причинами. Одна из них – неравномерное распределение дисперсных включений по границам зёрен. Границы, которые высвобождаются, в первую очередь, интенсивно мигрируют в направлении уменьшения поверхностной энергии, что создаёт благоприятные условия для ускоренного роста отдельных зёрен.

Если температура деформации ниже температуры рекристаллизации, то деформация считается холодной. Процесс холодной деформации сопровождается наклепом металла, так как малые температуры не обеспечивают разупрочнения металла, механические свойства металлов при холодной деформации изменяются значительно: возрастает прочность и уменьшается пластичность.

Если температура деформации выше температуры рекристаллизации, то деформацию называют горячей. Получаемое в процессе горячей деформации упрочнение тут же полностью или частично снижается за счёт рекристаллизации, что снижает сопротивление деформации и повышает пластичность металлов.

Размер зерна рекристаллизованного металла зависит от следующих факторов: размера исходного зерна; степени деформации; температуры и скорости нагрева; длительности выдержки; наличия растворимых и нерастворимых примесей (химического состава сплава).

Процесс рекристаллизации подтверждается рентгенографическим анализом. Линии на рентгенограммах, снятых с неподвижного деформированного образца получаются сплошными и размытыми. По мере снятия напряжений при повышенных температурах на стадии возврата линии становятся чётче и тоньше. Как только начинается процесс рекристаллизации, и в структуре появляются рекристаллизованные зерна, на сплошной линии рентгенограммы возникают отдельные рефлексии. По мере уменьшения поля нерекристаллизованных участков металла число рефлексии на рентгенограмме увеличивается, а сплошной фон линии постепенно исчезает.

Сверхпластичностью называют способность металлов и сплавов к значительной равномерной деформации, при которой относительное удлинение достигает сотен и тысяч процентов. Это явление впервые было обнаружено А.А. Бочваром и З.А. Свицерским на сплавах, содержащих 22 % цинка. Для того, чтобы сплавы приобрели сверхпластичность, необходимо получить ультрамелкозернистую структуру. Такое структурное состояние достигается путем соответствующей термической обработки. В последние годы сверхпластичность используется в производстве различных деталей и заготовок весьма сложной формы при помощи пневматического формования листов или объёмного прессования.

Различают несколько видов сверхпластичности:

1) мелкозернистая сверхпластичность проявляется при повышенных температурах не ниже, чем $0,4 T_{пл}$ (при очень мелком зерне размером в диа-

метре от 3 до 5 мкм и при малой скорости деформирования до 10^{-4} с^{-1});

2) субкритическая сверхпластичность. Имеет место при температурах вблизи (ниже) температуры фазовых превращений и при определённой исходной структуре;

3) мартенситная сверхпластичность при так называемом мартенситном (сдвиговом, бездиффузионном) превращении наблюдается повышенная пластичность;

4) рекристаллизационная сверхпластичность.

Обычно сопротивление деформации объединяют в общее понятие прочность, а сопротивление разрушению - надёжность. Если разрушение происходит не за один, а за многие циклы нагружения, причем за каждый цикл происходит микроразрушение (сюда относятся такие процессы постепенного разрушения, как износ, усталость, коррозия, ползучесть), то это характеризует долговечность материала.

3.3 Порядок выполнения работы

Описать механизм упругой и пластической деформации. Дать определение теоретической и реальной прочности металлов и сплавов, указать от чего зависит реальная прочность (выполняется студентом в порядке подготовки к лабораторной работе).

1) Произвести холодную пластическую деформацию на приборе Бринелля ТШ-2 путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10 мм с нагрузкой 1839, 2452, 4903, 9807, 19614 Н на одном образце и с нагрузкой 19614 Н на 4 образцах из стали 10.

2) Измерить твердость образцов в исходном состоянии и пластически деформированных с различной степенью. Замеры твердости HRB производить на недеформированной поверхности и в центре каждого сферического отпечатка. Результаты записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты замеров твердости образцов после деформации

| Марка стали | Степень пластической деформации (пропорциональная нагрузка по Бринеллю), Н (кгс) | Твёрдость HRB | Примечание |
|-------------|--|---------------|------------|
| Сталь 10 | В исходном состоянии | | |
| | 1839(187) | | |
| | 2452 (250) | | |
| | 4903 (500) | | |
| | 9807 (1000) | | |
| | 19614 (2000) | | |

3) Произвести отжиг образцов после пластической деформации с нагрузкой 19614 Н. Для этого поместите по одному образцу в электропечи, предварительно нагретые до 400, 550, 650, 750 °С, выдержать 30 минут.

4) После охлаждения образцов на воздухе измерьте твердость HRB в центре отпечатка, полученные данные запишите в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты замеров твердости образцов после отжига

| Марка стали | Степень пластической деформации (пропорциональная нагрузке по Бринеллю), Н (кгс) | Температура отжига, °С | Твёрдость HRB |
|-------------|--|------------------------|---------------|
| Сталь 10 | 19614 (2000) | 400 | |
| | | 550 | |
| | | 650 | |
| | | 750 | |

3.4 Содержание отчёта

3.4.1 Цель работы.

3.4.2 Таблицы 3.1 и 3.2 с данными измерения твёрдости.

3.4.3 График изменения твёрдости стали в зависимости от степени деформации (по данным таблицы 3.1).

3.4.4 График изменения твёрдости пластически деформированной стали в зависимости от температуры отжига (по данным таблицы 3.2).

3.4.5 Схемы микроструктур стали 10 до пластической деформации, после пластической деформации и после рекристаллизационного отжига.

3.4.6 Выводы по работе.

3.5 Контрольные вопросы

3.5.1 Стадии рекристаллизации.

3.5.2 Что называется возвратом или отдыхом?

3.5.3 Как изменяется структура металла в результате пластической деформации?

3.5.4 Как изменяются свойства металла при наклёпе?

3.5.5 Дать определение критической степени деформации.

3.5.6 Как определить степень деформации?

3.5.7 Как изменяется структура деформированного железа в результате первичной кристаллизации?

3.5.8 Как изменяется пластичность при холодной пластической деформации?

3.5.9 Как изменяется прочность металла при возврате?

3.5.10 Почему происходит упрочнение в процессе холодной пластической деформации?

3.5.11 Что такое собирательная рекристаллизация?

4 Лабораторная работа № 4

Железоуглеродистые сплавы

4.1 Цель работы

- 4.1.1 Изучить диаграмму состояния железо-углерод.
- 4.1.2 Изучить микроструктуры железоуглеродистых сплавов.
- 4.1.3 Научиться по микроструктуре определять вид железоуглеродистого сплава.

4.2 Основные сведения

Металлический сплав получают сплавлением двух или более элементов. В технике широко применяют сплавы железа с углеродом, кремнием, марганцем, хромом, никелем и другими веществами.

Элементы - металлы и неметаллы, образующие сплав, называются компонентами.

Свойства сплава зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются составом фаз и их количественным соотношением.

Фаза – это однородная по химическому составу, строению, свойствам часть сплава, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяется скачком.

Сплавы могут составлять следующие элементы структуры: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Твердые растворы образуются в результате проникновения в кристаллическую решетку одного компонента атомов другого компонента. Твердые растворы бывают двух типов: твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения.

При образовании химических соединений компоненты вступают в химическое взаимодействие. К химическим соединениям относят карбиды, оксиды, сульфиды и др.

Механические смеси представляют собой смесь двух фаз, когда отсутствует взаимодействие между компонентами, нет взаимного растворения, компоненты не вступают в химические реакции и их кристаллические решетки различны.

Процесс кристаллизации сплавов и связанные с ним закономерности строения сплавов изучают по диаграммам состояния. Диаграммы состояния - это графические изображения, показывающие в условиях равновесия фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов.

Под равновесным состоянием сплава понимают такое состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве происходят полностью в соот-

ветствии с диаграммой состояния. Такое состояние наступает при медленном охлаждении сплава. По диаграммам состояния можно определить число фаз в сплавах, относительное количество каждой фазы, ее состав и природу: компоненты, твердый раствор, химическое соединение, определить температуры плавления, затвердевания и аллотропических превращений в сплавах.

Диаграммы состояния строят на основании результатов термического анализа, при котором для сплавов различного состава вычерчивают кривые охлаждения в координатах температура – время. На кривых охлаждения каждого сплава фиксируют температуры фазовых превращений (критические точки). Затем критические точки различных сплавов переносят на диаграмму состояния, которую строят в координатах температура – концентрация. Точки, соответствующие температурам начала и конца кристаллизации, температурам фазовых превращений, соединяют плавными кривыми.

4.3 Компоненты железоуглеродистых сплавов

Железо обладает температурным полиморфизмом и может существовать в двух аллотропических модификациях альфа-железо (Fe_{α}) и гамма-железо (Fe_{γ}). Fe_{α} имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК); а Fe_{γ} - гранецентрированную кубическую кристаллическую решетку (ГЦК). В интервале температур 911-1392 °С устойчивой модификацией является модификация Fe_{γ} . Ниже 911 °С и выше 1392 °С, вплоть до температуры плавления 1539 °С, более низким уровнем энергии обладает модификация Fe_{α} и, следовательно, устойчивой будет модификация Fe_{α} .

Для того, чтобы отличать низкотемпературную модификацию Fe_{α} , существующую при температурах ниже 911 °С, от высокотемпературной, существующей выше 1392 °С, последнюю принято называть дельта-железо (Fe_{δ}).

Графит – представляет собой аллотропическую модификацию углерода. Он мягок, малопрочен. В чугунах и в графитизированной стали содержится в виде включений различной формы.

4.4 Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Структуры могут быть однофазные, двухфазные и многофазные. К однофазным структурам относят феррит, аустенит, цементит.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α -железе с ОЦК решеткой с максимальной растворимостью углерода 0,02 % при 727 °С (рисунок 4.1).

Характеризуется низкой прочностью ($\sigma_b = 250$ МПа) и твердостью 63 – 130 НВ), высокой пластичностью (относительное удлинение $\delta = 40$ %). На диаграмме состояния феррит занимает область GPQ (рисунок 4.6). Образует-

ся из аустенита. Твердый раствор внедрения углерода в Fe_8 называют высокотемпературным ферритом.

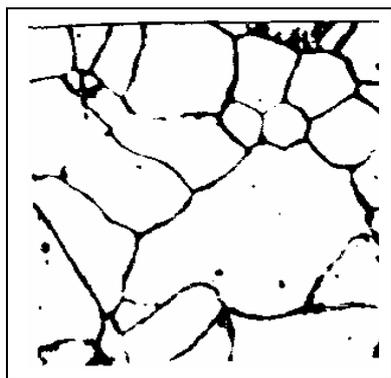


Рисунок 4.1 –
Феррит

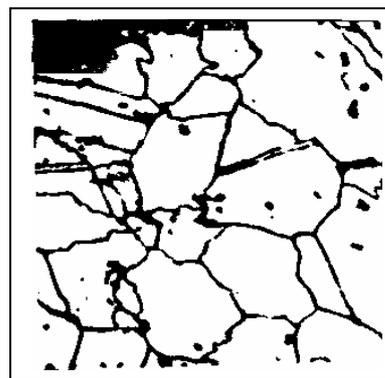


Рисунок 4.2 –
Аустенит

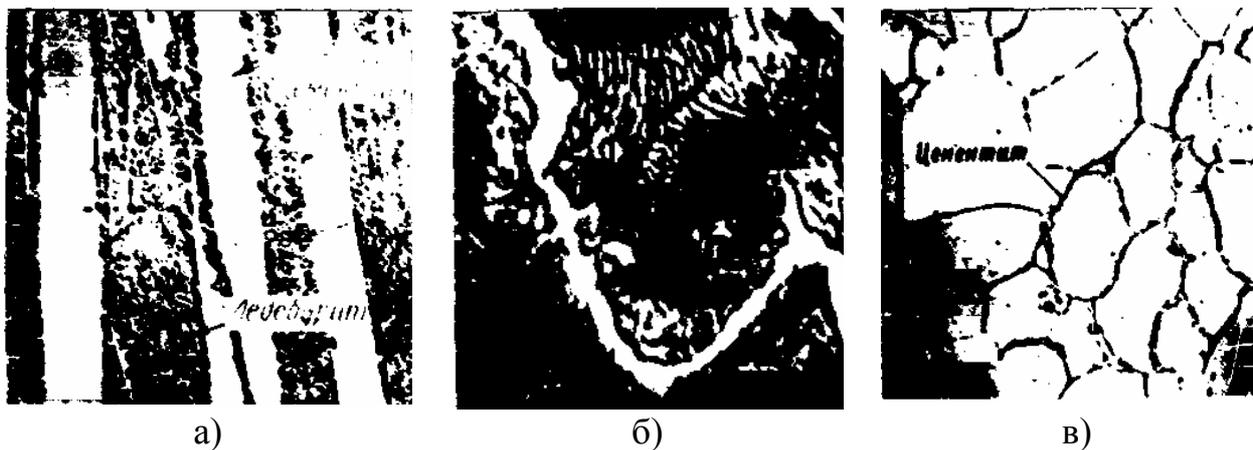
Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе с ГЦК решеткой, с предельной растворимостью углерода 2,14 % при температуре 1147 °С (рисунок 4.2). В железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии аустенит не существует при комнатных температурах. Обладает высокой пластичностью и низкой твердостью, относительное удлинение находится в пределах 40-50 %, твердость 160-200 НВ. Железоуглеродистые сплавы, находящиеся в аустенитном состоянии, легко поддаются обработке давлением. На диаграмме состояния аустенит занимает область NJESG (рисунок 4.6).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (карбид железа) (рисунок 4.3). Имеет сложную кристаллическую решетку. В Fe_3C содержится 6,67 % С. Характеризуется высокой твердостью (800 НВ), но очень хрупок. Чем больше цемента в сплавах, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают.

В зависимости от условий образования различают цементит первичный (Ц_I) (рисунок 4.3 а), который образуется при кристаллизации заэвтектических чугунов (ниже линии CD).

Цементит вторичный (Ц_{II}) (рисунок 4.3 б) – образуется у сплавов с содержанием 0,9-2,0 % С при охлаждении аустенита в результате изменения растворимости углерода в аустените (ниже линии ES в интервале температур от 1147 °С до 727 °С).

Цементит третичный (Ц_{III}) (рисунок 4.3 в) образуется у сплавов с содержанием 0,01-0,025 % С, при охлаждении феррита в результате изменения растворимости углерода в феррите (линия PQ), ниже температуры 727 °С.



а) - цементит первичный (пластинчатые светлые кристаллы);
 б) – цементит вторичный (светлая сетка по границам зерен);
 в) – цементит третичный (мелкие светлые включения на границе феррита)

Рисунок 4.3 – Виды цементита

К двухфазным составляющим относят перлит и ледебурит.

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид), состоящая из двух фаз: феррита и цементита, содержит 0,8 % С (рисунок 4.4). Образуется в результате распада аустенита в процессе его охлаждения при температурах ниже 727 °С. Перлит в зависимости от формы частичек цементита бывает пластинчатым или зернистым, что определяет его механические свойства. Перлит чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурной составляющей ($\sigma_B = 800-900$ МПа, $\delta \leq 16$ %, 180-220 НВ).



Рисунок 4.4 – Перлит
 Эвтектоидная смесь,
 состоящая из пластинок
 феррита и цементита



Рисунок 4.5 – Ледебурит
 Эвтектическая смесь, состоящая из округлых темных включений перлита на светлой основе цементита

Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита

та, образующаяся из жидкого расплава при температуре 1147 °С и содержащая 4,3 % С (рисунок 4.5). Так как при температуре ниже 727 °С аустенит превращается в перлит, то ледебурит состоит из цементита и перлита. В этой структурной составляющей цементит образует сплошную матрицу, в которой размещен перлит. Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости (> 600 НВ) и хрупкости.

4.5 Диаграммы состояний Fe – С и Fe – Fe₃C

Диаграммы отражают в координатах температура – массовая доля элемента (С) в виде линий и точек границы областей устойчивости фаз в сплавах железа с углеродом. Они охватывает области твердого и твердо-жидкого состояний. Жидкое состояние чугуна, как наименее изученное, на этой диаграмме условно показано однородным. В связи с этим последние годы предпринимаются попытки расширить диаграмму состояния сплава главным образом в области жидкого состояния.

Взаимодействие железа с углеродом описывается двумя диаграммами:

- 1) стабильной - железо-углерод (Fe-C) (рисунок 4.6, пунктирные линии);
- 2) метастабильной - железо-цементит (Fe-Fe₃C) (рисунок 4.6, сплошные линии).

Фазовые превращения в сталях отражает диаграмма состояния Fe-Fe₃C. Фазовые превращения в высокоуглеродистых сплавах – чугунах – развиваются согласно диаграмме Fe-C.

Так как при практических скоростях охлаждения углерод в системе Fe-C находится в виде цементита, наибольшее практическое применение имеет диаграмма Fe – Fe₃C. Обычно в железоуглеродистых сплавах отмечают концентрацию не цементита, а углерода, в связи с чем ее принято называть диаграммой железо-углерод.

Диаграмма состояния Fe-C нанесена на диаграмме Fe-Fe₃C. Такой способ изображения системы Fe-C дает возможность сравнивать обе диаграммы. Чтение диаграммы Fe-C принципиально не отличается от чтения диаграммы Fe-Fe₃C, но во всех случаях из сплавов выпадает не цементит, а графит.

Каждая точка диаграммы состояния характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре. Точка А (1539 °С) отвечает температуре плавления железа, точка D (≈1250 °С) – температуре плавления цементита, точки N (1392 °С) и G (910 °С) соответствуют полиморфному превращению Fe_α ↔ Fe_γ.

Концентрация углерода (по массе) для характерных точек диаграммы состояния (рисунок 4.6) следующая: В – 0,51 % С в жидкой фазе, находящейся в равновесии с δ-ферритом (Fe_δ(C)) и аустенитом (Fe_γ(C)), при перитектической реакции и при 1499 °С; Н – 0,1 % С в δ-феррите при 1490 °С;

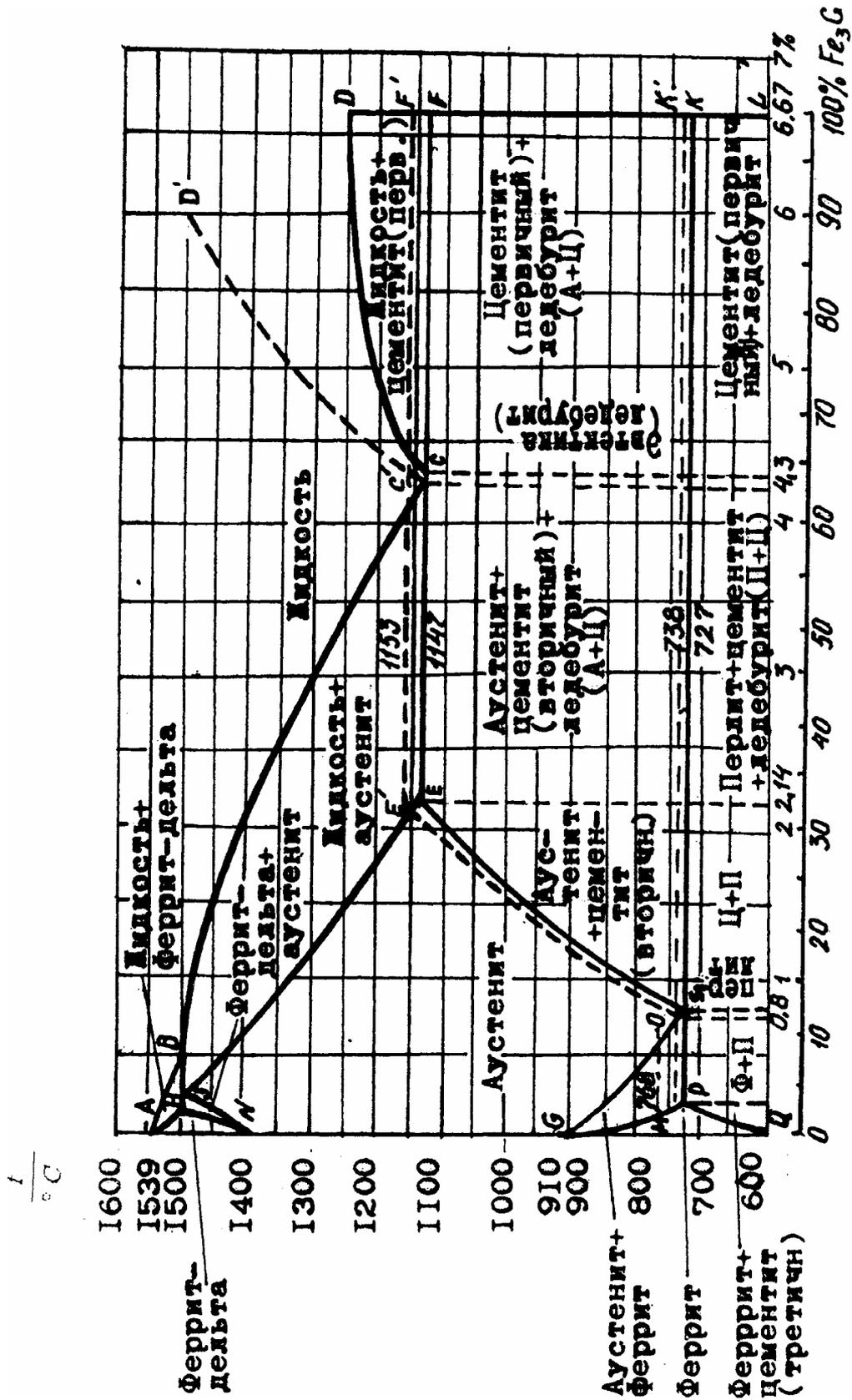


Рисунок 4.6 – Диаграммы состояний железо-цементит и железо-углерод. Сплошные линии – метастабильная система железо-цементит (Fe – FeC₃), пунктирные линии – стабильная система железо – углерод (Fe - C).

J – 0,16 % C - в аустените-перитектике при 1490 °C; E – 2,14 % предельное содержание в аустените при 1147 °C; S – 0,8 % C в аустените при реакции эвтектоидного превращения 727 °C; P – 0,02 % C – предельное содержание в феррите ($Fe_{\alpha}(C)$) при 727 °C.

Линия, соединяющая точки ABCD на диаграмме – линия ликвидус. Выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии. Линия ANJESF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии и при дальнейшем охлаждении происходят только процессы, связанные с изменением растворимости углерода в Fe_{α} и Fe_{γ} , а также процессы, которые обуславливаются аллотропическим (полиморфным) превращением железа.

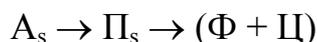
Линия АВ указывает температуру начала кристаллизации δ -феррита из жидкого сплава; линия ВС - температуру начала кристаллизации аустенита; линия CD – температуру начала кристаллизации первичного цементита.

При достижении температуры 1147 °C ECF (эвтектики) состав жидкой фазы любого сплава, расположенного между точками E и F диаграммы, будет соответствовать точке C (4,3 % C). При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы состава 4,3 % углерода кристаллизуется с образованием эвтектики – механической смеси кристаллов аустенита и цементита, называемой ледебуритом.

Ниже линии GS происходит полиморфное превращение аустенита в феррит.

Линия SE является линией насыщения и показывает, как изменяется растворимость углерода Fe_{γ} с изменением температуры. Вследствие уменьшения растворимости углерода в Fe_{γ} при понижении температуры из пересыщенного аустенита будет выделяться вторичный цементит Ц_{II} .

Линия PSK 727 °C является линией эвтектоидного превращения. При этой температуре аустенит (A_s) состава точки S (0,8 % C) распадается с образованием перлита (П_s):



4.6 Углеродистые стали

4.6.1 Структура углеродистых сталей

Сталями называются сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 % до 2,14 % углерода. При содержании углерода до 0,006 % сплавы однофазные и имеют структуру феррита, например, электролитическое железо.

Сплавы, содержащие от 0,006 % до 0,02 % углерода называются техническим железом (рисунок 4.7).

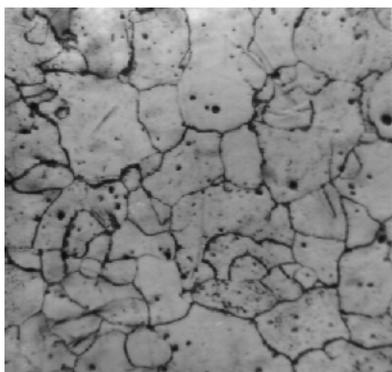


Рисунок 4.7 - Микроструктура технического железа

Увеличение содержания углерода вследствие его незначительной растворимости в феррите вызывает появление второй фазы - цементита третичного. При содержании углерода до 0,025 % структурно свободный цементит выделяется, главным образом, по границам зерен феррита. Это существенно понижает пластичность и вязкость стали, особенно, если цементит располагается цепочками или образует сетку вокруг зерен феррита.

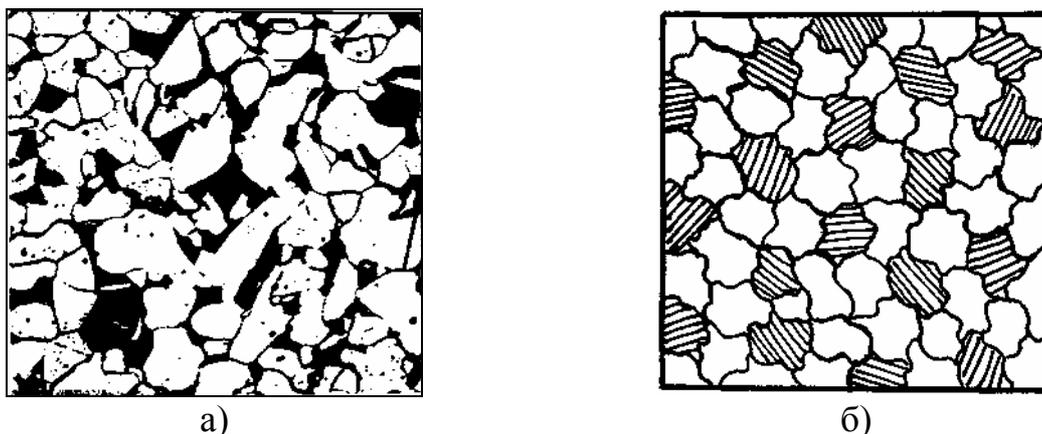
При увеличении содержания углерода выше 0,025 % в структуре стали образуется перлит; одновременно еще до 0,10 - 0,15 % C в стали появляются включения структурно свободного (третичного) цементита. С дальнейшим повышением содержания углерода третичный цементит входит в состав перлита.

За превращениями, протекающими в сталях в процессе их нагрева и охлаждения, можно проследить, пользуясь левой частью диаграммы состояния (рисунок 4.6).

По микроструктуре стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные (рисунки 4.8, 4.9, 4.10). Стали с содержанием углерода от 0,02 до 0,8 % называют доэвтектоидными; с содержанием 0,8 % углерода – эвтектоидными; с содержанием от 0,8 % до 2,14 % – заэвтектоидными.

Как следует из диаграммы Fe-Fe₃C, при комнатной температуре в равновесном состоянии микроструктура доэвтектоидной стали состоит из феррита и перлита (рисунок 4.8). Количественное соотношение между структурными составляющими (Ф и П) в доэвтектоидных сталях определяется содер-

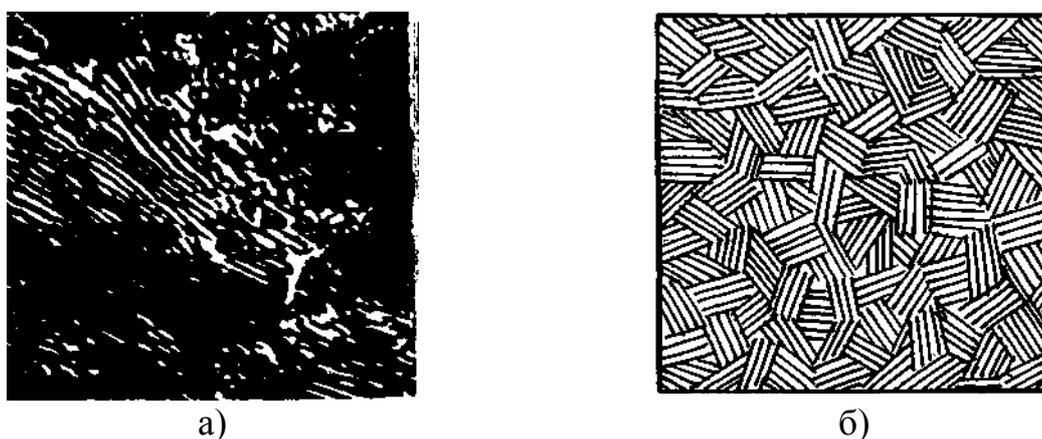
жанием углерода. Чем ближе содержание углерода к эвтектоидной концентрации, тем больше в структуре перлита.



а – микроструктура малоуглеродистой стали (0,15 % С):
феррит (светлая составляющая) +перлит (темная составляющая);
б – схема микроструктуры

Рисунок 4.8 – Микроструктура доэвтектоидной стали

Микроструктура эвтектоидной стали (0,8 % С) состоит только из перлита (рисунок 4.9). Образуется из аустенита при охлаждении стали У8 (линия PSK). Строение перлита вследствие его значительной дисперсности (мелкозернистости) может быть детально различимо только при сравнительно больших увеличениях ($\times 600$).

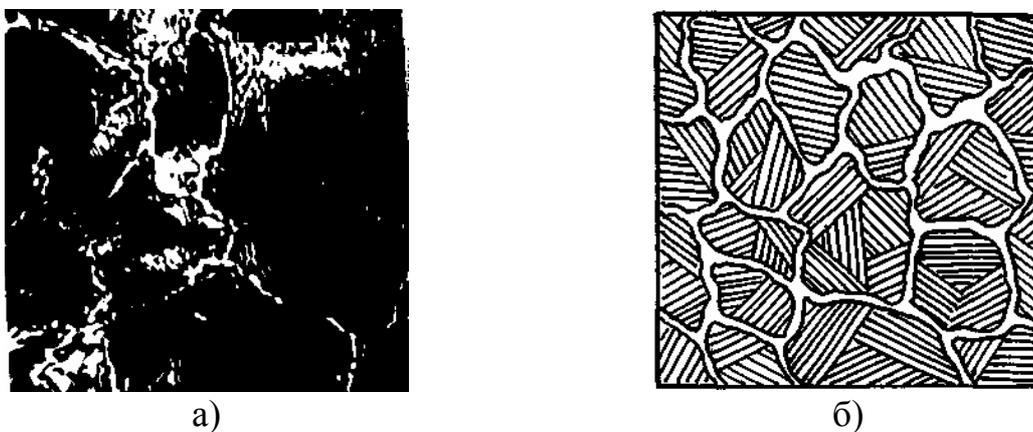


а - микроструктура стали У8: перлит пластинчатый;
б – схема микроструктуры

Рисунок 4.9 – Микроструктура эвтектоидной стали

Микроструктура заэвтектоидной стали (рисунок 4.10) состоит из пер-

лита и вторичного цементита. Образуется у стали У9-У13 из аустенита при охлаждении. Сетка цементита начинает образовываться на линии ES, перлит – на линии PSK. Максимальное количество структурно свободного цементита (~ 20 %) будет в сплаве с содержанием углерода 2,14 %.



а – микроструктура: перлит+цементит_ц; б – схема микроструктуры

Рисунок 4.10 – Микроструктура заэвтектоидной стали

Чтобы отличить микроструктуру цементита от феррита, имеющего также светлую окраску, необходимо шлиф, протравленный 4 %-ным раствором азотной кислоты, заново перешлифовать, переполлировать и заново протравить раствором пикрата натрия, который окрашивает цементит в темный цвет.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом, в связи с тем, что в феррите растворено очень небольшое количество углерода, практически можно считать, что в доэвтектоидной стали весь углерод находится в перлите.

$$C = \frac{S_{II} \cdot 0,8}{100},$$

где С – концентрация углерода в сплаве, в процентах;

S_{II} - видимая часть площади микроструктуры, занимаемая перлитом в процентах.

По количественному соотношению перлита и феррита, согласно ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталон микроструктуры, ферритно-перлитные структуры классифицируются по десятибальной шкале (таблица 4.1). Оценка производится визуально при 100-кратном увеличении по средней площади, занимаемой перлитом на микрошлифе.

Таблица 4.1 - Классификация ферритно-перлитных структур по десятибалльной шкале

| Балл | Содержание, % | | Балл | Содержание, % | |
|------|---------------|---------|------|---------------|---------|
| | перлита | феррита | | перлита | феррита |
| 1 | 100 | 0 | 6 | 50 | 50 |
| 2 | 95 | 5 | 7 | 35 | 65 |
| 3 | 85 | 15 | 8 | 20 | 80 |
| 4 | 75 | 25 | 9 | 5 | 95 |
| 5 | 65 | 35 | 10 | 0 | 100 |

4.6.2 Зависимость механических свойств углеродистых сталей от содержания углерода

Изменение содержания углерода вызывает изменения в структуре стали, что, в свою очередь, оказывает определяющее влияние на свойства стали.

В соответствии с диаграммой состояния структура стали в равновесном состоянии представляет собой смесь феррита и цементита, причем количество цементита увеличивается пропорционально содержанию углерода. Феррит малопрочен и пластичен, цементит тверд и хрупок. Поэтому увеличение цементита приводит к повышению твердости, прочности и снижению пластичности.

На механические свойства заэвтектоидных сталей сильное влияние оказывает вторичный цементит, образующий хрупкий каркас вокруг зерен перлита. Под нагрузкой этот каркас преждевременно разрушается, вызывая снижение прочности, пластичности. Из-за этого заэвтектоидные стали применяют после специального отжига со структурой зернистого перлита, отличающегося от пластинчатого перлита меньшей твердостью и большей пластичностью.

Углерод изменяет технологические свойства стали: обрабатываемость резанием, давлением, свариваемость. Увеличение содержания углерода ведет к снижению обрабатываемости резанием. Лучшей обрабатываемостью резанием обладают стали с содержанием 0,3 - 0,4 % С.

С увеличением содержания углерода снижается технологическая пластичность – способность деформироваться в горячем и, особенно, в холодном состоянии. Для сложной холодной штамповки содержание углерода ограничивается 0,1 %.

Углерод затрудняет свариваемость сталей. Хорошей свариваемостью обладают низкоуглеродистые стали.

Для иллюстрации на рисунке 4.11 приведен график зависимости механических свойств стали от содержания углерода.

$$\text{НВ} \quad \frac{\sigma_B}{\text{МПа}} \quad \frac{KCU}{\text{МДж} \cdot \text{м}^{-2}} \quad \Psi \quad \delta \\
 \% \quad \%$$

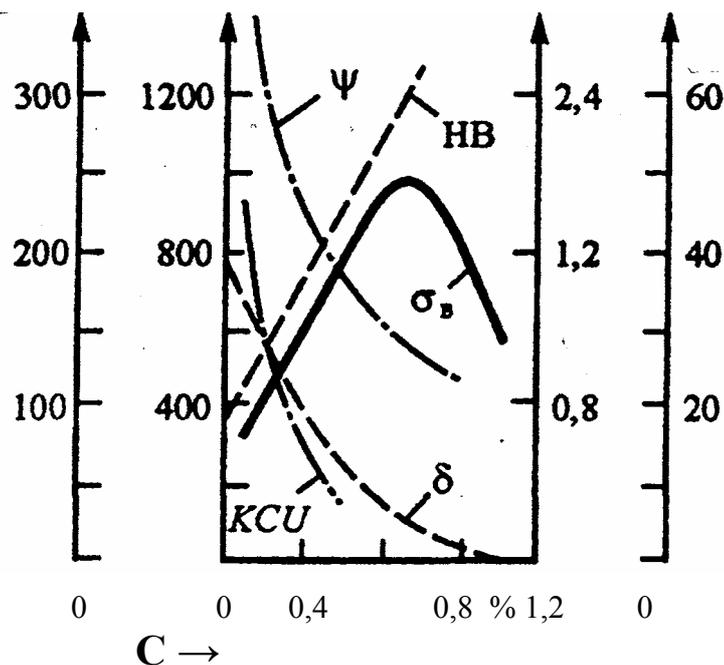


Рисунок 4.11 - График зависимости механических свойств стали от содержания углерода

4.6.3 Классификация и маркировка углеродистых сталей

Углеродистые стали подразделяют на низкоуглеродистые до 0,25 % С, среднеуглеродистые (0,3 - 0,6 % С), высокоуглеродистые (более 0,6 % С). По применению углеродистые стали подразделяются на конструкционные и инструментальные. Конструкционные стали классифицируют на стали обыкновенного качества и качественные.

Конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества обозначается буквами Ст, после которых стоит цифра от 0 до 6, обозначающая номер марки стали (с увеличением номера возрастает содержание углерода), например: Ст1, Ст2, ..., Ст6. Чем больше номер, тем выше прочность и твердость, но ниже пластичность (таблица 4.2). Наиболее пластичные и наименее твердые - Ст0, Ст1, Ст2 - идут на изготовление кровельных листов, крепежных изделий; наиболее твердая и прочная сталь этой группы - Ст6 применяется, например, в производстве рельсов, рессор. Стали обыкновенного качества выпускают в виде проката (прутки, балки, листы, уголки, швеллеры и т.п.).

Углеродистые качественные стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества содержанием вредных примесей и неметаллических включений.

Таблица 4.2 – Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества

| Марка стали | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % | Марка стали | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % |
|-------------|------------------|------------------|--------------|-------------|------------------|------------------|--------------|
| Ст0 | до 310 | - | 23-20 | Ст4 | 420-540 | 270-240 | 24-22 |
| Ст1 | 320-420 | - | 34-31 | Ст5 | 500-640 | 290-260 | 20-17 |
| Ст2 | 340-440 | 230-240 | 32-29 | Ст6 | до 600 | 320-300 | 15-12 |
| Ст3 | 380-490 | 250-210 | 26-23 | | | | |

Качественную сталь маркируют двузначным числом, обозначающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Низкоуглеродистую сталь марок 08, 10, 15, 20, 25 применяют для изготовления метизов и деталей, от которых не требуется высокой прочности. Среднеуглеродистые стали 30, 35, ..., 55 отличаются большей прочностью, меньшей пластичностью, чем низкоуглеродистые. Высокоуглеродистые стали марок 60, 65, ..., 85 имеют большую твердость и прочность и применяются для изготовления ответственных деталей машин.

Качественные инструментальные стали маркируют буквой У и цифрой, указывающей на содержание углерода в десятых долях процента: У7, У8 и т.д. Высококачественные инструментальные стали маркируют так же, как и качественные, но в конце марки ставят букву А: У7А, У8А - У12А.

4.7 Чугуны

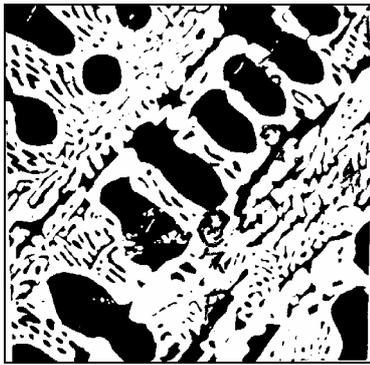
4.7.1 Белые чугуны

Чугуном называется сплав железа с углеродом, содержание которого от 2,14 % до 6,67 %. Чугуны, присутствующие на диаграмме Fe-Fe₃C, называют белыми. Такое название они получили в виду излома, имеющего матово - белый цвет. Весь углерод, содержащийся в белых чугунах, находится в химически связанном состоянии в виде цементита Fe₃C.

В зависимости от содержания углерода белые чугуны подразделяют на доэвтектические (2,14 % < C < 4,3 %), эвтектические (C = 4,3 %) и заэвтектические (C > 4,3 %) (рисунки 4.12, 4.13, 4.14).

Микроструктура доэвтектического белого чугуна состоит из перлита, цементита вторичного и ледебурита (рисунок 4.12).

Структура эвтектического белого чугуна состоит целиком из ледебурита и представляет собой эвтектическую смесь перлита и цементита (рисунок 4.13).



а)



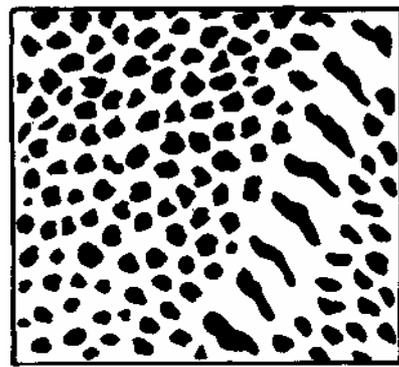
б)

а - микроструктура доэвтектического чугуна: перлит (более крупные зерна), цементит вторичный (светлые участки, сливающиеся с цементитом), ледебурит; б - схема микроструктуры

Рисунок 4.12 - Доэвтектический белый чугун



а)

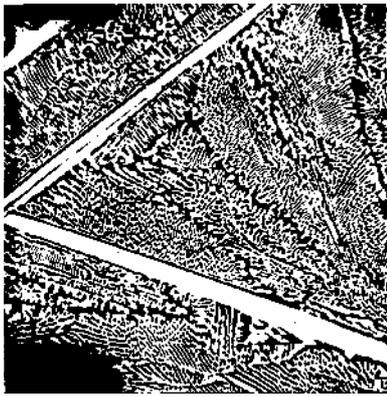


б)

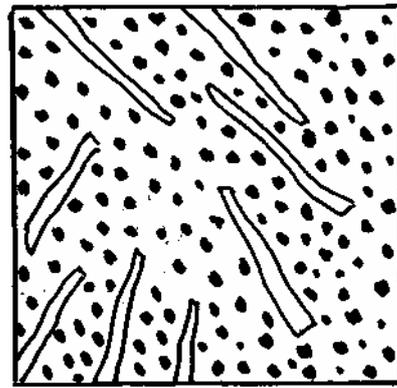
а - микроструктура эвтектического чугуна: цементит первичный (крупные светлые иглы) и ледебурит (участки с точечными темными включениями); б - схема микроструктуры

Рисунок 4.13 – Микроструктура эвтектического белого чугуна

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из цементита первичного и ледебурита (рисунок 4.14). Чем больше в структуре белого чугуна цементита, тем выше его твердость и хрупкость, тем труднее он обрабатывается резанием. Он используется главным образом для производства деталей, от которых требуется высокая твердость и износоустойчивость (шары размолочных мельниц, валки прокатных станов, лемехи плугов и другие детали, работающие в условиях износа).



а)



б)

а - микроструктура заэвтектического чугуна: цементит первичный (крупные светлые иглы) и ледебурит (участки с точечными темными вкраплениями); б - схема микроструктуры

Рисунок 4.14 – Микроструктура заэвтектического белого чугуна

4.7.2 Чугуны со структурно свободным углеродом

Помимо белых чугунов, в которых весь углерод находится в химически связанном состоянии, существуют чугуны со структурно свободным углеродом, выделяющимся в виде графита различной формы. Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, а также высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения. Вместе с тем, включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны различаются условием образования графитовых включений и их формой, что отражается на металлических свойствах отливок.

По форме графита различают серые чугуны с графитовыми частицами в виде пластинок, ковкие чугуны с графитом хлопьевидной формы и высокопрочные чугуны с шаровидным графитом.

В микроструктуре чугунов следует различать металлическую основу и включения графита в ней. Свойства чугунов определяются как структурой металлической основы, так и количеством, и формой графитных включений.

При одинаковой металлической основе наиболее высокими механическими свойствами обладают высокопрочные чугуны, наиболее низкими – серые. Ковкие чугуны занимают промежуточное положение. Это объясняется тем, что пустоты, в которых находятся графитовые частицы, играют роль концентраторов напряжений. Пустоты шаровидной формы (высокопрочный чугун) концентрируют напряжения в меньшей степени, чем пустоты пластинчатой формы.

Механические свойства чугунов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Механические свойства чугунов

| Марка чугуна | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | $\delta, \%$ | НВ | Структура металлической основы |
|-------------------------------------|------------|----------------|--------------|---------|--------------------------------------|
| | МПа | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Серые чугуны (ГОСТ 1412-85) | | | | | |
| СЧ10 | 100 | - | - | 1900 | Ф |
| СЧ15 | 150 | - | - | 163-210 | Ф |
| СЧ 25 | 250 | - | - | 180-245 | Ф+П |
| СЧ 35 | 350 | - | - | 220-275 | Ф |
| Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85) | | | | | |
| ВЧ 35 | 350 | 220 | 22 | 140-170 | Ф |
| ВЧ 45 | 450 | 310 | 10 | 140-225 | Ф+П |
| ВЧ 60 | 600 | 370 | 3 | 192-227 | Ф+П |
| ВЧ 80 | 800 | 490 | 2 | 248-351 | П |
| ВЧ 100 | 1000 | 700 | 2 | 270-360 | Б |
| Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79) | | | | | |
| КЧ 30-6 | 300 | - | 6 | 100-163 | Ф + до 10 % П |
| КЧ 35-8 | 350 | - | 8 | 100-163 | |
| КЧ 37-12 | 370 | - | 12 | 110-163 | |
| КЧ 45-7 | 450 | - | 7 | 150-207 | |
| КЧ 60-3 | 600 | - | 3 | 200-269 | П + до 10 % Ф |
| КЧ 80-1,5 | 800 | - | 1,5 | 270-320 | |

Структурный состав и свойства чугунов зависят, главным образом, от условий получения отливки (температуры жидкого металла, введения модификаторов и особенно от условий охлаждения при литье).

Серый чугун получил такое название из-за серого цвета излома. Серый цвет излому придает графит, содержащийся в чугуне в свободном состоянии в виде пластинок. Серые чугуны, как и белые, получают непосредственно при отливке.

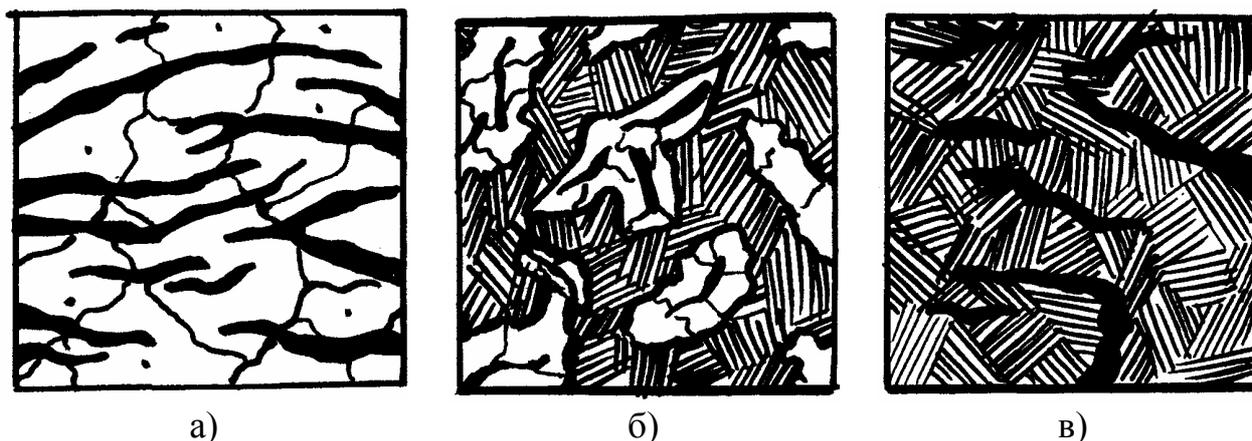
В зависимости от количества графитизатора (кремния), вводимого в расплав, можно получать три вида серых чугунов, различающихся по струк-

туре: ферритный, перлитный, ферритно-перлитный (рисунок 4.15).

Ферритные серые чугуны (рисунок 4.15 а) (марки СЧ10, СЧ15; $\sigma_{\text{в}}=150$ МПа) используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.

Ферритно-перлитные серые чугуны (рисунок 4.15 б) (марки СЧ20, СЧ25; $\sigma_{\text{в}}=250$ МПа) применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателя, поршни цилиндров, барабаны сцепления, станины станков и другие отливки разного назначения.

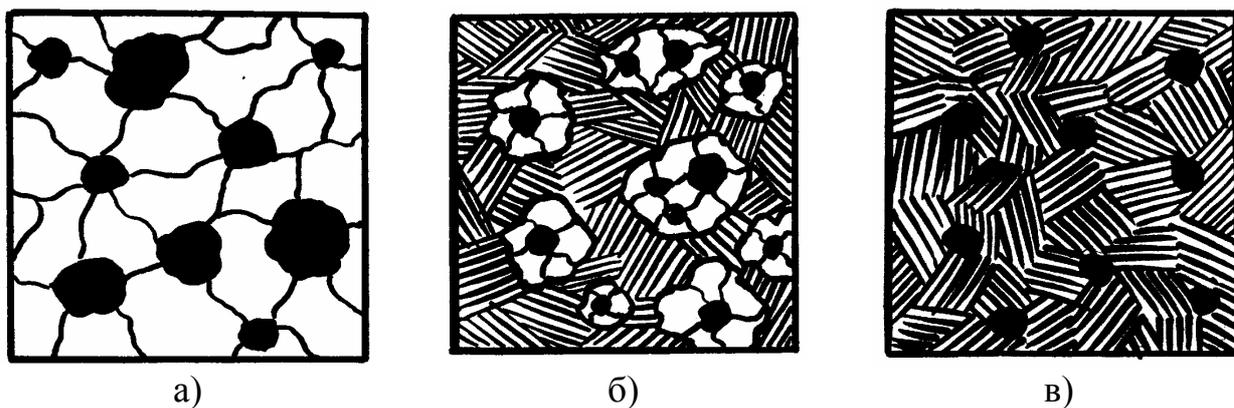
Перлитные серые чугуны (рисунок 4.15 в) (марки СЧ40, СЧ45) применяют для отливки станин мощных станков и механизмов. Часто используют перлитные серые модифицированные чугуны. Такие чугуны получают при добавлении в жидкий чугун перед разливкой специальных добавок – ферросилиция (0,3-0,6 % от массы шихты) или силикокальция (0,3-0,5 % от массы). Обладают более высокими механическими свойствами из-за измельчения формы графитных включений ($\sigma_{\text{в}}=400-450$ МПа). Эти марки чугунов применяются для корпусов насосов, компрессоров и гидроприводов.



а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 4.15 - Схемы микроструктур серых чугунов

Высокопрочные чугуны получают модифицированием расплава серого чугуна обычно магнием и ферросилицием для получения мелких включений графита шаровидной формы. По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным (рисунок 4.16).

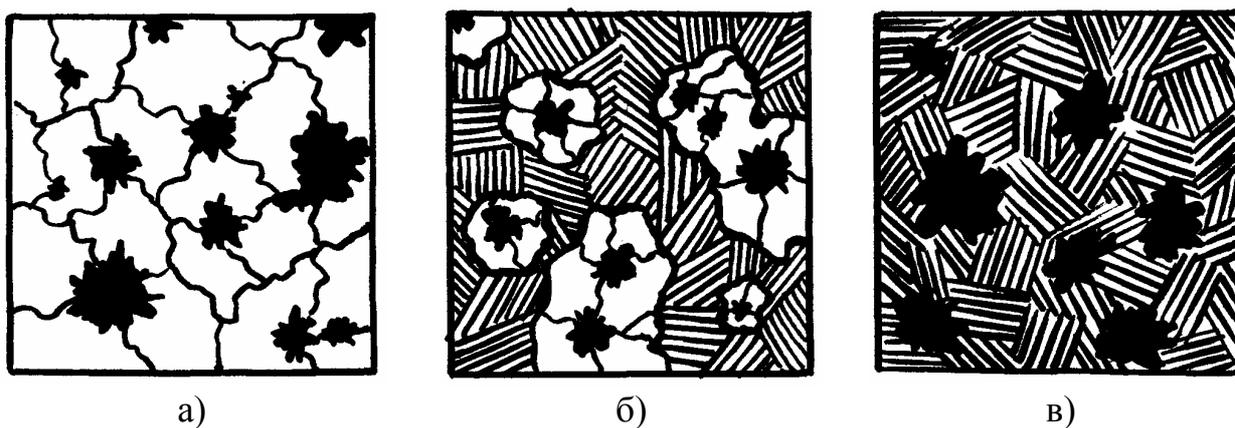


а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 4.16 - Схемы микроструктур высокопрочных чугунов

Механические свойства высокопрочного чугуна позволяют применять его для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях, вместо поковок или отливок из стали. Из высокопрочного чугуна изготавливают оборудование прокатных станов, кузнечно-прессового оборудования, корпуса паровых турбин, детали тракторов, автомобилей (коленчатые валы, поршни) и другие детали, работающие при циклических нагрузках и в условиях сильного износа.

Ковкий чугун – условное название вязкого и мягкого чугуна (не куется, но достаточно пластичен). Ковкий чугун получают длительным отжигом доэвтектического белого чугуна. При этом цементит белого чугуна распадается с образованием графита хлопьевидной формы. Металлическая основа в ковких чугунах такая же, как и в литейных серых (рисунок 4.17).



а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Рисунок 4.17 - Схемы микроструктур ковких чугунов

Перлитные ковкие чугуны (КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 60-3) более прочные, ферритные – более пластичные. Ковкий чугун широко применяют в автомобильном, сельскохозяйственном, текстильном машиностроении, в судостроении,

котло-, вагоно- и дизелестроении. Ковкий чугун идет на изготовление деталей высокой прочности, которые подвержены сильному истиранию и ударным знакопеременным нагрузкам.

Серые и высокопрочные чугуны маркируют буквами СЧ и ВЧ соответственно, а также двумя цифрами, обозначающими предел прочности сплава при растяжении, уменьшенный в 10 раз (в МПа). Например, СЧ 35, ВЧ 80. Ковкие чугуны маркируют буквами КЧ и двумя группами цифр, первая из которых указывает значение уменьшенного в 10 раз предела прочности при растяжении (в МПа), а вторая – значение относительного удлинения (в %), например, КЧ 37-12.

4.8 Порядок выполнения работы.

4.8.1 Изучите по диаграмме состояния Fe – Fe₃C превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах при охлаждении.

4.8.2 Ознакомьтесь со структурными составляющими железоуглеродистых сплавов. Найдите на диаграмме состояния области существования этих структур.

4.8.3 Получите у лаборанта микрошлифы образцов различных сталей и чугунов. С помощью металлографического микроскопа изучите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. Определите вид сплава: сталь (доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная); чугун (белый, серый, ковкий, высокопрочный).

4.8.4 Зарисуйте все просмотренные структуры с указанием фазовых и структурных составляющих. Микроструктуры зарисовать в квадратах размером 50 × 50 мм. Основное при зарисовке микроструктуры – уловить характерные особенности микроструктуры и передать их на рисунке. Нет необходимости передавать на рисунке фотографически точное изображение. Фазы и структурные составляющие указывать стрелками, на полях писать их наименование.

4.9 Содержание отчета

4.9.1 Цель работы.

4.9.2 Краткое описание структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.

4.9.3 Рисунок диаграммы состояния Fe – Fe₃C.

4.9.4 Схемы и описание микроструктуры сталей и чугунов.

4.9.5 Выводы по работе. В выводах указывается влияние содержания углерода на структуру и механические свойства; влияние формы графитовых включений и структуры металлической основы на свойства чугунов.

4.10 Контрольные вопросы

4.10.1 Какие железоуглеродистые сплавы относятся к техническому железу, сталям и чугунам?

4.10.2 Каковы фазовые и структурные составляющие системы Fe-C? Характеристика структурных составляющих.

4.10.3 Какая из структур железоуглеродистых сплавов является механической смесью феррита и цементита?

4.10.4 Что такое ледебурит?

4.10.5 Как классифицируют по структуре стали и чугуны?

4.10.6 Какие существуют виды чугунов? В какой форме присутствует в них углерод?

4.10.7 Как влияет на свойства серого чугуна форма графитовых включений и структура металлической матрицы?

4.10.8 Как получают ковкий и высокопрочный чугун? Как различаются по свойствам серый, ковкий и высокопрочный чугуны?

Приложение А (справочное)

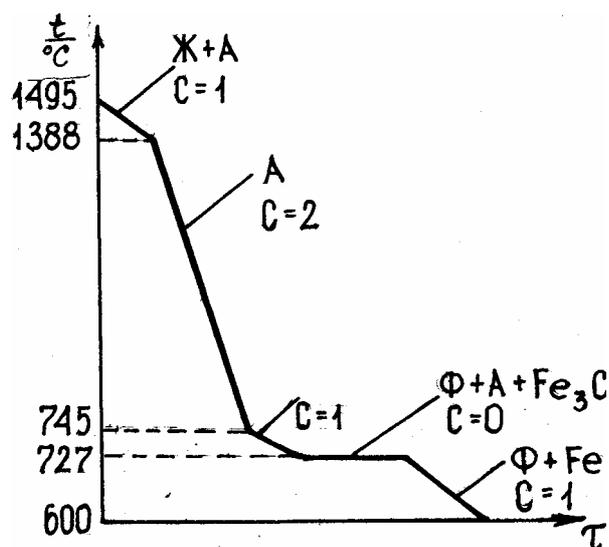
Приобретение навыков работы с диаграммой состояния железо-углерод

Исходные данные:

Сплав содержит 0,7 % углерода. Заданная температура 600 °С.

| Номера температурных интервалов | Температурные границы интервалов, °С | | Концентрация углерода в фазовых состояниях, % | | | Структурный состав | Вариантность системы |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|---|--|--------------------|----------------------|
| | верхние границы | нижние границы | наименование фазы | на верхней границе температурного интервала | на нижней границе температурного интервала | | |
| 1 | 1495 | 1388 | Ж А | 0,7 0,2 | 2,25 0,7 | Ж+А | 1 |
| 2 | 1388 | 745 | А | 0,7 | 0,7 | А | 2 |
| 3 | 745 | 727 | А Ф | 0,7 0,016 | 0,8 0,02 | А+Ф | 1 |
| 4 | 727 | 727 | Ф А Fe ₃ C | 0,8 0,02 6,67 | 0,8 0,02 6,67 | А+Ф+ П | 0 |
| 5 | 727 | 600 | Ф Fe ₃ C | 0,02 6,67 | 0,01 6,67 | Ф+П | 1 |

Ж - жидкость, А - аустенит, Ф - феррит, П - перлит, Fe₃C - цементит



5 Лабораторная работа № 5

Упражнения по диаграмме железо-углерод *)

5.1 Цель работы

Приобретение навыков работы с диаграммами состояния на примере диаграммы железо-углерод.

5.2 Общие сведения

Диаграммы состояния представляют собой графическое изображение состояния сплавов. Свойства сплавов определяются, прежде всего, составом фаз и их количественным соотношением. Сведения о составе и соотношении фазовых составляющих можно получить, анализируя диаграмму состояния.

Зная диаграмму состояния, можно представить полную картину кристаллизации любого сплава, формирования его структуры. Диаграмма состояния позволяет оценить свойства сплавов, найти оптимальные параметры таких технологических процессов как литье, термическая и химико-термическая обработка, сделать заключение о возможности обработки давлением и т.д.

5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Получите у преподавателя задание на выполнение работы (на первом этапе - концентрацию углерода в сплаве, на втором – температуру сплава).

5.3.2 Опишите процесс кристаллизации сплава заданного состава (этап первый). В процессе работы заполните таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Фазовый и структурный состав сплава в температурных интервалах

| Номер температурного интервала | Температурные границы интервалов | | Концентрация углерода в фазовых составляющих, % | | | Структурный состав | Вариантность СИСТЕМЫ |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------|---|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| | верхняя граница | нижняя граница | наименование фазы | на верхней границе | на нижней границе | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |

*) Составлено при участии Синюхина А.В.

5.4 Определение количества интервалов

Фигуративной точкой называется точка на диаграмме состояния, характеризующая состояние сплава заданной концентрации при определенной температуре.

Под температурным интервалом следует понимать область температур, в которой сплав находится в качественно неизменном фазовом составе.

Для определения количества температурных интервалов необходимо проделать следующее:

- а) найти на оси концентраций диаграммы железо-углерод точку, определяющую состав заданного сплава;
- б) мысленно провести вертикальную линию от этой точки до пересечения с линией ликвидус (данная линия будет называться фигуративной);
- в) проследить через сколько областей с различным фазовым составом проходит линия (рисунок 5.1).

Замечание: В большинстве случаев каждая из областей находится между двумя сплошными линиями диаграммы состояния. Однако область может стянуться в точку, если она лежит на горизонтальных линиях диаграммы: линии перитектики (НВ), эвтектики (ЕСF) или эвтектоида (PSK). Например, четвертый температурный интервал на рисунке 5.1 является точечным.

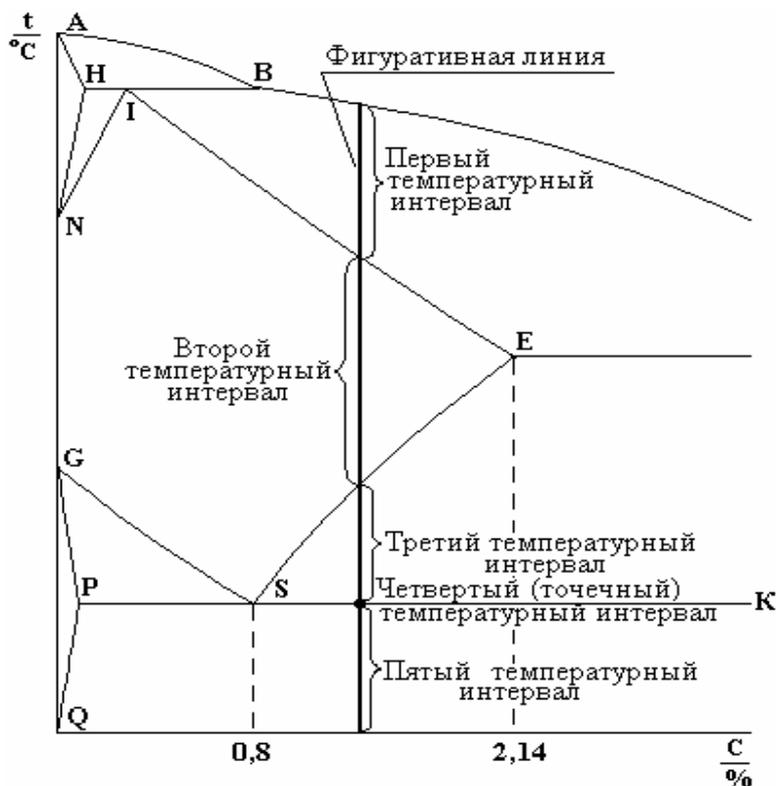


Рисунок 5.1 – Фрагмент диаграммы состояния Fe – C для определения количества температурных интервалов

5.5 Определение температур верхней и нижней границ каждого из температурных интервалов

Граничными точками температурных интервалов являются точки пересечения фигуративной линии со сплошными линиями диаграммы состояния.

Температура нижней границы температурных интервалов совпадает с температурой верхней границы последующего интервала.

Температуры граничных точек, а также концентрации углерода в них следует определять по рисункам фрагментов диаграммы состояния железо-углерод (приложение А).

Температуры фиксированных точек диаграммы состояния и концентрация углерода в них приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Фиксированные точки диаграммы состояния

| Наименование точки | Температура, °С | Концентрация углерода, % |
|--------------------|-----------------|--------------------------|
| A | 1539 | 0 |
| H | 1499 | 0,1 |
| I | 1499 | 0,16 |
| B | 1499 | 0,5 |
| N | 1392 | 0 |
| D | 1250 | 6,69 |
| E | 1147 | 2,14 |
| C | 1147 | 4,3 |
| F | 1147 | 6,69 |
| G | 911 | 0 |
| P | 727 | 0,02 |
| S | 727 | 0,8 |
| K | 727 | 6,69 |
| Q | 600 | 0,01 |
| L | 600 | 6,69 |

5.6 Определение фазового состава сплава в каждом из температурных интервалов

Фазами могут быть только чистые компоненты, растворы и химические соединения. В диаграмме железо-углерод фазами являются: феррит-дельта, феррит, аустенит, цементит и жидкость.

При определении фазового состава в температурных интервалах, соответствующих двухфазным областям диаграммы, обратите внимание, с какими фазами (однофазными областями) граничит данная область слева и справа. Эти фазы и будут присутствовать в рассматриваемом интервале (рисунок 5.2).

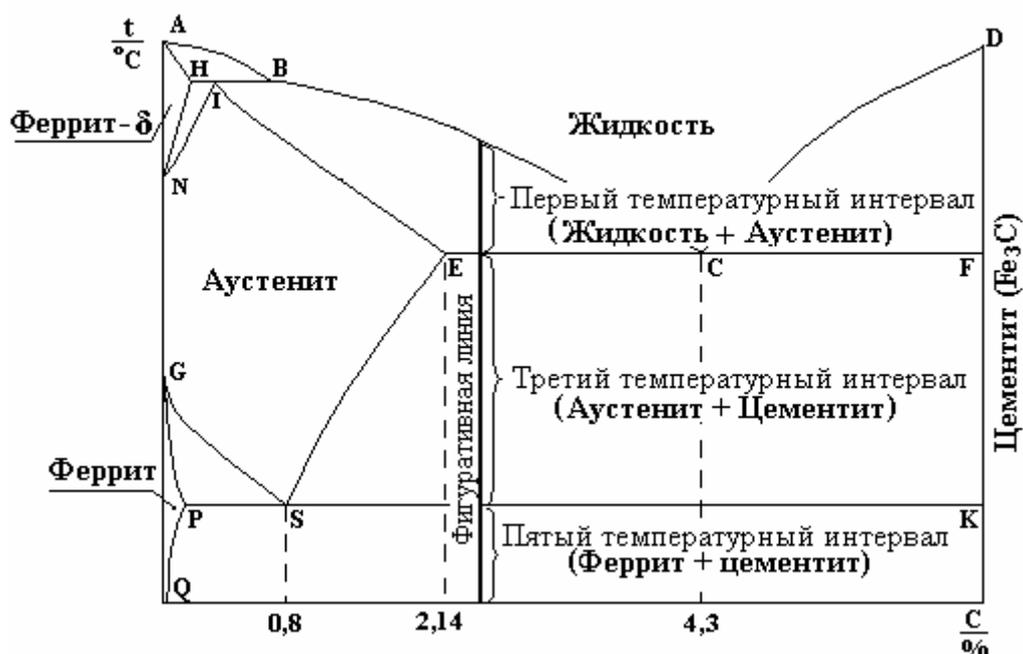


Рисунок 5.2 – Фрагмент диаграммы состояния Fe – C для определения фазового состава двухфазных областей

При определении фазового состава в “точечных” температурных интервалах, соответствующих трехфазным областям (линия перитектики 1499 °С, линия эвтектики 1147 °С, линия эвтектоида 727 °С), обратите внимание каким трем фазам принадлежат точки линии. Эти фазы и будут присутствовать в рассматриваемом температурном интервале.

5.6 Определение концентрации углерода в каждой из фаз при температурах, соответствующих верхней и нижней границам каждого из температурных интервалов

При отыскании концентрации углерода в фазах в температурных интервалах, соответствующих двухфазным областям, следует применить первое правило отрезков: «Чтобы определить концентрацию компонентов в фазовых составляющих сплава, нужно через заданную точку двухфазной области провести коноду (рисунок 5.3). (Конодой называется горизонтальный отрезок, проведенный в двухфазной области диаграммы состояния и опирающийся своими концами на фазовые границы). Проекция концов коноды на ось концентраций покажут состав каждой из фаз, составляющих сплав при заданной температуре.» Например, на рисунке 5.3 коноды проведены через точки, соответствующие верхней (T_1) и нижней (T_2) границам рассматриваемого температурного интервала. На верхней границе температурного интервала концентрация углерода в жидкости будет определяться точкой C_2 , а в аустените – точкой C_1 . На нижней границе в жидкости – точкой C_3 , а в аустените – точкой C_2 .

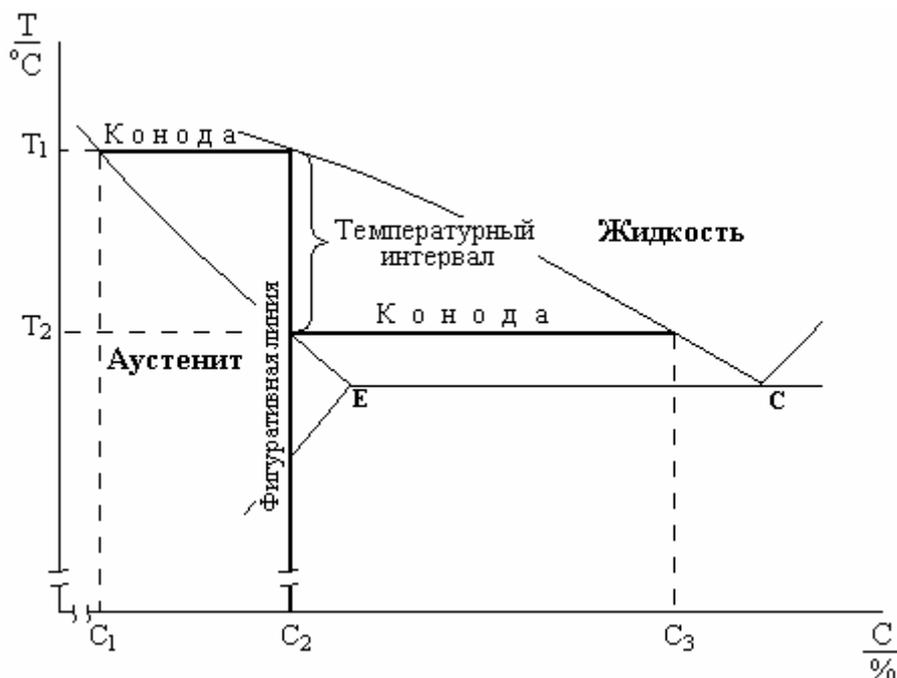


Рисунок 5.3 – Фрагмент диаграммы состояния Fe – С для определения концентрации углерода в фазах в двухфазных областях

При отыскании концентрации углерода в фазах в “точечных” температурных интервалах, соответствующих трехфазным областям, обратите внимание какие фиксированные точки принадлежат этой линии. Концентрация углерода в фиксированных точках (таблица 5.2) определяет состав фаз, которым принадлежат эти точки.

5.7 Расчет вариантности системы

Под вариантностью системы (числом степеней свободы) понимают число внешних и внутренних факторов, которые можно изменять, не выводя систему из данного фазового состава. Внешним фактором является температура, внутренним – концентрация компонентов.

Расчет вариантности C , (числа степеней свободы) системы проводят по формуле, известной как правило фаз:

$$C = K - F + 1,$$

где K – число компонентов ($K = 2$, поскольку система железоуглеродистых сплавов состоит из двух компонентов – железа и углерода).

F – число фаз, составляющих сплав в данном температурном интервале;

5.8 Определение структурного состава сплава в каждом из температурных интервалов

Железоуглеродистые сплавы могут иметь в своем составе следующие структурные составляющие: феррит-дельта, феррит, аустенит, жидкость, цементит первичный, цементит вторичный, цементит третичный, перлит и ледебурит.

Для определения структурного состава следует отчетливо представлять какие превращения происходят в данном температурном интервале и во всех предшествующих интервалах.

Структурные составляющие феррит-дельта, феррит, аустенит и жидкость совпадают с соответствующими фазовыми составляющими.

Первичным называется цементит, выделяющийся в заэвтектических чугунах из жидкости. Вторичный цементит – это цементит, выделяющийся в заэвтектоидных сталях и в доэвтектических чугунах из аустенита в интервале температур от 1147 до 727 °С. Третичный цементит выделяется из феррита ниже температуры 727 °С. Встречается третичный цементит только в низкоуглеродистых сталях с концентрацией углерода не более 0,02 %. Все виды структурного цементита сохраняются с момента образования до комнатной температуры и ниже.

Перлит представляет собой продукт эвтектоидного распада аустенита, протекающего при охлаждении железоуглеродистых сталей в районе температуры 727 °С, и является механической смесью двух фаз: феррита и цементита.

Ледебурит – это продукт эвтектического распада жидкости, протекающего при охлаждении чугунов ниже 1147 °С, и представляет собой механическую смесь двух фаз: аустенита и цементита. Ниже температуры 727 °С ледебурит, после эвтектоидного распада аустенита, входящего в него, представляет собой смесь перлита и цементита.

Структурный состав обычно обозначен на диаграммах состояния.

5.9 Построение кривой кристаллизации заданного сплава

При построении кривой кристаллизации сплава руководствуются значениями вариантности системы в каждом из температурных интервалов. При этом интервалы с нулем степеней свободы изображаются в виде горизонтального отрезка, интервалы с одной или двумя степенями свободы – в виде наклонной линии. Причем линия, соответствующая интервалу с двумя степенями свободы, вычерчивается круче, чем с одной степенью свободы. Масштаб по горизонтали произвольный.

5.10 Расчет количественного фазового и структурного состава сплава (этап второй)

Для расчета количества каждой из фаз (в процентах), присутствующих в сплаве при заданной температуре, следует воспользоваться вторым правилом отрезков: “Для нахождения количественного соотношения фазовых составляющих сплава нужно через заданную точку двухфазной области диаграммы состояния, характеризующую состояние сплава (фигуративную точку), провести коноду. Отношение длины отрезка, заключенного между фигуративной точкой и одним из концов коноды, к длине всей коноды численно равно относительному количеству второй фазы (соответствующей второму концу коноды) “.

Для определения длины коноды найдите, в соответствии с первым правилом отрезков, концентрации углерода в точках, на которые она опирается. Далее следует пользоваться значениями концентраций как координатами на числовой оси (рисунок 5.4).

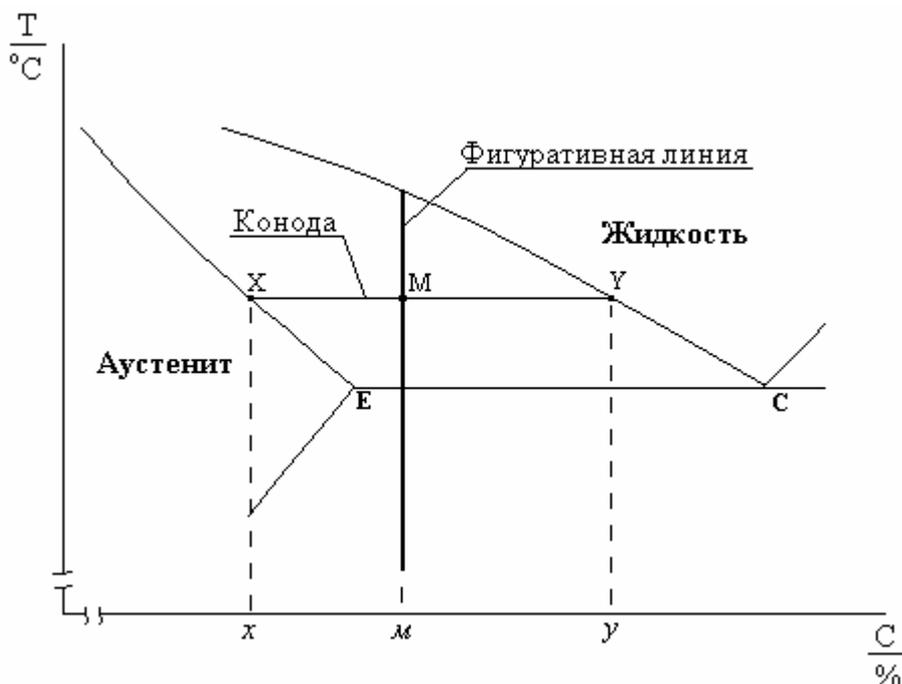


Рисунок 5.4 – Определение относительного фазового состава сплава в точке М

На рисунке через фигуративную точку М проведена конода ХУ.

В соответствии с изложенным количество жидкости в сплаве в точке М равно

$$Ж = \frac{m - x}{y - x} \cdot 100 \%,$$

количество аустенита в точке М

$$A = \frac{y - m}{y - x} \cdot 100 \%,$$

где m , x , y – концентрация углерода соответственно в точках M , X , U .

Расчет количественного фазового состава в трехфазных областях невозможен, поскольку в них происходит при одной и той же температуре непрерывное изменение соотношения фаз. Характер изменения определяется направлением движения теплоты (к системе или от нее).

При расчете количественного структурного состава сплава при данной температуре конода должна опираться не на фазовые, а на структурные границы. К структурным границам относятся, кроме границ, совпадающих с фазовыми границами (сплошные линии диаграммы состояния), еще и вертикальные линии, проведенные пунктирными линиями и соответствующие эвтектической (4,3 %) и эвтектоидной (0,8 %) концентрации углерода в сплавах.

Задачу о количественном структурном составе сплава при трех структурных составляющих решают более сложным путем. В данном случае используют то, что масса эвтектики с момента ее образования остается в сплаве при дальнейшем его охлаждении неизменной. Поэтому содержание эвтектики (ледебурита) можно рассчитывать при условии, когда в сплаве присутствуют только две структурные составляющие (ледебурит + аустенит).

5.11 Исходя из найденного структурного состава, выполните рисунок предполагаемой структуры сплава.

5.12 Содержание отчета по выполненной работе

5.12.1 Цель работы.

5.12.2 Таблицу фазового и структурного состава сплава в температурных интервалах.

5.12.3 Рисунок кривой кристаллизации.

5.12.4 Расчеты количественного фазового и структурного состава.

5.12.5 Рисунок предполагаемой микроструктуры сплава.

Приложение А
(справочное)

Фрагменты диаграммы железо-углерод

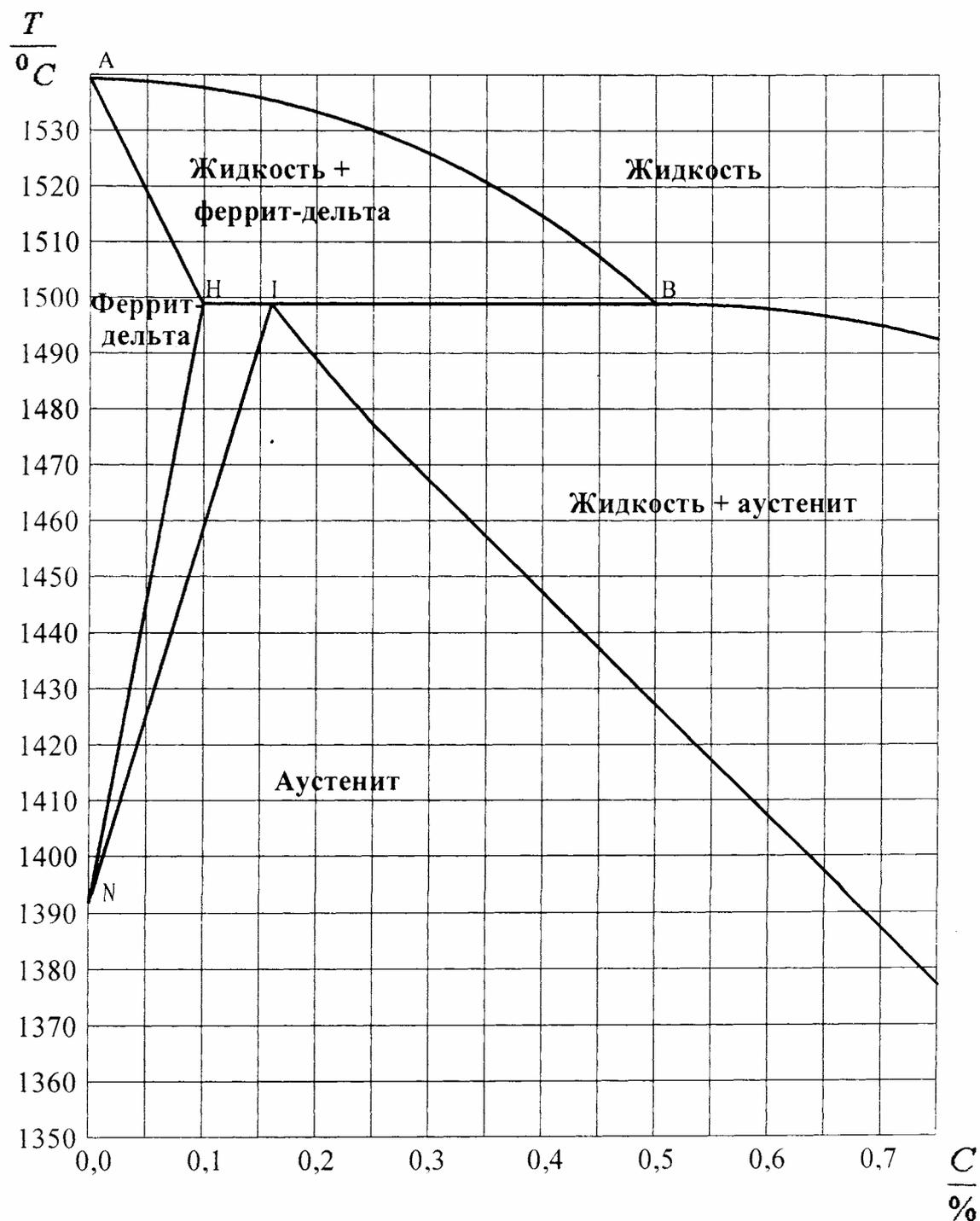


Рисунок А.1 – Фрагмент диаграммы железо-углерод:
высокотемпературная область

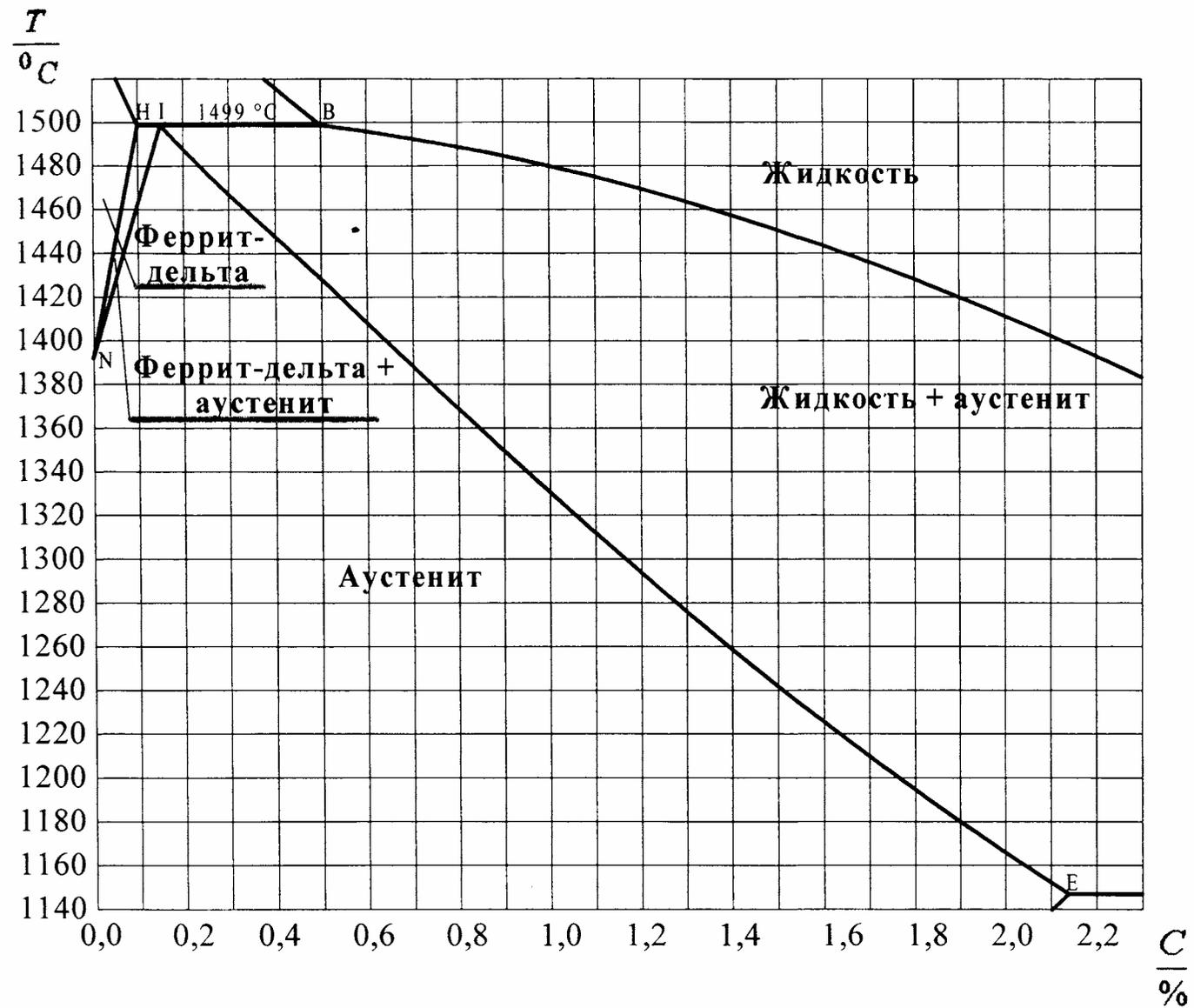


Рисунок А.2 – Фрагмент диаграммы железо-углерод: линия IE и участок линии BC

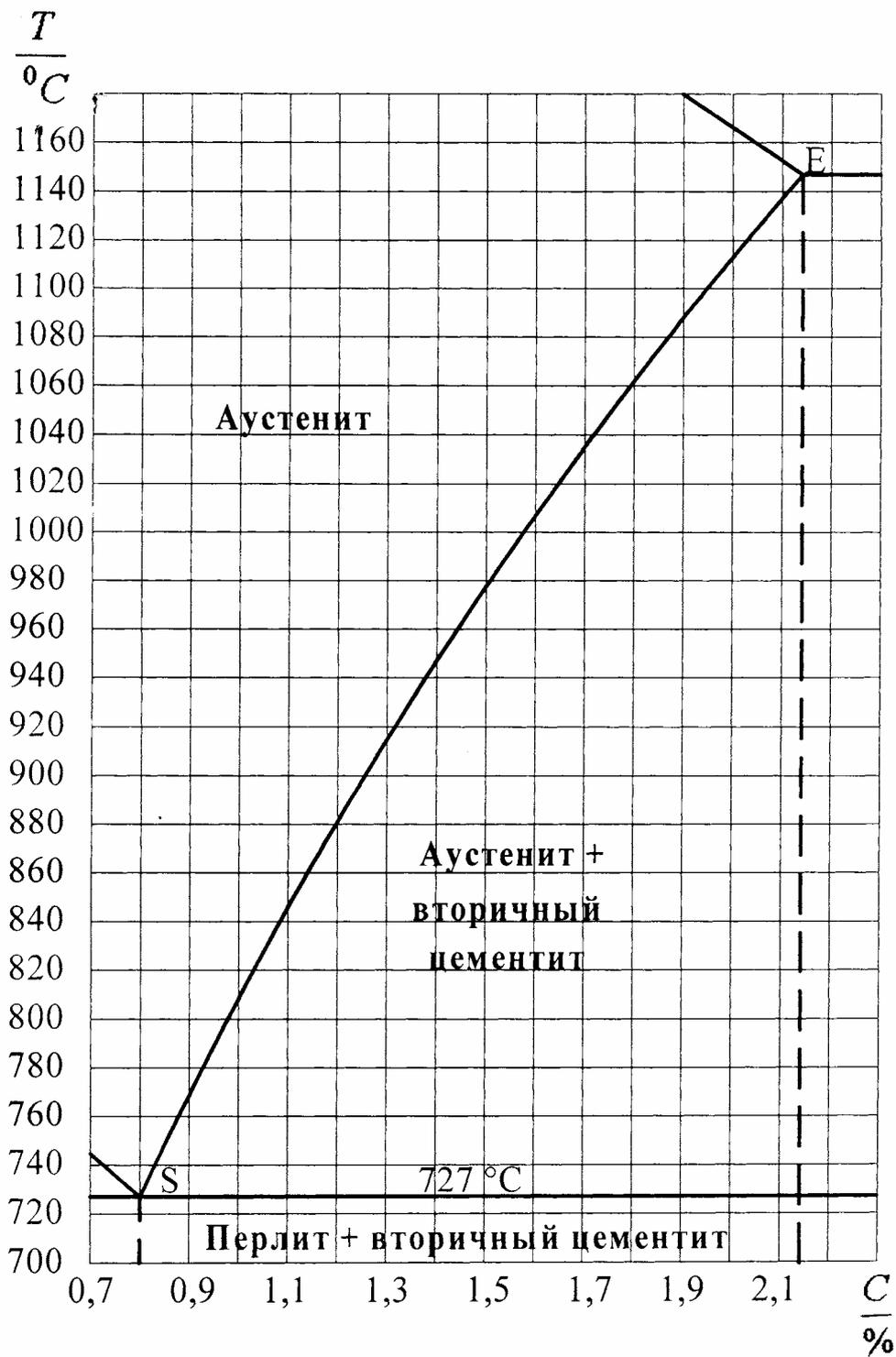


Рисунок А.3 – Фрагмент диаграммы железо-углерод:
линия SE

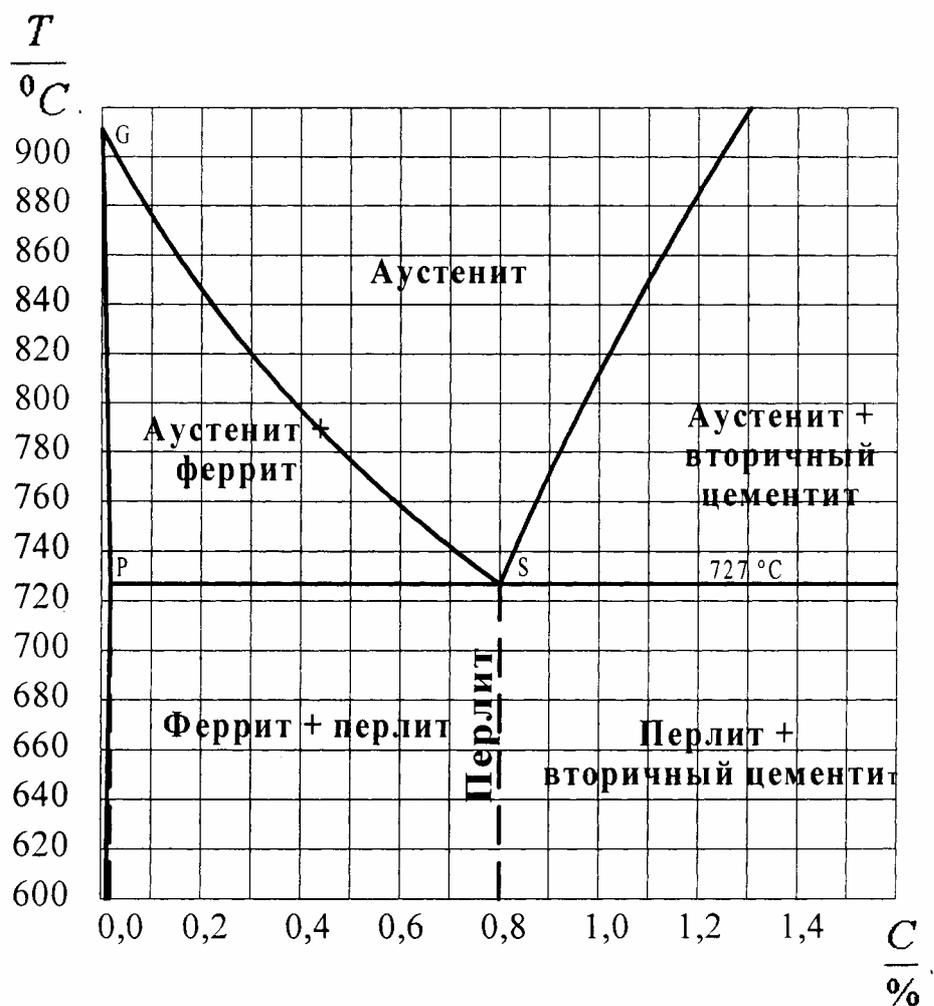


Рисунок А.4 – Фрагмент диаграммы железо-углерод: линия GS, участок линии SE

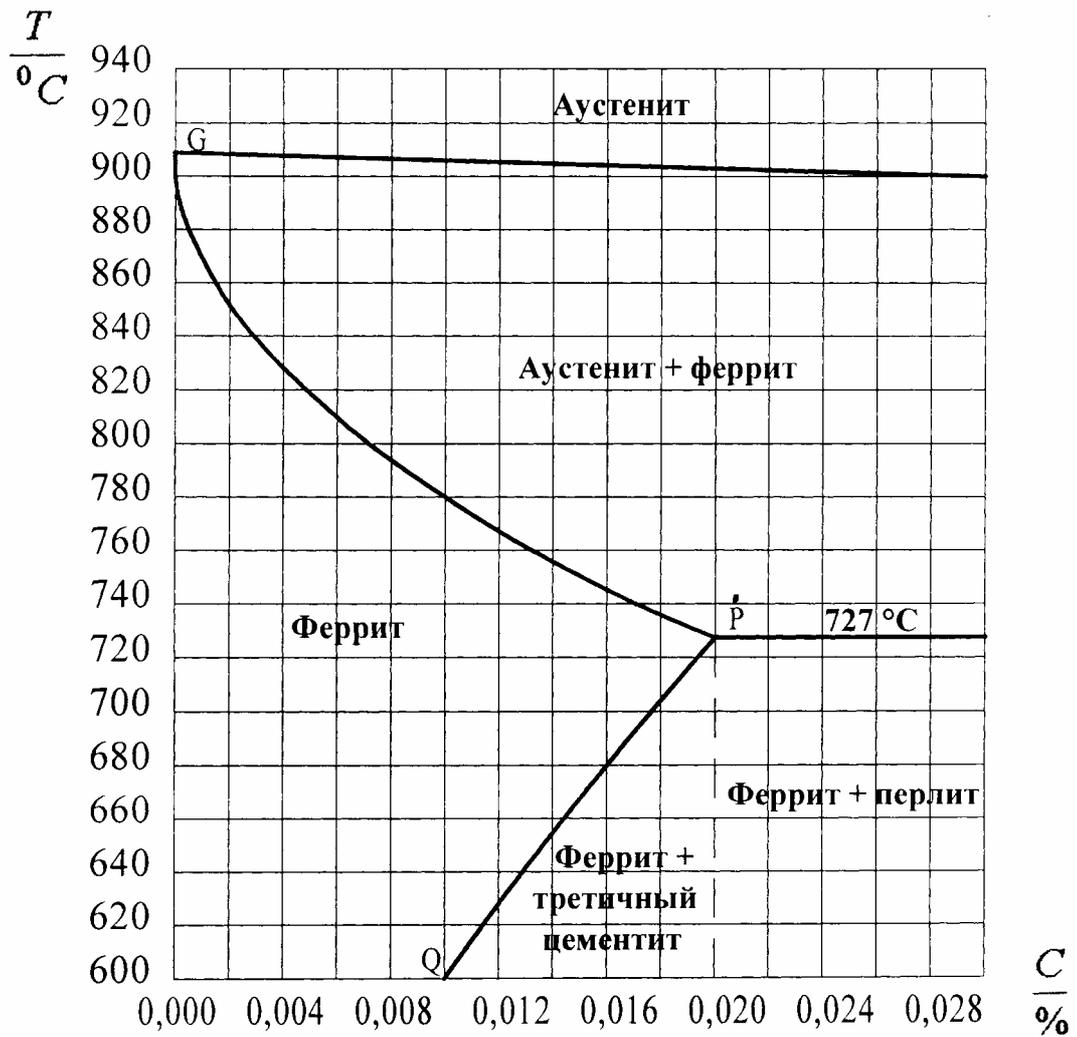


Рисунок А.5 – Фрагмент диаграммы железо-углерод: линии GP и PQ

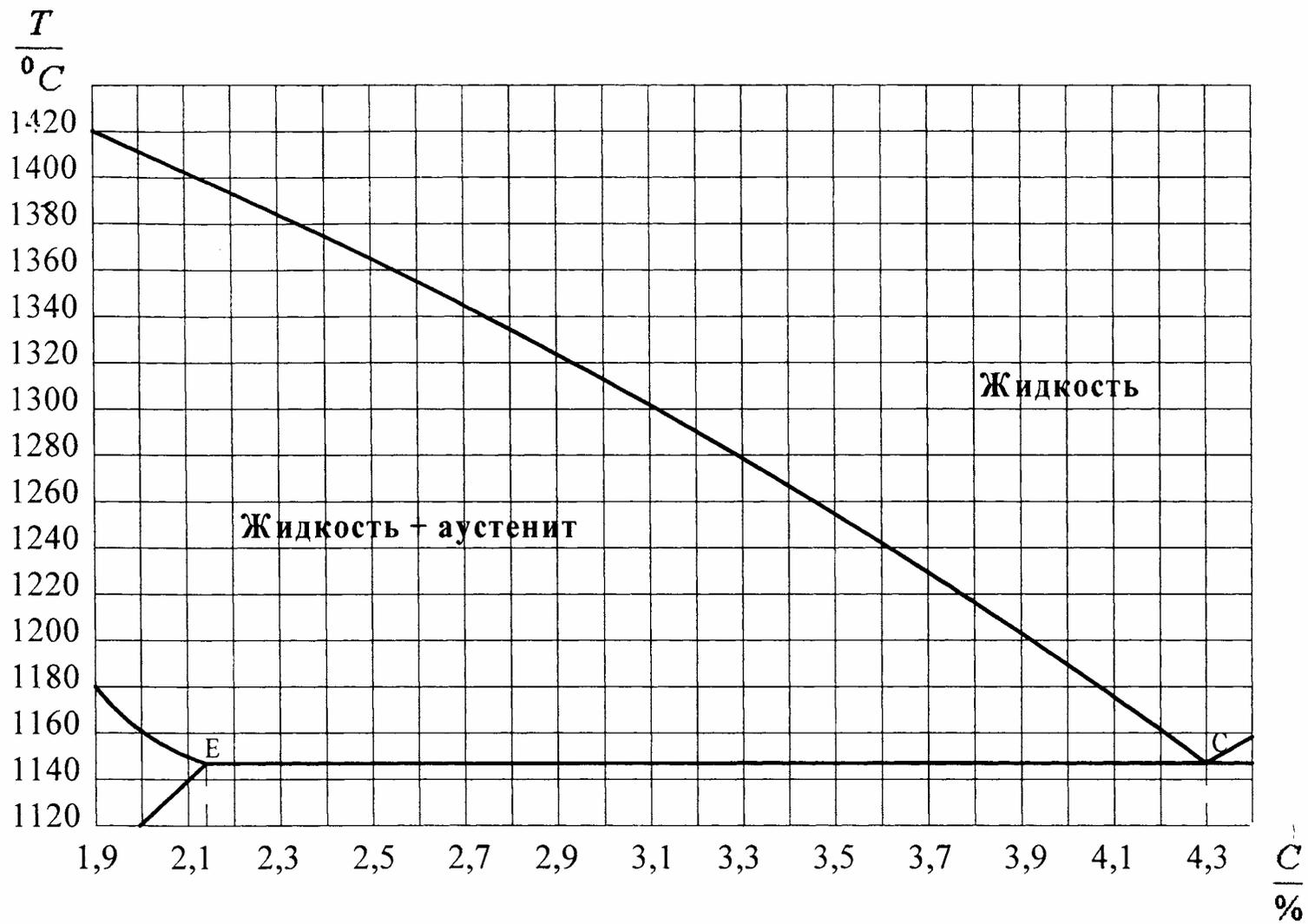


Рисунок А.6 – Фрагмент диаграммы железо-углерод: участок линии ВС

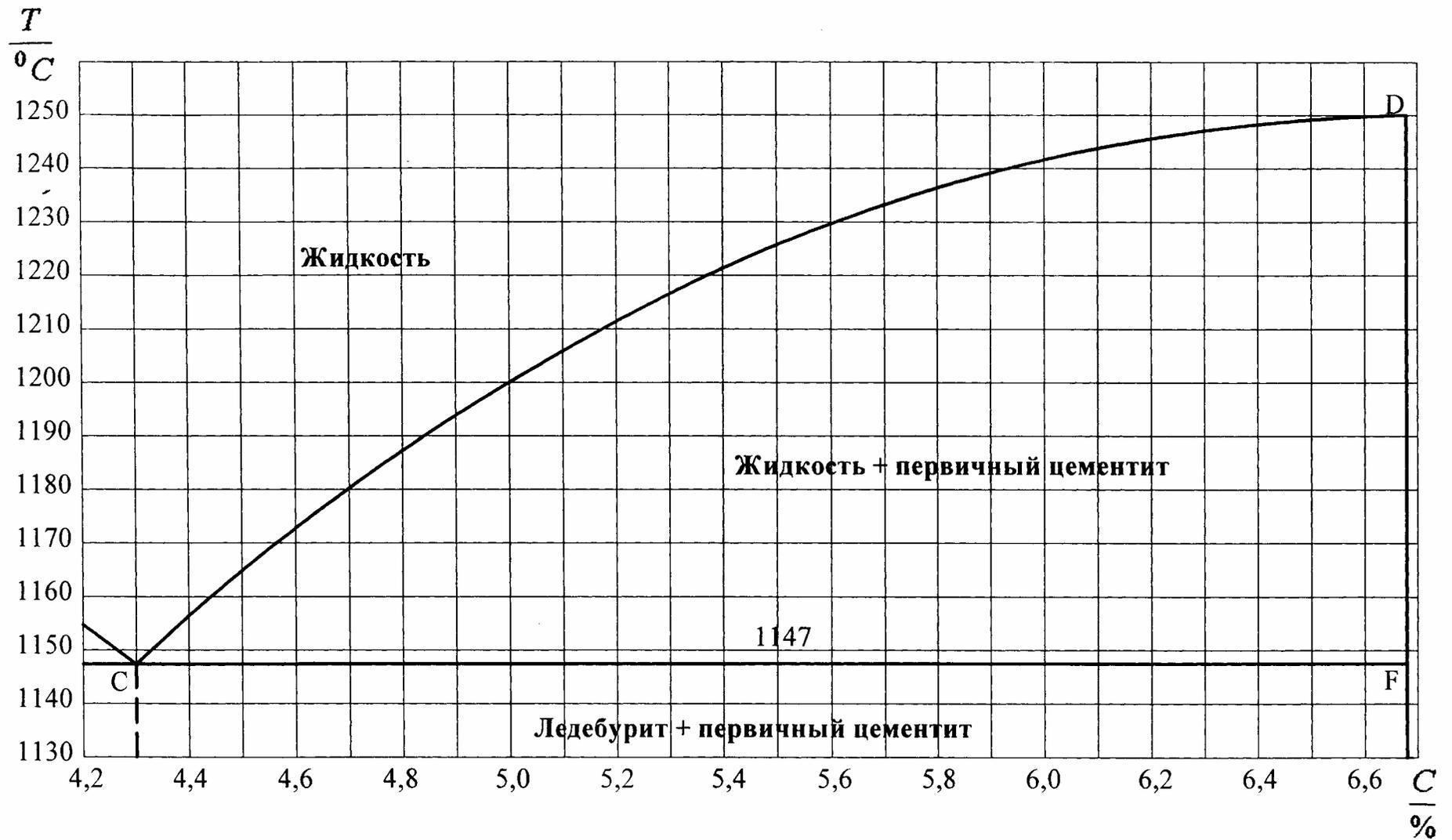


Рисунок А.7 – Фрагмент диаграммы железо-углерод: линия CD

6 Лабораторная работа № 6

Закалка углеродистых сталей

6.1 Цель работы

6.1.1 Изучение превращений переохлажденного аустенита при закалке углеродистых сталей.

6.1.2 Ознакомление с технологическим процессом и получение практических навыков назначения режимов закалки.

6.2 Общие сведения

6.2.1 Сущность и назначение закалки

В процессе изготовления детали машин подвергаются упрочняющей термической обработке. Наиболее распространенным видом термической обработки углеродистых сталей является закалка с последующим отпуском.

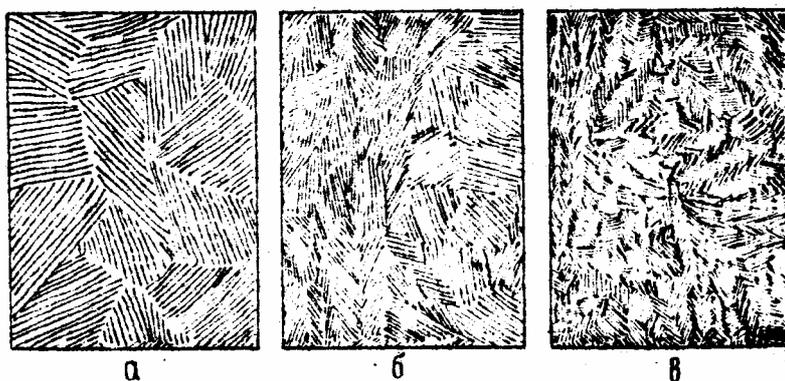
Закалкой стали называется термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали выше температур фазовых превращений, выдержке при этой температуре и охлаждении со скоростью выше критической. Возможность изменения структуры и свойств сталей при термической обработке обусловлена наличием фазовых превращений в твердом состоянии. При охлаждении аустенита с различными скоростями достигается разная степень его переохлаждения. Вследствие этого возможно получение продуктов распада аустенита, отличающихся по строению и свойствам.

6.2.2 Превращения аустенита при различных степенях переохлаждения

6.2.2.1 Перлитное превращение аустенита

При эвтектоидном превращении образуются фазы, резко отличающиеся по составу аустенита: феррит, почти не содержащий углерода (0,02 % С при 727 °С) и цементит, содержащий 6,67 % С. Поэтому распад аустенита на ферритно-цементитную смесь сопровождается диффузией, перераспределением углерода и железа. Этот процесс протекает при относительно небольших скоростях охлаждения, позволяющих аустениту распадаться при температурах 700-550 °С и не ниже, т.к. скорость диффузии резко уменьшается с понижением температуры. При этом образуется механическая смесь кристаллов феррита и цементита, дисперсность которой возрастает по мере снижения температуры превращения. Чем больше переохлаждение, тем меньше сумма толщин двух пластинок феррита и цементита (таблица 6.1). Такие структуры по мере повышения дисперсности кристаллов феррита и цементита называются перлитом, сорбитом и трооститом (рисунок 6.1). С

увеличением степени дисперсности ферритно-цементитных структур твердость, предел прочности и текучести повышаются.



а – перлит; б – сорбит; в – троостит

Рисунок 6.1 – Микроструктура углеродистой стали

Таблица 6.1 - Характеристики ферритно-цементитных структур

| Структура | Перлит | Сорбит | Троостит |
|-----------------------------|---------|----------|----------|
| Сумма толщин пластинок, мкм | 0,6-1,0 | 0,25-0,3 | 0,1-0,15 |
| Твердость НВ | 180-250 | 250-350 | 350-450 |

6.2.2.2 Мартенситное превращение аустенита

Если аустенит быстрым охлаждением переохладить до более низких температур, при которых диффузионные процессы становятся невозможными и перераспределение углерода и железа не происходит, то его решетка перестраивается без выделения углерода. В результате такого бездиффузионного превращения образуется мартенситная структура, представляющая собой пересыщенный α -твердый раствор.

Мартенсит стали – перенасыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе.

Если в равновесном состоянии растворимость углерода в α -железе при 20 °С не превышает 0,002 %, то его содержание в перенасыщенном α -твердом растворе (мартенсите) может быть таким же, как в исходном аустените, то есть достигать 2,14 % С. Мартенсит имеет тетрагональную решетку с отношением параметров $\frac{C}{A} = 1$. Чем больше в мартенсите углерода, тем

больше отношение $\frac{C}{A}$, называемое тетрагональностью мартенсита, выше его прочность, твёрдость, внутренние напряжения, ниже пластичность и вязкость.

Мартенситное превращение происходит при непрерывном охлаждении в интервале температур $M_n - M_k$ (M_n – температура начала мартенситного превращения, M_k – температура конца мартенситного превращения), который зависит от содержания углерода в стали (рисунок 6.2).

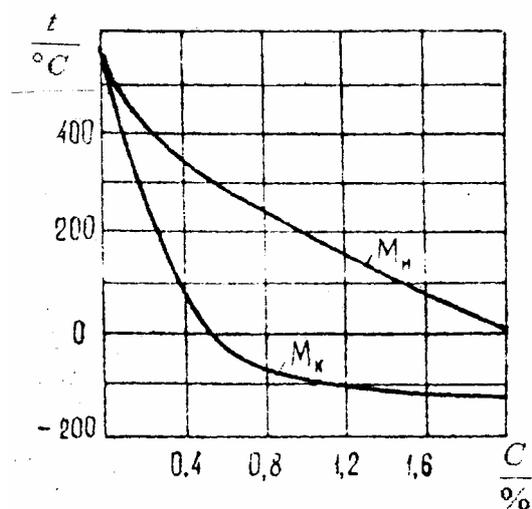


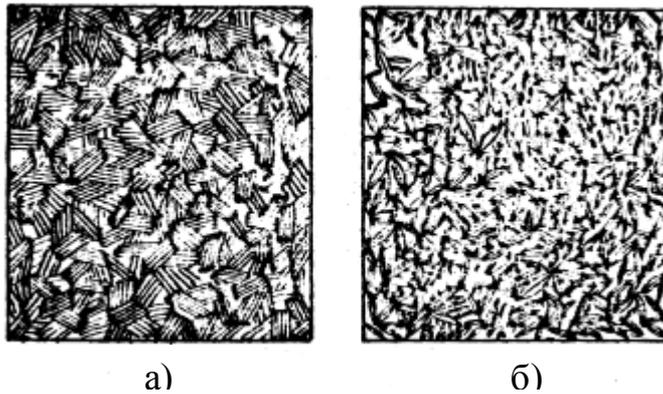
Рисунок 6.2 – Зависимость температуры начала и конца мартенситного превращения от содержания углерода и стали

Если охлаждение прекратить, то мартенситное превращение останавливается. Это наиболее ярко отличает его от перлитного превращения. Мартенситное превращение не протекает до конца. Поэтому в закаленной стали, особенно в стали, имеющей точку M_k , ниже 20 °C, присутствует остаточный аустенит. Его количество тем большее, чем выше содержание углерода в аустените.

Мартенсит образуется в результате лавинного смещения атомных плоскостей в решётке аустенита и имеет форму пластин, растущих с громадной скоростью. Пластинки мартенсита ориентированы относительно друг друга под определенными углами (рисунок 6.3). Размеры кристаллов мартенсита определяются величиной зерна исходного аустенита.

Мартенсит по сравнению с аустенитом имеет значительно больший удельный объём. Это является одной из основных причин роста внутренних напряжений, вызывающих деформацию и даже разрушение изделий при закалке.

Мартенсит обладает высокой твёрдостью и прочностью. В стали с 0,6 - 0,7 % C твердость мартенсита составляет 65 HRC, а временное сопротивление достигает 2000 - 2300 МПа. Вместе с тем мартенсит характеризуется высокой хрупкостью и низкой вязкостью.



а – пакетный мартенсит (в сталях, содержащих не более 0,5 % С);
 б – пластинчатый мартенсит (в высокоуглеродистых сталях)

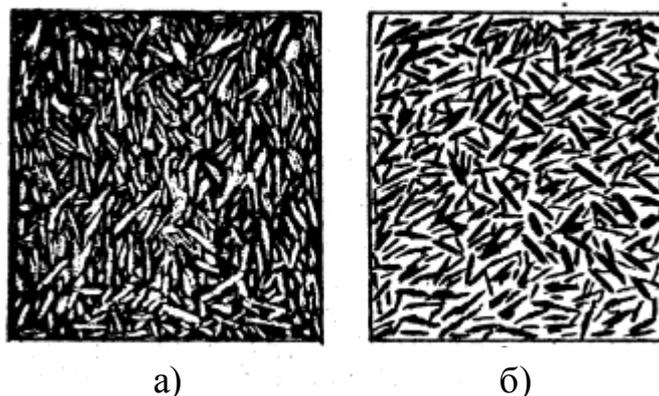
Рисунок 6.3 – Микроструктура углеродистой стали после закалки

6.2.2.3 Бейнитное превращение аустенита

В температурной области между перлитным и мартенситным превращениями протекает промежуточное (бейнитное) превращение. При этом образуется бейнит, состоящий из несколько пересыщенного α -твердого раствора и частиц карбидов. Бейнитное превращение протекает при температурах, когда самодиффузия железа и диффузия легирующих элементов практически невозможна, скорость диффузии углерода ещё достаточно высока.

Различают структуру верхнего и нижнего бейнита (рисунок 6.4).

Верхний бейнит образуется в интервале температур 500-350 °С. На фоне α - твердого раствора выделяются изолированные узкие частицы карбидов (рисунок 6.4 а).



а – верхний бейнит; б – нижний бейнит

Рисунок 6.4 – Микроструктура углеродистой стали

Нижний бейнит образуется при температурах от 350 °С до точки M_n и имеет игольчатое мартенситоподобное строение (рисунок 6.4 б). По сравне-

нию со структурами перлитного типа нижний бейнит имеет более высокую твёрдость и прочность при высокой пластичности и вязкости, поэтому закалку на нижний бейнит широко используют для упрочнения деталей машин.

6.2.4 Диаграмма изотермического распада аустенита

Для описания процесса превращения переохлаждения сталей пользуются экспериментально построенными диаграммами изотермического распада аустенита. Образцы сталей, нагретые до аустенитного состояния, быстро переносят в ванну с жидкой средой, имеющей температуру ниже равновесной температуры превращения. Фиксируя при этом изменение какого-либо свойства, определяют время начала и конца превращения. Полученные точки отмечают в координатах время - температура и, соединив между собой, получают две линии в виде буквы «С» - С - образные кривые (рисунок 6.5). Линия 1 указывает время начала распада, линия 2 - время окончания распада аустенита. Левее линии 1 расположена область существования повреждённого аустенита, между линиями 1 и 2 находится область, в которой происходит превращение, правее линии 2 лежит область существования продуктов превращения. Аустенит начинает распадаться по истечении определенного периода времени с момента переохлаждения. Этот период называют инкубационным.

На диаграмме можно выделить три температурные зоны: зона перлитного превращения (I), в которой образуются структуры перлита, сорбита и троостита, зона бейнитного превращения (II) и зона мартенситного превращения (III).

Минимальная скорость охлаждения $v_{кр}$, при которой аустенит превращается в мартенсит, называется критической скоростью закалки.

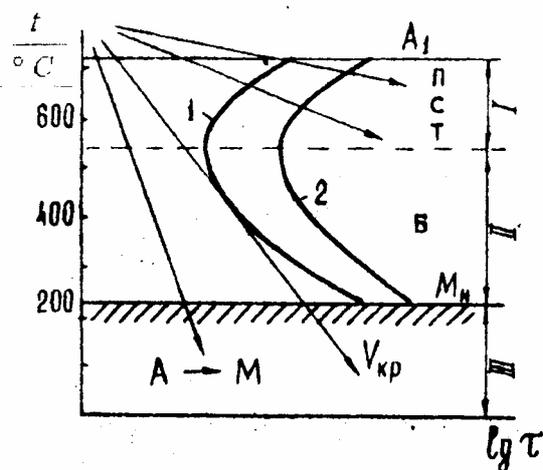


Рисунок 6.5 – Диаграмма изотермического распада аустенита

Технология закали стали включает операции: нагрев, выдержку при заданной температуре и охлаждение со скоростью обычно выше критической.

6.2.5 Выбор температуры нагрева под закалку

Температуру нагрева назначают по диаграмме состояния железо-углерод. Доэвтектические стали нагревают на 30-50 °С выше критической точки A_3 , заэвтектоидные - на 30-50 °С выше A_1 (рисунок 6.6).

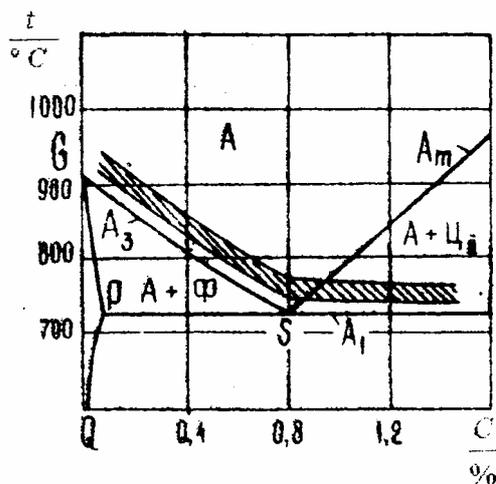


Рисунок 6.6 – Оптимальный интервал температур закали углеродистой стали

Закалка с нагревом до межкритических температур, при которых сохраняется избыточная фаза - феррит или вторичный цементит, называется неполной. Доэвтектоидные стали подвергают полной закалке, а заэвтектоидные - неполной. После закали доэвтектоидные и эвтектоидные стали имеют структуру мартенсита, а заэвтектоидные – мартенсита и цементита, который повышает износостойкость изделий. Нагрев до более высоких температур вреден, так как это ведёт к повышению количества остаточного аустенита в заэвтектоидных сталях, росту аустенитного зерна и закалочных напряжений, обезуглероживанию поверхности изделий.

При достижении заданной температуры нагрева проводят выдержку для полного прогрева деталей по сечению, для завершения фазовых превращений и выравнивания состава аустенита по объему.

6.2.6 Определение продолжительности нагрева

Для ориентировочного определения общей продолжительности нагрева $\tau_{общ}$ можно пользоваться справочными данными (таблица 6.2) или рассчитать по формуле

$$\tau_{общ} = \tau_{с.п.} + \tau_{и.в.},$$

где $\tau_{с.п.}$ - продолжительность сквозного нагрева до заданной температуры;

$\tau_{и.в.}$ - продолжительность изотермической выдержки при данной температуре;

$\tau_{с.п.}$ - зависит от формы и размеров изделий, их расположения в печи, типа печи, состава стали;

$\tau_{и.в.}$ - зависит только от состава и исходного состояния стали.

Таблица 6.2 – Ориентировочные нормы нагрева стали при термической обработке в лабораторных электрических печах

| Температура нагрева, °С | Форма изделия | | |
|-------------------------|---------------------------------|---------|-----------------|
| | круг | квадрат | пластина |
| | Продолжительность нагрева, мин. | | |
| | на 1 мм диаметра | | на 1 мм толщины |
| 600 | 2 | 3 | 4,0 |
| 700 | 1,5 | 2,2 | 3,0 |
| 800 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| 900 | 0,8 | 1,2 | 1,6 |
| 1000 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |

6.2.7 Закалочные среды

Охлаждение изделия в закалочных средах протекает в три стадии:

- плёночное охлаждение с образованием «паровой рубашки» на поверхности;

- пузырьковое кипение;
- конвективный теплообмен.

Охлаждение протекает тем интенсивнее, чем шире температурный интервал пузырькового кипения. Быстрое охлаждение для закалки на мартенсит необходимо проводить в интервале температур наименьшей устойчивости переохлаждённого аустенита. Для большинства сталей это интервал 650 – 400 °С.

В качестве закалочных сред чаще всего используют воду, водные растворы NaOH или NaCl и масла (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Скорость охлаждения стали в различных средах

| Охлаждающая среда | Скорость охлаждения °C/с в интервале температур °C | |
|---------------------------|---|---------|
| | 650- 550 | 300-200 |
| 1 | 2 | 3 |
| Вода при температуре, °C: | | |
| 18 | 600 | 270 |
| 28 | 500 | 270 |
| 50 | 100 | 270 |
| 54 | 30 | 270 |
| 10 % водный раствор: | | |
| NaOH | 1200 | 300 |
| NaCl | 1100 | 300 |
| сода | 300 | 270 |
| мыльная вода | 30 | 200 |
| Масло минеральное | 150 | 30 |
| Масло трансформаторное | 120 | 25 |
| Воздух: | | |
| спокойный | 3 | 1 |
| под давлением | 30 | 10 |

6.3 Порядок выполнения работы

6.3.1 Ознакомьтесь с разделами настоящего руководства.

6.3.2 Получите у лаборанта 3 образца доэвтектоидной и 3 образца заэвтектоидной стали.

Пользуясь диаграммой состояния железо-углерод, определите температуры нагрева этих сталей под закалку. По таблице определите общее время нагрева.

6.3.3 Определите твёрдость полученных образцов. Просмотрите и опишите их микроструктуру.

6.3.4 Поместите образцы в нагретую до выбранной вами температуры печь. После необходимой выдержки охладите по одному образцу в воде, масле и на воздухе.

6.3.5 После удаления с поверхности окисленного и обезуглероженного слоя измерьте твёрдость закалённых образцов на приборе по методу Роквелла.

6.3.6 Подготовьте микрошлифы, просмотрите и опишите микроструктуру образцов после закалки.

6.3.7 По результатам выполнения работы заполните таблицу 6.4.

Таблица 6.4

| № | Марка стали | Микроструктура и твёрдость HRC исходных образцов | Режимы закалки | | | Твёрдость после закалки, HRC | Микроструктура после закалки |
|---|-------------|--|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | температура, °C | время нагрева, мин. | охлаждающая среда | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |

6.3.8 Сделайте вывод о влиянии скорости охлаждения на структуру и твёрдость различных марок сталей.

6.4 Содержание отчета

6.4.1 Цель работы

6.4.2 Краткое описание диаграммы изотермического превращения аустенита.

6.4.3 Характеристика структур, образующихся при закалке.

6.4.4 Порядок назначения температур нагрева углеродистых сталей при закалке.

6.4.5 Таблица результатов экспериментальной работы и рисунки микроструктур сталей после закалки.

6.4.6 Выводы

6.5 Контрольные вопросы

6.5.1 В чём сущность процесса закалки?

6.5.2 Опишите механизм мартенситного превращения. Каковы условия образования мартенсита?

6.5.3 Дайте характеристику мартенсита.

6.5.4 Как протекает промежуточное превращение и какие структуры при этом образуются?

6.5.5 Как выбрать температуру нагрева углеродистой стали при закалке?

6.5.6 Почему заэвтектоидную сталь подвергают неполной закалке?

6.5.7 Какую структуру имеет заэвтектоидная сталь после закалки?

6.5.8 Какова температура нагрева под закалку стали 45 (60, У8, У12)?

6.5.9 Какие структуры образуются при распаде аустенита в перлитной области и чем они отличаются между собой?

6.5.10 Назовите стадии охлаждения металла при закалке. Какая стадия способствует наиболее быстрому охлаждению?

7 Лабораторная работа № 7

Отпуск углеродистых сталей

7.1 Цель работы

7.1.1 Изучение превращений при отпуске углеродистых сталей.

7.1.2 Ознакомление с технологическим процессом отпуска и получение практических навыков назначения режимов отпуска.

7.2 Общие сведения

Так как после закалки стали получают неравновесную мартенситную структуру, которая имеет высокий уровень внутренних напряжений, высокую прочность и твердость в сочетании с низкой пластичностью и вязкостью, закаленная сталь обязательно подвергается отпуску. Целью отпуска является снижение внутренних напряжений и достижение требуемого комплекса механических свойств.

Отпуском называют вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали, подвергнутой закалке, до температуры ниже A_1 , выдержке и последующем охлаждении с целью превращения неравновесной структуры в более равновесную.

В основе процессов, происходящих при отпуске, лежит переход закаленной стали в более устойчивое состояние, сопровождающийся распадом мартенсита и остаточного аустенита с образованием в конечном итоге ферритно-цементитных структур. Характер и скорость протекания этих процессов определяется температурой нагрева при отпуске.

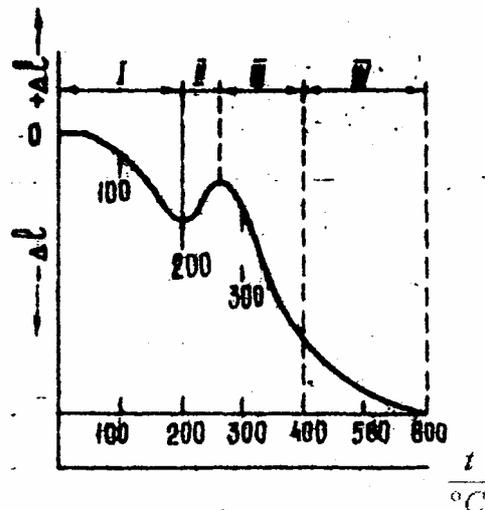


Рисунок 7.1 - Дилатометрическая кривая отпуска углеродистой стали

Превращения при отпуске можно зафиксировать с помощью дилатометра - прибора, который используют для контроля изменения длины образца при нагреве и охлаждении. На дилатометрической кривой (рисунок 7.1) пре-

вращение мартенсита, имеющего наибольший удельный объём, сопровождается уменьшением размеров, а аустенита, удельный объём которого минимален - увеличением.

В процессе отпуска можно выделить четыре превращения.

7.2.1 Распад мартенсита (первое превращение)

При нагреве закаленной стали в интервале температуре от 80 до 200 °С из мартенсита начинает выделяться пересыщающий его углерод в виде метастабильного ϵ - карбида, имеющего химический состав близкий к Fe_2C .

Снижение количества растворенного углерода уменьшает тетрагональность мартенсита, в результате его объём уменьшается. Сокращается длина образца, фиксируемая на дилатометрической кривой.

В результате распада мартенсита образуется структура, которую называют отпущенным мартенситом, отличающимся от мартенсита закалки меньшей концентрацией углерода и дисперсными пластинчатыми включениями ϵ - карбида, когерентно связанными с решеткой мартенсита.

7.2.2 Превращение остаточного аустенита (второе превращение)

При нагреве в интервале температур 200-300 °С основным процессом является превращение остаточного аустенита. В результате образуется структура, состоящая из пересыщенного α – твердого раствора (мартенсита) и карбидной фазы. Одновременно продолжается распад мартенсита и начинается превращение ϵ - карбида в цементит.

Второе превращение сопровождается увеличением длины образца (рисунок 7.1), так как остаточный аустенит имеет меньший объём, чем продукты его распада.

7.2.3 Снятие внутренних напряжений и карбидное превращение (третье превращение)

При нагреве закаленной стали до температур 350-400 °С завершается превращение ϵ - карбида в цементит. Когерентность решёток твердого раствора и карбида нарушается, форма карбидных частиц приближается к сфероидальной, полностью завершается процесс выделения углерода из твёрдого раствора (мартенсита). Мартенсит переходит в феррит. Структурные изменения обеспечивают релаксию макро- и микронапряжений, образующихся при закалке.

Образовавшуюся в результате третьего превращения дисперсную феррито-карбидную смесь называют трооститом отпуска (рисунок 7.3 б).

7.2.4 Коагуляция карбидов (четвертое превращение)

При повышении температуры нагрева более 400 °С происходит коагуляция карбидов: укрупнение кристаллов цементита за счет растворения более мелких кристаллов и роста крупных (рисунок 7.2).

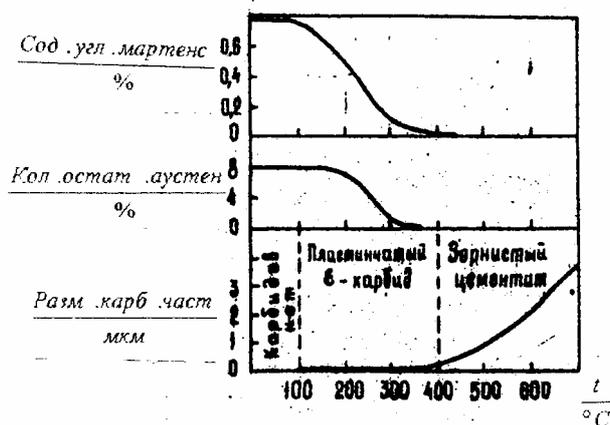
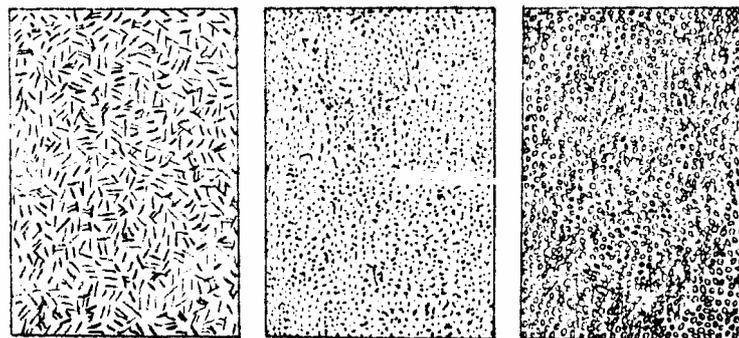


Рисунок 7.2 – Изменение строения и состава фаз при отпуске углеродистой стали

Форма кристаллов приближается к сфероидальной. Образующаяся при высокотемпературном нагреве ферритно-карбидная смесь называется сорбитом отпуска (рисунок 7.3 в).



а) — отпускаемый мартенсит; б) — троостит отпуска; в) — сорбит отпуска

Рисунок 7.3 - Микроструктура отпускаемой стали

В отличие от троостита и сорбита, полученных в результате распада переохлажденного аустенита, троостит и сорбит отпуска имеют зернистое, а

не пластинчатое строение. Сталь с зернистой структурой имеет более высокие значения пластичности и вязкости при одинаковой твердости и прочности.

Свойства стали определяются в основном температурой отпуска. Различают три вида отпуска:

1) Низкотемпературный (низкий) отпуск осуществляется в интервале температур 150-250 °С. Мартенсит закалки переходит в отпущенный мартенсит, незначительно повышается прочность и вязкость без заметного снижения твердости (рисунок 7.4). Уменьшается внутреннее напряжение.

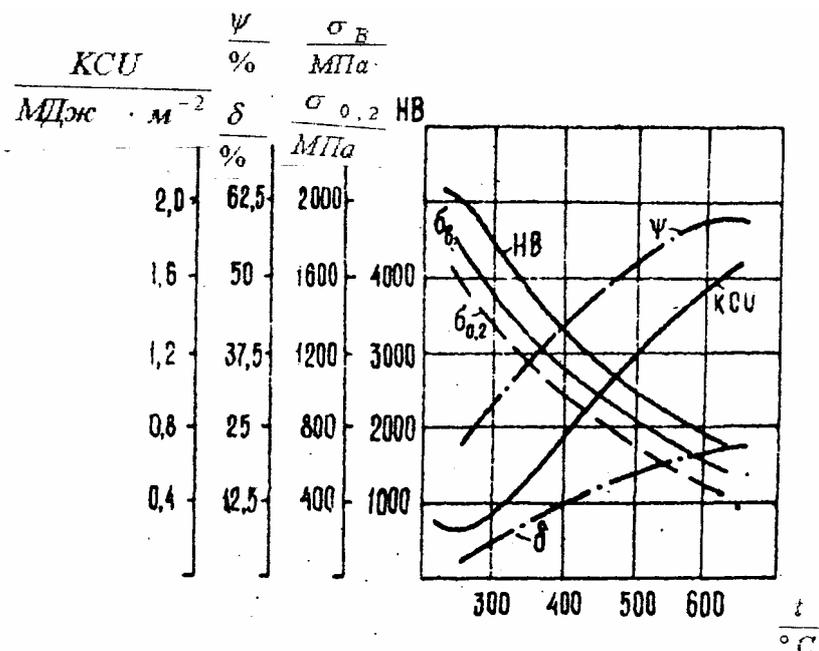


Рисунок 7.4 - Механические свойства стали 40 в зависимости от температуры отпуска

Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, детали повышенной износостойкости, детали прошедшие химико-термическую обработку.

2) Среднетемпературный (средний) отпуск осуществляется при 350-500°С. После среднего отпуска сталь имеет структуру троостита отпуска или троосто-мартенсита. Средний отпуск обеспечивает повышение предела упругости и предела выносливости. С повышением температуры отпуска твердость и прочность стали понижается, а пластичность и вязкость возрастают (рисунок 7.4).

Средний отпуск применяют в основном для пружин, рессор и штампов.

3) Высокотемпературный (высокий) отпуск осуществляется при 500-680 °С. Сталь приобретает структуру сорбита отпуска. Высокий отпуск создает наилучшее для конструкционных сталей сочетание прочности и вязко-

сти. Твердость и прочность еще более снижается, но значительно возрастает пластичность и вязкость (рисунок 7.4).

Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется улучшением. Улучшение повышает предел выносливости, ударную вязкость, увеличивает работу развития трещины, уменьшает чувствительность к концентраторам напряжений. Улучшение чрезвычайно широко применяется для обработки таких деталей, как валы, оси, шатуны, зубчатые колеса, шпиндели, крепежные детали и другие.

Продолжительность отпуска должна обеспечить прогрев изделия до заданной температуры и завершение превращения при отпуске. С уменьшением температуры и повышением массы изделий продолжительность отпуска увеличивается. Так, продолжительность отпуска изделия диаметром 50 мм в электропечи составляет при температурах 500-600 °С - 40 мин, 300-400 °С - 70 мин, менее 300 °С - 170 мин. Продолжительность отпуска обычно назначается по справочной литературе или опытным путем.

7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1 Ознакомьтесь со всеми разделами настоящего руководства.

7.3.2 Получите у лаборанта 3 образца закаленной углеродистой стали.

7.3.3 Определите твердость полученных образцов. Просмотрите и опишите микроструктуру закаленной стали.

7.3.4 Выполните низкий, средний и высокий отпуск закаленных образцов при температурах 200, 400, 600 °С. Продолжительность отпуска 20 – 30 минут. Охладите образцы на воздухе.

7.3.5 Зачистите поверхность образцов на наждачной бумаге и измерьте твердость на приборе по методу Роквелла.

7.3.6 Подготовьте микрошлифы, просмотрите и опишите микроструктуру образцов после отпуска.

7.3.7 По результатам выполнения работы заполните таблицу.

| № | Марка стали | Микроструктура и твердость HRC после закалки | Температура отпуска, °С | Твердость после отпуска, HRC | Микроструктура после отпуска |
|---|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

7.3.8 Сделайте вывод о влиянии температуры отпуска на структуру и твердость стали.

7.4 Содержание отчета

7.4.1 Цель работы.

7.4.2 Краткое описание превращений, протекающих при отпуске углеродистой стали.

7.4.3 Виды отпуска и закономерности изменения свойств стали при отпуске.

7.4.4 Таблица результатов экспериментальной работы и рисунки микроструктур сталей после отпуска.

7.4.5 Выводы.

7.5 Контрольные вопросы

7.5.1 Каковы цели проведения отпуска углеродистой стали?

7.5.2 Назовите основные превращения при отпуске сталей.

7.5.3 Какие виды отпуска вы знаете? Как изменяются механические свойства сталей при отпуске?

7.5.4 Чем отличается мартенсит закалки от мартенсита отпуска?

7.5.5 Какие структуры приобретает сталь после различных видов отпуска?

7.5.6 Назовите примеры назначения различных видов отпуска.

7.5.7 В чем заключается сущность термической обработки, именуемой улучшением?

7.5.8 В каком температурном интервале необходимо проводить отпуск режущего инструмента из сталей У8, У9; пружин, упругих элементов из сталей 60, 65; валов, осей, рычагов из стали 45?

8 Лабораторная работа № 8

Определение прокаливаемости стали методом торцевой закалки

8.1 Цель работы

Ознакомиться с явлениями закаливаемости и прокаливаемости стали. Выяснить влияние прокаливаемости на физико-механические свойства стали. Определить прокаливаемость стали методом торцевой закалки.

8.2 Основные сведения

Прокаливаемость является одним из основных критериев при выборе марки стали при изготовлении изделий и назначении режимов термической обработки. Неправильное назначение марки стали для конкретной детали может привести к тому, что заданные механические свойства после термической обработки будут обеспечены только на незначительной части сечения детали, что может привести к ее разрушению. Для изготовления деталей больших сечений, у которых необходимо получить по всему сечению высокий комплекс механических свойств после термической обработки, целесообразно применять легированные стали с высокой прокаливаемостью. Повышенная прокаливаемость легированных сталей позволяет закаливать в масле и даже на воздухе, что уменьшает внутренние напряжения и коробление деталей. Это особенно важно для деталей сложной формы или деталей типа валов и осей.

Под закаливаемостью стали понимают способность стали повышать твёрдость в результате закалки за счёт получения структуры мартенсита. Закаливаемость зависит, в основном, от содержания углерода в стали. Чем больше содержание углерода, тем выше твёрдость стали. Например, для стали 45 при правильной закалке можно получить твердость 40-45 HRC, а для стали У7, У8 - 55-60 HRC.

Под прокаливаемостью понимают способность стали закаливаться на определенную глубину, т.е. приобретать в результате закалки структуру мартенсита или троостита и мартенсита с высокой твёрдостью. Известно, что при закалке стали на структуру мартенсита, ее необходимо охладить с температуры закалки со скоростью равной или больше критической. Критическая скорость охлаждения $v_{кр}$ - это минимальная скорость, при которой аустенит еще не распадается на феррито-карбидную смесь. При этом поверхность охлаждается быстрее, так как она непосредственно соприкасается с охлаждающей средой. Сердцевина изделия охлаждается гораздо медленнее. Следовательно, скорость охлаждения в центре детали может быть меньше критической. В этом случае аустенит на поверхности детали превращается в мартенсит, а в центре детали - в зависимости от действительной скорости охлаждения –

в троостит, сорбит и даже перлит.

За глубину прокаливаемости конструкционных сталей принимают расстояние от поверхности стали до слоя с полумартенситной структурой, состоящей из 50 % мартенсита и 50 % троостита, так как установлено, что резкое падение твёрдости в конструкционных сталях происходит, когда количество троостита в закаленной стали содержится более 50 %. Твёрдость полумартенситной зоны углеродистых и легированных сталей зависит в основном от содержания углерода и в значительно меньшей степени - от содержания легирующих элементов. Она может быть определена по графику (рисунок 8.1).

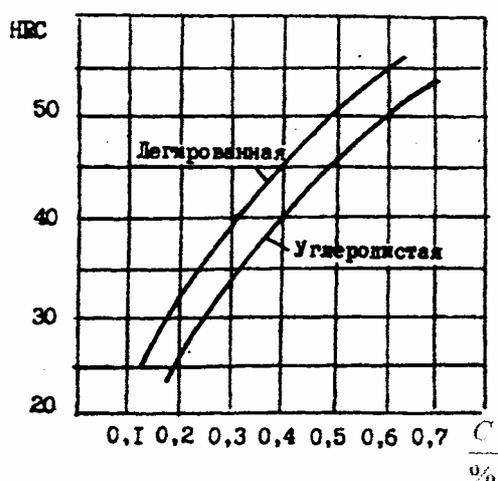
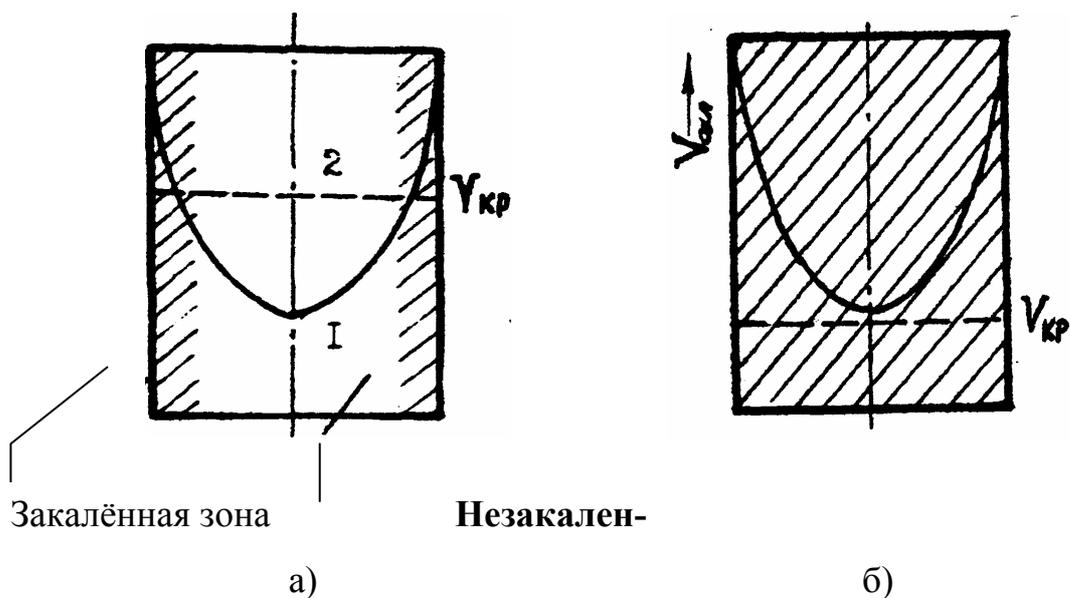


Рисунок 8.1 - Твердость полумартенситной зоны в зависимости от содержания углерода

Прокаливаемость заэвтектоидных инструментальных сталей характеризуют по толщине слоя с мартенситной структурой, имеющей у этих сталей высокую твердость - около 60 HRC. В этих сталях при закалке, наряду с мартенситом, сохраняется также остаточный аустенит, количество которого может значительно изменяться в зависимости от состава стали и условий проведения закалки; и присутствие более мягкой составляющей аустенита при наличии даже небольшого количества троостита заметно снижает твердость. Поэтому ни структура полумартенситной зоны, ни её твердость не определяются содержанием углерода и не могут характеризовать прокаливаемость заэвтектоидных сталей.

Характеристикой прокаливаемости является критический диаметр d_{k1} , т.е. диаметр максимального сечения, при котором сталь в данном охлаждающем (вода, масло, водные растворы щелочи или соли воздух) прокаливается полностью. Наилучший комплекс свойств обеспечивается при сквозной прокаливаемости с получением после закалки структуры мартенсита по всему сечению изделия с последующим рациональным отпуском (рисунок 8.2 б).



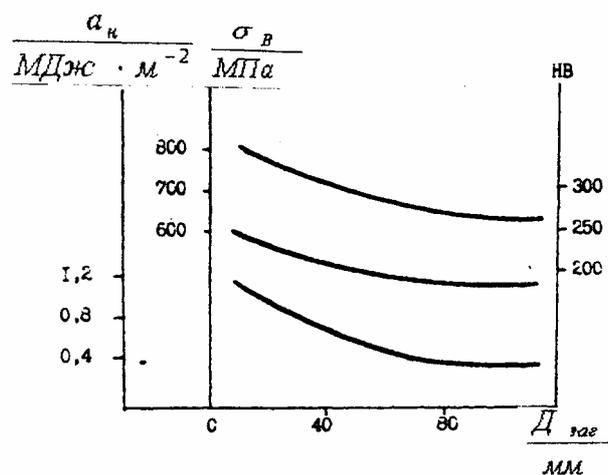
а - несквозная; б – сквозная; I - кривая распределения скоростей охлаждения по диаметру; 2 – критическая скорость охлаждения

Рисунок 8.2 – Прокаливаемость образца

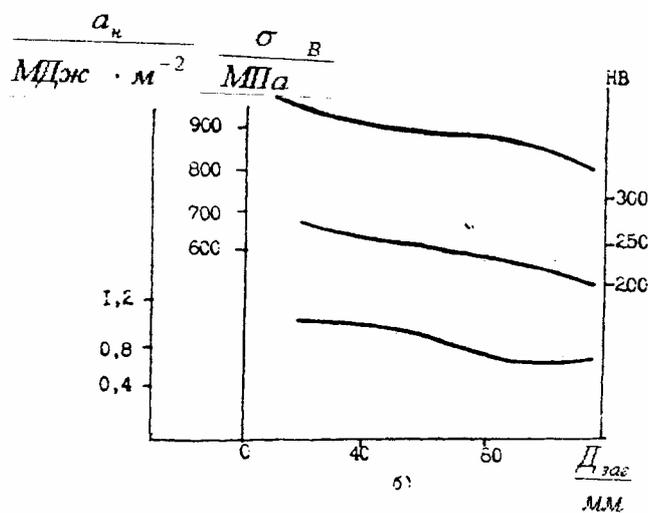
Соответствующие критические диаметры обозначаются $D_{99,9}$; D_{95} ; D_{50} (в центре изделия соответственно 99,9 %, 95 % и 50 % мартенсита). Выбор марки стали с оценкой ее прокаливаемости непосредственно по D_{50} можно считать более или менее обоснованным для конструкционных сталей, работающих в области положительных температур и невысоких напряжений в центральной зоне детали. Прокаливаемость сталей для тяжело нагруженных рессор, пружин, для деталей машин северного исполнения обычно оценивают по критическому диаметру D_{95} . Величину D_{95} определяют таким же способом, как и D_{50} .

Сталь со сквозной прокаливаемостью будет иметь по всему сечению одинаковую структуру и механические свойства. Несквозная закалка (рисунок 8.2 а) приводит к неоднородности свойств стали по сечению как после закалки, так и после отпуска (рисунок 8.3).

В некоторых случаях в зависимости от назначения детали (при работе на износ, при действии знакопеременных нагрузок) стремятся получить поверхностный закаленный слой определенной толщины и сохранить вязкую незакаленную сердцевину, имеющую ферритно-цементитную структуру соответствующей дисперсности. Такого принципа придерживаются при изготовлении, например, коленчатых валов, осей, шестерен и других деталей.



а)



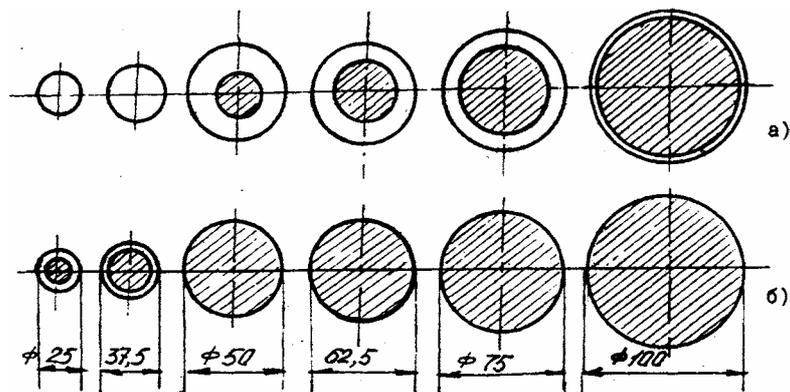
б)

а – сталь 40; б – сталь 40X

Рисунок 8.3 - Влияние диаметра заготовки на механические свойства стали после закалки и высокого отпуска

Глубина закаленного слоя не является величиной постоянной для данной стали. Она зависит от диаметра (толщины), формы изделия и от охлаждающей среды (рисунок 8.4). Например, для стали 40 критический диаметр при закалке в воде равен 20 мм, а при закалке в масле - 8 мм. Следовательно, критический диаметр характеризует прокаливаемость лишь при данном способе охлаждения.

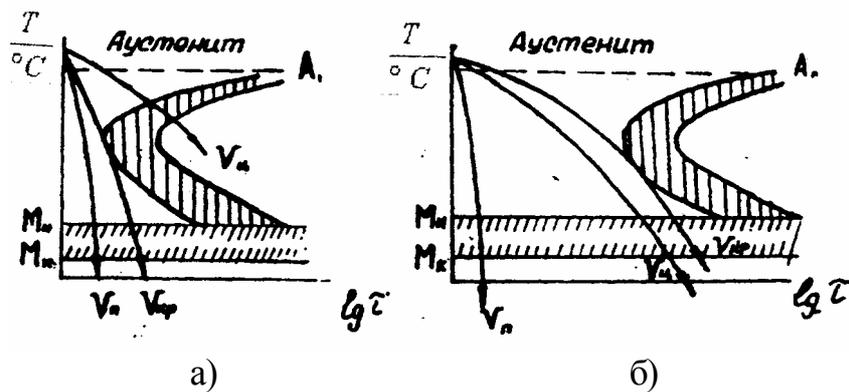
Прокаливаемость стали зависит от соотношения скорости охлаждения по сечению детали и критической скорости закалки. Чем выше скорость охлаждения в сечениях и чем ниже критическая скорость закалки, тем на



а – закалка в воде; б – закалка в масле
Заштрихована незакаленная зона

Рисунок 8.4 - Прокаливаемость образцов в зависимости от диаметра и скорости охлаждения

большую глубину прокалится изделие (рисунок 8.5).



а - углеродистая сталь; б - легированная сталь

$v_{ц}$ и $v_{п}$ - скорости охлаждения центра и поверхности изделия

Рисунок 8.5 - Определение критической скорости закалки по С-образной диаграмме

Скорость охлаждения по сечению детали определяется охлаждающей способностью закалочной среды, размерами и формой детали. Холодная вода - самый дешевый и весьма энергичный охладитель. Добавки солей и щелочей увеличивают охлаждающую способность воды в перлитном интервале.

Основной недостаток воды - большая скорость охлаждения в мартенситном интервале. Минеральное масло медленно охлаждает в мартенситном интервале (это его главное преимущество), но оно медленно охлаждает и в перлитном интервале. Поэтому масло применяют для закалки сталей с хорошей прокаливаемостью.

Критическая скорость закалки зависит от факторов, определяющих устойчивость и скорость распада аустенита. Факторы, увеличивающие стой-

кость переохлажденного аустенита против распада, понижают критическую скорость закали и тем самым повышают прокаливаемость стали. К таким факторам относится химический состав.

Все легирующие элементы, кроме кобальта, а также углерод (до 0,9 %) уменьшают критическую скорость закали и повышают прокаливаемость стали. Прокаливаемость особенно возрастает при одновременном введении нескольких легирующих элементов. Устойчивость аустенита повышается, критическая скорость закали уменьшается только при условии, если легирующие элементы (в том числе и углерод) растворены в аустените. Если они находятся в виде избыточных фаз (цементита, карбидов и т.п.), они облегчают распад аустенита.

Как видно из рисунка 8.5 легирующие элементы сдвигают вправо по оси времени кривые начала и конца превращения аустенита на С-образной диаграмме и, следовательно, уменьшают критическую скорость. Вследствие этого, при равной скорости охлаждения аустенит легированной стали переохлаждается быстрее, чем аустенит углеродистой стали. Поэтому легированные стали принимают закали на большую глубину.

Сильно влияет на прокаливаемость величина зерна аустенита: крупное зерно увеличивает прокаливаемость.

С понижением однородности аустенита его устойчивость понижается и прокаливаемость понижается.

Прокаливаемость даже одной и той же стали может колебаться в значительных пределах в зависимости от изменений химического состава, величины зерна и многих других факторов. В связи с этим, прокаливаемость стали каждой марки характеризуется не кривой, а полосой прокаливаемости, т.е. данную марку стали характеризуют минимальный и максимальный критические диаметры (рисунок 8.6).

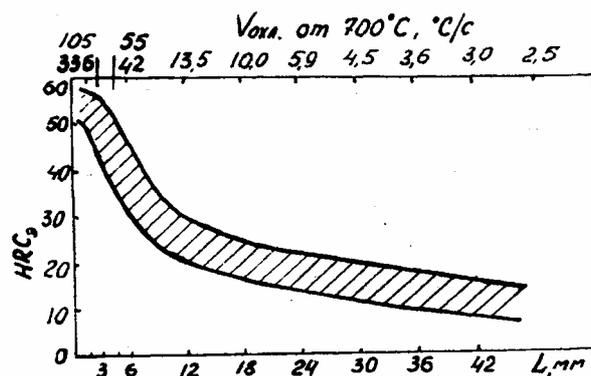


Рисунок 8.6 - Полоса прокаливаемости стали 40

Существует несколько методов определения прокаливаемости.

Для определения критического диаметра методом пробной закали берут цилиндрические образцы различных диаметров, закаливают их в воде или другой среде, влияние которой на прокаливаемость требуется изучить, разрезают по центру и измеряют твердость по двум взаимноперпендикуляр-

ным диаметрам. Диаметр образца, у которого в центре твердость соответствует твердости полумартенситной зоны, и будет критическим диаметром. Этот метод рекомендуется применять для углеродистых сталей, прокаливаемость которых определяется в небольших сечениях (до 25-30 мм).

Для более глубоко прокаливающихся легированных сталей используют метод торцевой закалки. Прокаливаемость определяют на стандартных образцах диаметром 25 мм и длиной 100 мм. После нагрева в печи образец быстро переносят в установку, где он охлаждается струёй воды под определенным напором только с торца (рисунок 8.7).

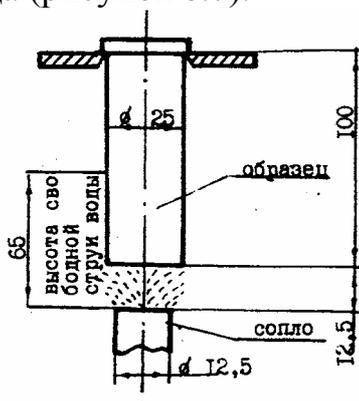


Рисунок 8.7 - Схема охлаждения образца при определении прокаливаемости стали методом торцевой закалки

Температура воды должна быть в пределах от 10 до 25 °С. На поверхности образца не допускаются обезуглероженный слой и окалина. Образцы под закалку для предохранения от окисления и обезуглероживания нагревают в печи с контролируемой атмосферой. Если нагревают в печи без контролируемой атмосферы, образец помещают в стальной стакан с крышкой. Торцевая поверхность образца, предназначенная для охлаждения, ставят на графитовую или угольную пластину.

Скорость охлаждения образца в разных точках по его длине будет различной. У закаливаемого торца скорость охлаждения соответствует скорости охлаждения в воде (1000 °С/с), а у головки образца - скорости охлаждения на воздухе (3-4 °С/с). Остальные участки поверхности образца охлаждаются с промежуточной скоростью. После охлаждения измеряют твердость на приборе по методу Роквелла по длине образца и строят кривую изменения твердости в зависимости от расстояния от закаливаемого торца. При помощи номограммы, разработанной М.Е.Блантером, можно определить критический диаметр изделия.

8.3 Порядок выполнения работы

Работа выполняется двумя подгруппами студентов. Одна подгруппа получает образец из углеродистой стали 40, другая - из легированной стали 40Х.

8.3.1 Определить температуру нагрева под закалку соответственно марки стали.

8.3.2 Образцы поместить в муфельную печь, нагреть до температуры закалки и выдержать для прогрева по сечению в течение 20 мин.

8.3.3 Нагретый образец быстро установить в установку и открыть кран подачи воды. Время от момента извлечения образца из печи до начала охлаждения его струей вода не должно превышать 5 с. Образец должен находиться под струей воды до полного охлаждения (не менее 10 мин).

8.3.4 Подготовить образец для измерения твёрдости. По длине закаленного образца сошлифовать слой на глубину 0,2-0,3 мм.

8.3.5 На образовавшейся площадке измерить твердость HRC, с шагом 3 мм до твердости немного меньшей твердости полумартенситной зоны.

8.3.6 На основании полученных опытных данных построить кривые прокаливаемости в координатах "Твёрдость - расстояние от торца" (рисунок 8.6).

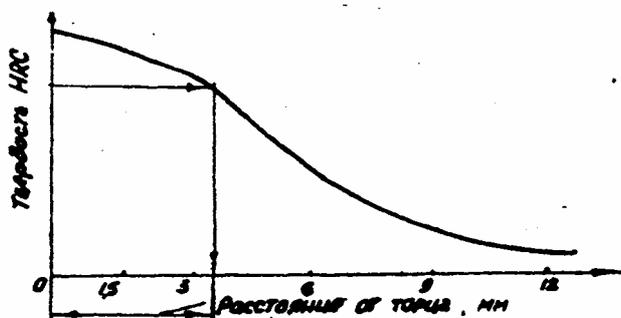


Рисунок 8.6 - Схема определения расстояния от торца до полумартенситной зоны

8.3.7 На построенных кривых, зная твердость полумартенситной зоны для данной стали, определить глубину прокаливаемости.

8.3.8 Используя номограмму М.Е.Блантера, определить искомый критический диаметр $D_{кр}$ при охлаждении в трёх средах (вода, масло, воздух).

Для определения критического диаметра пользуются шкалой, помещённой в верхней части номограммы, которая характеризует расстояние от закаленного торца до полумартенситной зоны. По опытным данным, полученным при выполнении работы, на указанной шкале нужно найти расстояние до полумартенситной зоны. От найденной точки опустить перпендикуляр до шкалы "идеальное охлаждение". От точки пересечения провести влево горизонтальную линию до пересечения с линией, соответствующей заданной охлаждающей среде (вода), опустить перпендикуляр до шкалы "форма тела" (цилиндр, куб, шар, параллелепипед). В точке пересечения линии с этой шкалой находим ответ: диаметр изделия в мм, имеющий в середине полумартенситную структуру.

8.4 Содержание отчёта

8.4.1 Цель работы.

8.4.2 Определения прокаливаемости, критического диаметра. Значение прокаливаемости в практике термической обработки.

8.4.3 Методика проведения испытаний для определения прокаливаемости методом торцевой закалки.

8.4.4 Таблица замеров твёрдости по длине образца

Таблица 8.1

| Порядок номера | Расстояние от охлаждаемого торца, мм | Твёрдость HRC | |
|----------------|--------------------------------------|---------------|-----------|
| | | сталь 40 | сталь 40X |
| 1 | 1,5 | | |
| 2 | 3 | | |
| 3 | 6 | | |
| 4 | 9 | | |
| 5 | 12 | | |

8.4.5 Кривые распределения твердости в координатах "твёрдость - расстояние от закаленного торца".

8.4.6 Результаты экспериментальной части работы в виде таблицы 8.2.

Таблица 8.2

| Марка стали | Твёрдость полумартенситной зоны, HRC | Расстояние от торца до полумартенситной зоны, мм | Значение $D_{кр}$ при охлаждении | | |
|-------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|---------|------------|
| | | | в воде | в масле | на воздухе |
| Сталь 40 | | | | | |
| Сталь 40X | | | | | |

8.4.7 Выводы.

8.5 Контрольные вопросы

8.5.1 Что понимается под закаливаемостью и прокаливаемостью?

8.5.2 Почему легированные стали имеют большую прокаливаемость при охлаждении в одной и той же среде, чем углеродистые стали?

8.5.3 Что понимается под критическим диаметром?

8.5.4 Как влияет охлаждающая среда на величину $D_{кр}$ данной стали?

8.6.5 Методы определения прокаливаемости.

8.6.6 Как по номограмме определяется критический диаметр?

9 Лабораторная работа № 9

Химико-термическая обработка (цементация) стали *)

9.1 Цель работы

9.1.1 Ознакомление с принципами химико-термической обработки на примере цементации стали.

9.1.2 Практическое изучение влияния термической обработки на структуру и свойства сердцевины и поверхностного слоя цементованной стали.

9.2 Общие сведения

Химико-термической обработкой (ХТО) называется тепловая обработка металлов в химически активной среде для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металлического изделия.

Процесс ХТО включает три элементарные стадии:

- 1) диссоциацию молекул газообразной среды с образованием активных атомов;
- 2) адсорбцию активных атомов и их растворение в поверхностном слое металла;
- 3) диффузию растворенных атомов вглубь металла и образование диффузионной зоны.

Возможность данного вида химико-термической обработки и характер структуры диффузионного слоя связаны определённым образом с типом диаграммы состояния «металл – насыщающий компонент».

ХТО возможна только в тех случаях, когда диаграмма содержит высокотемпературную область значительной растворимости насыщающего компонента в металле изделия.

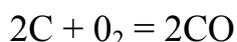
Основными видами ХТО сталей являются: цементация (науглероживание), азотирование, цианирование, нитроцементация (совместное насыщение азотом и углеродом), диффузионная металлизация, насыщение поверхностного слоя алюминием, хромом, кремнием, бором и др.

Цементация состоит в насыщении поверхностного слоя стальных деталей углеродом. Цель цементации - получение изделий с твердой износостойкой поверхностью в сочетании с вязкой сердцевиной. Достигается это науглероживанием поверхностного слоя изделий из низкоуглеродистых сталей, (содержащих 0,1 - 0,25 % углерода) с последующей закалкой и низким отпуском.

Среду, в которой производят цементацию, называют карбюризатором. В основном применяют два способа цементации: в твёрдом и газовом карбюризаторе. В качестве твёрдого карбюризатора применяют смесь древесного

*) Составлено при участии Синюхина А.В. и Шейнина Б.М.

угля с углекислыми солями (обычно до 20-25 % BaCO_3). Цементуемые детали упаковывают попеременно с карбюризатором в контейнер (стальной ящик) и нагревают в печи до 910-930 °С. При нагреве уголь взаимодействует с кислородом воздуха, имеющимся между частичками карбюризатора:



На поверхности деталей протекает реакция диспропорционирования:



Выделившийся активный углерод адсорбируется поверхностью деталей, а CO_2 (в том числе образовавшийся при термическом разложении углекислых солей) взаимодействует с углем, образуя новые порции CO . Скорость цементации в твердых карбюризаторах составляет 0,1-0,15 мм.

В качестве газового карбюризатора используют получаемые в специальных генераторах контролируемые атмосферы, содержащие в определенном соотношении предельные углеводороды и некоторое количество окиси углерода.

Применяют также жидкие углеводороды (керосин, бензол и др.), каплями подаваемые в герметичное печное пространство.

Газовая цементация - более совершенный метод, чем цементация в твердых карбюризаторах. Она протекает значительно быстрее, так как исключается время на прогрев и охлаждение массивных контейнеров с малотеплопроводным карбюризатором. Для получения цементованного слоя 1,5 мм при газовой цементации достаточно 2-3 часов. Применяют газовую цементацию, главным образом, на заводах массового и крупносерийного производства.

Схема микроструктуры диффузионного слоя цементованной низкоуглеродистой стали представлена, в сопоставлении с диаграммой железо-углерод, на рисунке 9.1.

Часть слоя, прилежащая к поверхности детали и имеющая концентрацию углерода больше 0,8 %, имеет структуру заэвтектоидной стали: перлит, окруженный сеткой вторичного цементита. Средняя часть слоя, имеющая концентрацию, близкую к эвтектоидному, состоит из перлита. Далее вглубь слоя структура становится доэвтектоидной.

Различают полную и эффективную толщину цементованного слоя. Эффективная толщина соответствует сумме заэвтектоидной, эвтектоидной и половине доэвтектоидной зоны. Обычно она равна 0,5-1,8 мм и в исключительных случаях, при больших контактных нагрузках на цементованную поверхность, может достигать 6 мм. При заданной температуре толщина слоя определяется длительностью цементации. Обычно содержание углерода в поверхностном слое составляет от 0,8 до 1,1 %.

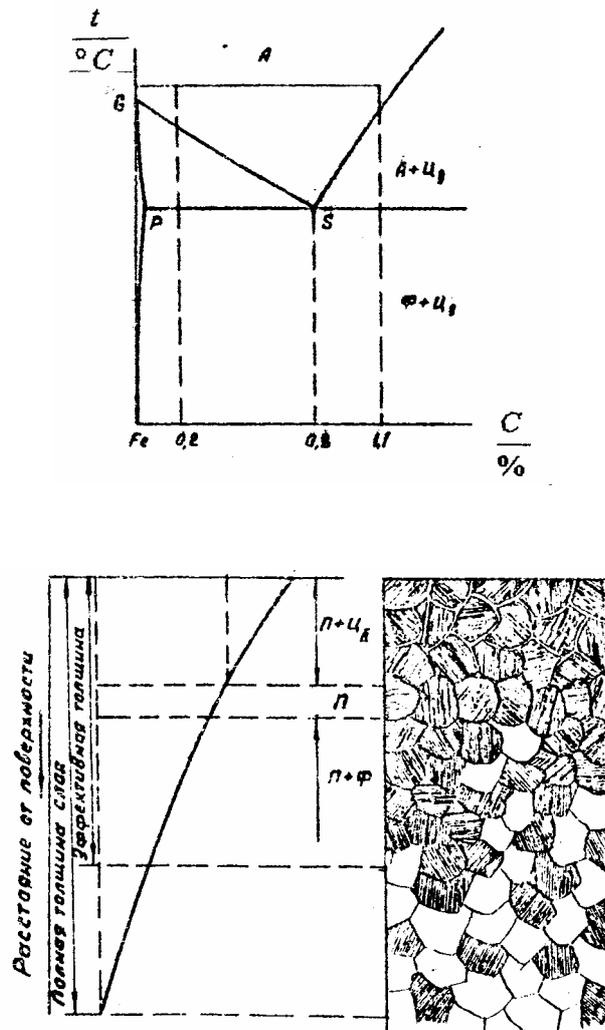


Рисунок 9.1 – Схема микроструктуры диффузионного слоя в сопоставлении с диаграммой железо-углерод

Для получения заданного комплекса механических свойств цементованные изделия подвергают термической обработке.

Для получения в деталях ответственного назначения мелкозернистой структуры, как на поверхности, так и в сердцевине, их подвергают сложной термической обработке, состоящей из двух последовательных закалок и низкого отпуска. При первой закалке, проводимой от температуры, на 30-50 градусов превышающей для цементуемой стали температуру A_{c3} , происходит перекристаллизация сердцевины, что обеспечивает получение мелкозернистого аустенита и продуктов его распада. При второй закалке нагрев проводят до температуры $A_{c1} + (30-50)^\circ$. Образовавшийся в поверхностном слое в результате первой закалки мартенсит отпускается с выделением глобулярных карбидов. После второй закалки структура поверхности состоит из высокоуглеродистого мартенсита и глобулярных карбидных частиц, увеличивающих её твёрдость. При этом также обеспечивается мелкое зерно в поверхностном слое.

Окончательной операцией термической обработки является низкий отпуск, проводимый при температуре 160-200 °С.

Детали менее ответственного назначения могут подвергаться более простой термической обработке, состоящей из одной закалки и низкого отпуска.

После цементации природно-мелкозернистой стали и содержания углерода в поверхностном слое около 0,8 % однократная закалка дает вполне удовлетворительные свойства, как в сердцевине, так и в цементованном слое деталей. При цементации таких сталей в газовом карбюризаторе целесообразно закалку вести непосредственно с цементационного нагрева.

Структура сердцевины зависит от легированности стали. В деталях из нелегированной стали сердцевина после термообработки состоит из ферритно-перлитной смеси или из сорбита. В изделиях из легированных сталей сердцевина в зависимости от количества легирующих элементов может состоять из троостита, бейнита или низкоуглеродистого мартенсита.

Во всех случаях из-за низкого содержания углерода сердцевина имеет достаточную вязкость.

9.3 Приборы и оборудование

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) металлографический микроскоп ММУ-3 или МИМ-7;
- 2) твердомеры ТП и ТК-2;
- 3) шлифовально-полировальный станок "НЕРИС";
- 4) электропечь муфельная с приборами теплового контроля;
- 5) закалочная ёмкость с водой.

9.4 Порядок выполнения работы

9.4.1 Ознакомьтесь со всеми разделами руководства.

9.4.2 Изучите влияние термической обработки на твердость сердцевины и поверхностного слоя цементованной стали. Для этого:

1) получите у лаборанта образцы цементованной и нецементованной стали одной и той же марки;

2) на шлифовальном диске станка "НЕРИС" подготовьте поверхность образцов для измерения твёрдости;

3) измерьте твёрдость каждого из образцов на твердомере типа ТП по методу Бринелля. Результаты измерения твердости занесите в таблицу (тип таблицы представлен таблицей 9.1). Следует иметь в виду, что при небольших размерах образцов нецементованный образец по своим свойствам примерно соответствует сердцевине цементованного образца;

Таблица 9.1 - Твёрдость цементованных образцов до и после термообработки

| № п/п | Марка стали | Участок образца | Твёрдость НВ | |
|-------|-------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| | | | до термообработки | после термообработки |
| | | Поверхностный слой | | |
| | | Сердцевина | | |

4) проведите закалку каждого из образцов. Температура нагрева под закалку – 820 °С. Охлаждаемая среда - вода. Время выдержки образцов в электропечи определите по таблице 9.2;

Таблица 9.2 - Ориентировочные нормы нагрева стали при термической обработке в лабораторных электрических печах

| Температура нагрева, °С | Форма изделия | |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | круг | пластина |
| | Продолжительность нагрева, мин | |
| | на 1 мм диаметра | на 1 мм толщины |
| 800 | 1,0 | 2,0 |
| 900 | 0,8 | 1,6 |
| 1000 | 0,4 | 0,8 |

5) на шлифовальном диске станка "НЕРИС" подготовьте поверхность закаленных образцов для измерения твёрдости;

6) измерьте твердость образцов на приборе ТК-2 (индентор - алмазный конус, нагрузка - 150 кг). Полученную твердость HRC переведите по таблице «Соотношение между числами твёрдости HRC, HRA, HB, HV в твёрдость по Бринеллю». Результаты занесите в таблицу 9.1

9.4.3. Изучите структуру диффузионного слоя цементованных образцов до термообработки и после нее.

Для этого:

1) получите у лаборанта микрошлифы цементованной стали после термической обработки и без нее;

2) просмотрите структуру диффузионного слоя каждого из образцов с

помощью металлографического микроскопа. Определите какие структурные составляющие входят в состав слоя. Оцените как изменилась структура после термической обработки.

В связи с тем, что одновременно просматриваемый под микроскопом участок, как правило, меньше толщины диффузионного слоя, слой следует рассматривать последовательно, перемещая образец под (над) объективом микроскопа, одновременно корректируя фокусировку.

3) Зарисуйте структуру диффузионного слоя до термической обработки и после нее. Укажите какими составляющими представлены структуры.

9.5 Содержание отчета

9.5.1 Цель работы.

9.5.2 Краткое описание назначения и технологии цементации стали.

9.5.3 Рисунки структур диффузионного слоя до и после термической обработки.

9.5.4 Таблица с результатами измерения твёрдости в соответствии с разделом 9.4.2.

9.5.5 Выводы по проделанной работе.

9.6 Контрольные вопросы

9.6.1 Каково назначение цементации стали?

9.6.2 Как можно увеличить толщину диффузионного слоя при цементации стали?

9.6.3 Какова структура диффузионного слоя, полученного в результате цементации стали?

9.6.4 Какая термическая обработка проводится после цементации стали?

9.6.5 Чем отличается мартенсит, полученный после закалки цементированного изделия, в сердцевинных участках от мартенсита в наружных слоях образца?

9.6.6 Каким образом можно увеличить концентрацию углерода в поверхностном слое изделия при цементации?

10 Лабораторная работа № 10

Изучение структуры и свойств легированных сталей

10.1 Цель работы

10.1.1 Ознакомиться с основами легирования. Изучить влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей.

10.1.2 Изучить маркировку и классификацию легированных сталей, научиться по марке стали определять ее химический состав.

10.1.3 Приобретение навыков анализа микроструктур легированных сталей.

10.2 Основные сведения

Легированными называют стали, в которые для изменения структуры и свойств, кроме углерода, вводят легирующие элементы. Основными легирующими элементами являются: хром, никель, вольфрам, кобальт, титан, ванадий, цирконий и другие, а также марганец и кремний при их повышенном, против обычного, содержании. В легированных сталях, также как и в конструкционных сталях, содержатся постоянные примеси: марганец, кремний, фосфор, сера и другие.

Легирование применяется в двух основных направлениях:

1) для повышения технологичности термической обработки конструкционных и инструментальных сталей (закаливаемость в масле, прокаливаемость и др.);

2) для получения сталей особого назначения, обладающих тем или иным комплексом специальных характеристик (коррозионной стойкостью, жаропрочностью, особыми магнитными свойствами и т.д.).

10.3 Влияние легирующих элементов на свойства стали

Преимущества легированных сталей, а также характерные для них специальные свойства проявляются только после соответствующей термической обработки. Поэтому из легированных сталей изготавливают детали, обязательно подвергаемые термической обработке. Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов на свойства феррита, дисперсность карбидной фазы, устойчивость мартенсита при отпуске, прокаливаемость, размер зерна.

Для достижения высокой прокаливаемости сталь чаще легируют более дешевыми элементами - марганцем, хромом, бором, а также более дорогими и дефицитными - никелем и молибденом.

Хром (вводят в количестве до 2 %) растворяется в феррите и цементите, оказывая благоприятное влияние на механические свойства, что предопределило его широкое применение. Способствует получению высокой

и равномерной твердости, повышает жаропрочность, жаростойкость, коррозионную стойкость.

Никель (вводят в количестве от 1 % до 5 %) наиболее резко снижает порог хладноломкости и увеличивает сопротивление распространению трещины, увеличивая пластичность и вязкость. Кроме того, никель повышает электросопротивление.

Марганец (вводят в количестве до 1,5 %) заметно повышает предел текучести стали, однако делает сталь чувствительной к перегреву, содействует росту зерна. Содержание в стали хрома или марганца до 1 % практически не влияет на порог хладноломкости. Однако при больших их концентрациях порог хладноломкости повышается. Вместе с марганцем вводят карбидообразующие элементы для измельчения зерна.

Кремний (количество ограничивают 2 %) сильно повышает предел текучести, несколько затрудняет разупрочнение стали при отпуске; снижает вязкость и повышает порог хладноломкости при содержании свыше 1 %.

Вольфрам и молибден - дорогие и дефицитные карбидообразующие элементы, которые большей частью растворяются в феррите. Вольфрам (0,8-1,2 %) уменьшает величину зерна, повышает твердость и прочность, улучшает режущие свойства при повышенных температурах.

Молибден (0,2-0,4 %) действует также, как и вольфрам, повышает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, а также повышает коррозионную стойкость.

Легирование стали в небольших количествах (от 0,05 до 0,15 %) ванадием, титаном, ниобием и цирконием, образующих труднорастворимые в аустените карбиды, измельчает зерно, что понижает порог хладноломкости.

Бор в микродозах (0,002-0,005 %) вводят для увеличения прокаливаемости. Так как он оказывает существенное влияние на свойства стали, то он записывается в маркировку стали (например, 20ХГР содержит 0,001-0,005 % бора).

10.4 Маркировка легированных сталей

Маркировка легированных сталей состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. В соответствии со стандартной маркировкой основные легирующие элементы обозначаются буквами: А - азот, Б - ниобий, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Е - селен, К - кобальт, Н - никель, М - молибден, П - фосфор, Р - бор; С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цирконий, Ч - редкоземельные элементы, Ю - алюминий.

В конструкционных сталях две цифры в начале марки обозначают содержание углерода в сотых долях процента (например, в стали 30ХН3А около 0,30 % углерода); в высокоуглеродистых инструментальных сталях - в десятых долях процента (сталь 9ХС - 0,9 % углерода). Если сталь имеет 1,0 % углерода и выше, то цифра, характеризующая содержание углерода, опускается (сталь Х12М). Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное

содержание данного легирующего элемента. При содержании элемента менее 1,0-1,5 % цифра отсутствует (например, сталь ХВГ), за исключением бора и ванадия.

Быстрорежущие стали принято маркировать буквой Р, после которой идет цифра, указывающая на содержание главного легирующего элемента таких сталей - вольфрама в процентах (например, Р9), среднее содержание кобальта обозначают цифрой после буквы К, ванадия - после буквы Ф (Р6К5Ф2) и т.д.

В шарикоподшипниковых сталях вначале маркировки стоит буква Ш, а содержание хрома указывается в десятых долях процента (ШХ15).

Автоматные стали маркируют буквой А, после которой следует цифра, указывающая среднее содержание углерода в сотых долях процента, при повышенном содержании в стали марганца в конце марки добавляется буква Г (А40Г).

Допускаются нестандартные обозначения легированных сталей и сплавов, в частности, опытные марки стали, выплавляемые на заводе «Электросталь» обозначаются «Э» и буквами «И» - исследовательская, «П» – пробная и порядковым номером, например ЭИ612, ЭП658.

Примеры обозначения и расшифровки некоторых марок сталей:

1) 40ХГТР - сталь конструкционная низколегированная, качественная, содержит 0,38-0,45 % углерода; 0,8-1,1 % хрома; 0,7-1,0 % марганца, 0,03 – 0,09 титана, остальное - железо и технологические примеси.

2) ХВГ - сталь инструментальная низколегированная, содержит 0,9-1,05 % углерода; 0,9-1,2 % хрома; 1,2-1,6 % вольфрама; 0,8-1,1 % марганца, остальное - железо и технологические примеси.

3) ШХ15СГ - сталь шарикоподшипниковая, качественная, содержит 0,95-1,05 % углерода; 1,3-1,65 % хрома; 0,4-0,65 % кремния; 0,9-1,2 % марганца, остальное - железо и технологические примеси.

4) Р6М5 - сталь быстрорежущая, инструментальная, качественная, содержит около 1 % углерода, 3,8 – 4,4 % хрома, 5,5 – 6,6 % вольфрама, 5,0 – 5,5 % молибдена, 1,7 – 2,1 % V, остальное - железо и технологические примеси.

10.5 Классификация легированных сталей

Легированные стали классифицируют по химическому составу, по назначению и структуре.

В зависимости от наличия тех или иных легирующих элементов стали подразделяются на хромистые, хромоникелевые, хромоникельвольфрамовые, марганцовистые, кремнистые и многие другие. По количеству введенных элементов их подразделяют на низколегированные, среднелегированные, высоколегированные.

Стали, в которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 2,5 % , относятся к низколегированным, содержащие 2,5-10 % - к легированным, более 10 % - к высоколегированным.

По назначению легированные стали подразделяются на группы:

1) конструкционные: строительные низколегированные, цементуемые, улучшаемые (среднеуглеродистые, 0,3-0,5 % углерода, подвергаемые закалке и отпуску), высокопрочные, шарикоподшипниковые, рессорно-пружинные и другие;

2) инструментальные: для режущих инструментов, для измерительных инструментов, штамповые;

3) стали и сплавы с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, с особыми магнитными и электрическими свойствами и т.д.

Легированные стали классифицируют по структуре в равновесном (отожженном) состоянии и по структуре в нормализованном состоянии. По структуре в равновесном состоянии стали с определенной степенью условности подразделяются на следующие классы: перлитный, лебедуритный (карбидный), ферритный, аустенитный и феррито-аустенитный. Классификация сталей в нормализованном состоянии производится по структуре образцов небольшого сечения, охлажденных после нагрева выше критических точек на воздухе. В основу такой классификации положено влияние легирующих элементов на диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита и температуру начала и конца мартенситного превращения.

По структуре в нормализованном состоянии стали подразделяются на классы - перлитный, мартенситный и аустенитный. Кроме того, могут быть стали аустенитно-мартенситного (переходного), мартенсито-ферритного класса и другие.

Перлитные стали после отжига содержат в структуре или только перлит или, кроме него, еще феррит (доэвтектоидные стали) или вторичные карбиды (заэвтектоидные стали). Стали перлитного класса содержат сравнительно небольшое количество легирующих элементов.

В перлитных низколегированных сталях после нормализации получается структура перлитного типа (перлит, сорбит, троостит) с возможными включениями феррита у доэвтектоидных и цементита у заэвтектоидных сталей. К перлитному классу относится большинство марок конструкционных (20X, 30XГСА, ШХ15 и др.) и инструментальных сталей (9ХС, ХВГ и др.).

При содержании легирующих элементов примерно 4-10 % С - образные кривые на диаграмме распада аустенита сдвигаются вправо настолько, что после нормализации структура стали получается преимущественно мартенситная. Поэтому такие среднелегированные стали относятся к мартенситному классу.

Сталями мартенситного класса являются некоторые конструкционные (18Х244ВА, 38ХНЗМФА и др.), хромистые нержавеющие (30Х13, 20Х13 и др.), жаропрочные (15Х11МФ, 40Х9С2) и другие стали.

Легированные стали перлитного класса в отличие от простых углеродистых выгодно отличаются тем, что для получения мартенситной

структуры могут закаливаться в масле, тогда как углеродистые стали должны закаливаться в воде. Резкое охлаждение при закалке углеродистых сталей ведет к короблению деталей.

Самыми лучшими в этом отношении являются стали мартенситного класса. В них мартенсит образуется при закалке на воздухе. Коробление в этом случае наименьшее. Кроме того, с увеличением содержания легирующих элементов увеличивается прокаливаемость, что позволяет производить упрочнение путем закалки и отпуска изделий больших сечений.

У простых углеродистых сталей прокаливаемость очень низкая, так для стали У10 прокаливаемость составляет примерно 10 мм; у легированных сталей перлитного класса прокаливаемость умеренная, а у сталей мартенситного класса - большая.

Как указывалось выше, стали мартенситного и перлитного классов в равновесном состоянии могут быть доэвтектоидными, эвтектоидными и заэвтектоидными в зависимости от содержания углерода. Однако в связи с тем, что все легирующие элементы сдвигают влево точку S (указывающую содержание углерода в эвтектоиде) и точку E (указывающую максимальную растворимость углерода в аустените) диаграммы "Железо-углерод", эвтектоидная концентрация у легированных сталей всегда меньше, чем 0,8 %. Поэтому у отожженных доэвтектоидных легированных сталей, при равном с углеродистыми сталями содержании углерода, площадь, занятая перлитом на микрошлифе, оказывается всегда больше, чем у углеродистых.

Ледебуритные стали - это инструментальные стали с высоким содержанием углерода и карбидообразующих элементов (Cr, W, Mo и др.), например, P9, X12M. После литья структура таких сталей состоит из ледебурита, перлита и вторичных карбидов. При ковке крупные ледебуритные (первичные) карбиды раздробляются на более мелкие.

В отожженном послековки состоянии структура стали состоит из сорбитообразного перлита, первичных (более крупных) и вторичных (более мелких) карбидов, общее количество которых может достигать 30-35 %. Поэтому стали иногда называют карбидными.

В нормализованном состоянии многие ледебуритные стали являются сталями мартенситного класса или сталями перлитного класса. Однако на практике классификация по структуре в нормализованном состоянии для ледебуритных сталей используется редко.

10.6 Взаимодействие легирующих элементов с углеродом и железом

Структура высоколегированных сталей зависит от типа легирующих элементов, их количественного соотношения между собой и содержания углерода в стали.

Легирующие элементы по взаимодействию с углеродом разделяются на некарбидообразующие Ni, Co, Si, B, Al и другие, карбидообразующие Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Zr, Ti (элементы перечислены в порядке воз-

растания их карбидообразующей способности). Карбидообразующие элементы могут растворяться в цементите или образовывать собственные более стойкие и твердые карбиды, чем цементит.

Рассмотрим характер взаимодействия легирующих элементов с железом. Существуют два взаимно различных типа такого взаимодействия.

Равновесные температуры A_3 и A_4 для чистого железа равны соответственно $911\text{ }^\circ\text{C}$ и $1392\text{ }^\circ\text{C}$. В интервале указанных температур устойчивая модификация Fe_γ с ГЦК решеткой. Никель, марганец, кобальт и другие понижают температуру A_3 и повышают температуру A_4 . В сплавах железа с этими элементами γ - область "открывается", т.е. в определенном интервале температур существует неограниченная растворимость компонентов в твердом состоянии - твердые растворы с ГЦК решеткой. При этом температура A_3 при определенной концентрации добавки понижается ниже нуля.

В сплавах с концентрацией добавки, равной или превышающей концентрацию, соответствующую точке М, ГЦК решетка устойчива при температуре $20\text{-}25\text{ }^\circ\text{C}$ (рисунок 10.1 а). Такие сплавы называют аустенитными сталями. Таким образом, аустенитом называют не только твердый раствор углерода в Fe_γ , но и любые твердые растворы на основе Fe_γ .

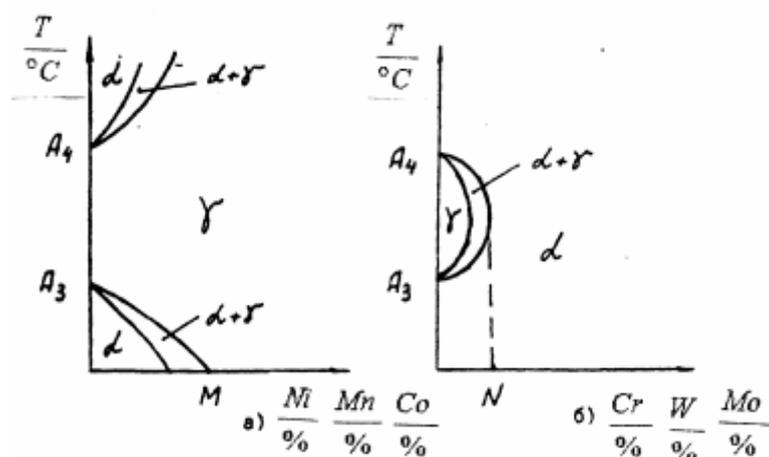


Рисунок 10.1 - Схемы диаграмм "железо - легирующий элемент"

Если сталь легировать элементами, расширяющими область существования аустенита (аустенизаторами), Ni , Mn , Co др., то при определенном их содержании можно получить аустенитную структуру для всех температур твердого состояния выше $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Cr , Mo , W , V , Ti , Si и другие элементы повышают температуру A_3 и понижают температуру A_4 . В этом случае температурный интервал устойчивости аустенита уменьшается и соответственно расширяется температурный интервал устойчивости Fe_α . Все перечисленные элементы образуют с железом диаграмму с "замкнутой" γ - областью (рисунок 10.1 б).

Концентрация, соответствующая точке N, для большинства элементов невелика (до $1,5\text{ }%$), лишь для хрома аустенитная область простира-

ется до 12 %. Из перечисленных элементов, дающих "замкнутую" область, только Cr и V не образуют с железом промежуточных фаз. Наблюдается неограниченная растворимость хрома и ванадия в железе с ОЦК решеткой.

Остальные легирующие элементы, замыкающие область, образуют с железом промежуточные фазы; поэтому при определенных концентрациях добавки на диаграммах появляется линия, ограничивающая растворимость, правее которой расположены двухфазные области.

Однофазные сплавы с ОЦК решеткой, устойчивой при всех температурах, вплоть до солидуса, называют ферритными сталями. Таким образом, ферритом называют не только твердый раствор углерода в Fe_α , но и любые твердые растворы на основе Fe_α . При достаточно большом легировании малоуглеродистой стали хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием и другими (ферризаторами), она во всем диапазоне температур твердого состояния будет иметь структуру феррита и относится к ферритному классу.

Высоколегированные стали одними только аустенизаторами обычно не легируют. Как правило, в них содержится то или иное количество компонентов ферризаторов, прежде всего хрома. При определенном их сочетании сталь будет аустенитно-ферритного класса, аустенитно-мартенситного и мартенситно-ферритного классов.

10.7 Характеристика основных структурных классов сталей

Стали ферритного, аустенитного, аустенитно-ферритного, аустенитно-мартенситного и мартенситно-ферритного классов относятся в большинстве своем к коррозионно-стойким и жаропрочным и содержат не менее 12 % хрома.

При низком содержании углерода и большом количестве легирующего элемента, ограничивающего область существования аустенита (Cr, W, Mo, V и др.), образуется сталь, относящаяся к ферритному классу. Сталями ферритного класса являются хромистые нержавеющие стали 08X13, 15X25T и другие. Они не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не упрочняются термической обработкой.

При увеличении содержания углерода или аустенизаторов в хромистых нержавеющих сталях (12X13, 20X13 и др.) при нагреве часть феррита превращается в аустенит, который при быстром охлаждении переходит в мартенсит. Такие стали являются мартенситно-ферритными и, следовательно, могут упрочняться термической обработкой.

Аустенитные стали обычно легированы хромом и никелем (или марганцем). Самую большую группу высоколегированных сталей составляют хромоникелевые и хромоникельмарганцевые стали. В равновесном состоянии они имеют легированный аустенит, а также некоторое количество карбидов и интерметаллидов. При закалке с 1000-1100 °С в них получается чисто аустенитная структура, так как вторые фазы (карбиды, интерметаллиды) растворяются при нагреве под закалку. При этом получают наи-

большая коррозионная стойкость и высокая пластичность, а упрочнения не происходит. Последнее резко отличает аустенитные стали от низко- и среднелегированных.

Однако, если в результате закалки аустенит достаточно пересыщен углеродом и другими легирующими элементами, то старение при 650-700 °С может вызвать упрочнение за счёт выделения вторых фаз в мелкодисперсном виде. Таким образом, аустенитные стали могут быть гомогенными, неупрочняемыми термической обработкой (12Х18Н9 и др.) и дисперсионно-твердующими, упрочняемыми закалкой и старением (например, 40Х14Н14В2М).

Микроструктура аустенита у нержавеющей и жаропрочных сталей весьма характерна. В светлых довольно крупных и резко очерченных зернах (полиэдрах) наблюдаются линии двойникования, не выходящие за пределы зерна, и двойниковые области, ограниченные двумя параллельными линиями.

Стали переходного аустенитно-мартенситного класса (09Х15Н9Т и др.) при высоких температурах являются полностью аустенитными и при охлаждении до 20 °С сохраняют это состояние, которое является неустойчивым. Это достигается подбором химического состава и, главным образом, путем снижения содержания никеля, по сравнению со сталями аустенитного класса. Неустойчивый после закалки аустенит при обработке холодом частично (до 50-70 %) превращается в мартенсит, сообщая тем самым стали более высокие прочностные свойства. Дополнительное упрочнение стали происходит при старении при 350-500 °С. Эти стали, как и аустенитные, обладая высокими технологическими свойствами, имеют более высокие прочностные свойства. Они используются как нержавеющие для работы при обычных и высоких температурах (до 500-550 °С).

Нержавеющие стали аустенитно-ферритного класса (12Х22Н5Т и др.), в связи с более высоким содержанием хрома и пониженным содержанием никеля имеют двухфазную структуру при всех температурах твердого состояния. Количественное соотношение аустенита и феррита в них зависит не только от химического состава, но и температуры нагрева под термическую обработку и может меняться в широких пределах. Стабильность механических свойств этих двухфазных сплавов достигается только при относительно небольших колебаниях химического состава.

10.8 Порядок выполнения работы

10.8.1 Изучить микроструктуры образцов легированных сталей в отожженном и термообработанном состояниях. Каждую исследованную микроструктуру схематически зарисовать.

10.8.2 Измерить твердость отожженных и закаленных образцов сталей У10, 9ХС, ХВГ, ХВ5, Х12 в центре и с краю.

10.8.3 Провести отпуск предварительно закаленных по оптимальным режимам сталей У10, 9ХС, Х12 при температурах 300 °С и 500 °С в течение 30 минут.

10.8.4 Измерить твердость образцов после отпуска.

10.8.5 Составить отчет о работе.

10.9 Содержание отчёта

10.9.1 Цель работы.

10.9.2 Основные преимущества легированных сталей и цели легирования.

10.9.3 Схемы микроструктур легированных сталей с указанием марок сталей, структурного класса, назначения.

10.9.4 Пример расшифровки химического состава 2-3 марок легированных сталей по индивидуальному заданию.

10.9.5 Заполненная таблица испытания на твердость.

| Марка стали | Температура нагрева под закалку, °С | Твердость HRC закаленной стали | Твердость HRC стали после отпуска при | |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------|
| | | | 300 °С | 500 °С |
| У 10 | | | | |
| 9ХС | | | | |
| Х12 | | | | |
| ХВГ | | | | |
| ХВ5 | | | | |

10.9.6 Выводы по работе.

10.10 Контрольные вопросы

10.10.1 С какой целью производится легирование стали?

10.10.2 В каких количествах содержатся легирующие элементы в низколегированных, легированных и высоколегированных сталях?

10.10.3 Каково влияние легирующих элементов на свойства стали?

10.10.4 Как влияет большинство легирующих элементов на температуру перлитного превращения и содержание углерода в перлите?

10.10.5 В виде каких основных фаз находятся легирующие элементы в стали?

10.10.6 Основные преимущества легированной стали перед углеродистой?

10.10.7 Какие важнейшие факторы обуславливают изменение структуры и свойств легированных сталей?

10.10.8 Как маркируются легированные стали?

10.10.9 По каким основным признакам классифицируются легированные стали?

10.10.10 Что такое теплостойкость? Влияние легирования на указанную характеристику.

10.10.11 Особенности термической обработки легированной стали.

10.10.12 Место и значение термической обработки легированных сталей.

10.10.13 Чем объясняется высокая прокаливаемость легированных сталей и их способность закаливаться при охлаждении в масле?

10.10.14 В каком состоянии рационально использовать легированные стали?

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 - Режимы термической обработки некоторых легированных сталей

| Сталь | Температура закалки, °С | Среда охлаждения | Температура отпуска, °С | Твёрдость HRC | Назначение |
|-------|-------------------------|------------------|-------------------------|---------------|--|
| 40X | 840-860 | Вода | 200 | 56 | Оси, валы, валы-шестерни, штоки, детали повышенной прочности |
| 9ХС | 840-860 | Масло | 180-250 | 58-62 | Свёрла, развёртки, метчики, гребенки, фрезы, клейма, деревообрабатывающий инструмент. |
| ХВГ | 840-860 | Масло | 140-160 | 60-62 | Инструмент для ручной работы - плашки, сверла, развёртки, деревообрабатывающий инструмент |
| ШХ15 | 820-860 | Масло | 150-160 | 61-65 | Кольца шарико- и роликоподшипников с толщиной стенки до 15-20 мм. Втулки плунжеров, плунжеры, ролики толкателей, кулачки, оси рычагов и др. детали, от которых требуется высокая твёрдость, износостойкость и контактная прочность |
| 5ХНМ | 850 | Масло | 450 500 | 44 42 | Молотовые штампы, прессовые штампы и штампы машинной скоростной штамповки. |
| X12 | 950-980 | Масло | 170-200 | 60-62 | Гибочные и формовочные штампы сложной формы, матрицы и пуансоны вырубных и просечных штампов |

11 Лабораторная работа № 11

Термическая обработка быстрорежущей стали

11.1 Цель работы

Изучить влияние режимов термической обработки на структуру и твердость быстрорежущей стали.

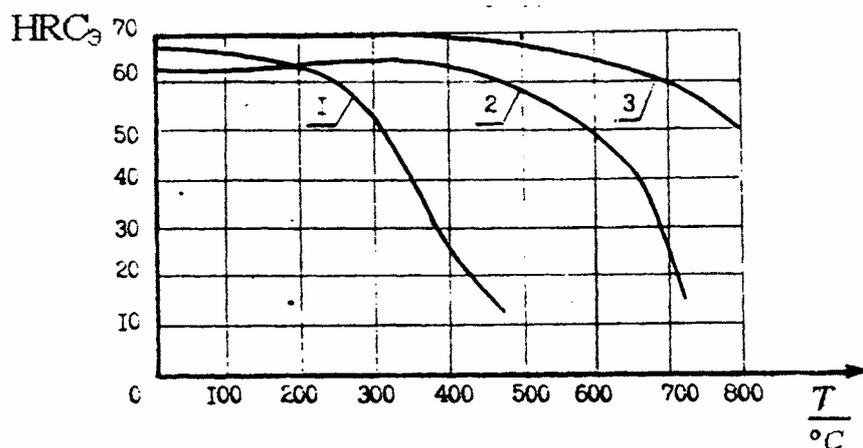
11.2 Общие сведения

Быстрорежущая сталь была разработана и применена в начале XX века и до настоящего времени широко используется для изготовления режущего инструмента, работающего в условиях значительного нагружения и нагрева рабочих кромок. Инструмент из быстрорежущих сталей обладает достаточно высокой стабильностью свойств. Из такой стали изготавливают режущий инструмент высокой производительности: сверла, фрезы, развертки, протяжки, долбяки, зенкеры и др.

Быстрорежущие стали обладают высокой твердостью (58-65 HRC), износостойкостью, высокой прочностью при удовлетворительной пластичности и вязкости, повышенной прокаливаемостью. Основное свойство быстрорежущих сталей - высокая теплостойкость (до 600-650°C). Под теплостойкостью понимают способность стали сохранять свои свойства в нагретом состоянии. Изменение твердости различных инструментальных материалов в зависимости от температуры нагрева показано на рисунке 11.1.

Как видно из рисунка 11.1, инструментальные углеродистые стали сохраняют твердость, а следовательно, и режущие свойства до 200 °С (напильники, инструмент по дереву), быстрорежущие стали - до 550-600 °С (фрезы, сверла, зенкеры, развертки), твердые сплавы - до 800 °С. Следует отметить, что твердость в холодном состоянии не определяет режущей способности стали.

Высокие свойства быстрорежущих сталей создаются легированием карбидообразующими элементами в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в карбиды и существенно меняют характер структурных превращений. Такими элементами являются вольфрам, хром, ванадий, кобальт. Вольфрам и его химический аналог молибден обеспечивают теплостойкость стали. Увеличению теплостойкости и твердости после термической обработки способствует кобальт и в меньшей степени ванадий. Ванадий способствует повышению стойкости карбидов, образуя очень твердый карбид VC, повышает твердость (износостойкость) инструмента, но ухудшает шлифуемость. Хром увеличивает прокаливаемость.



1 - углеродистая сталь, 2 - быстрорежущая сталь, 3 - твердый сплав

Рисунок 11.1 – Изменение твердости различных материалов в зависимости от температуры нагрева

Быстрорежущие стали маркируются буквой «Р» (рапид - быстрый) и цифрой после «Р», показывающей в процентах содержание основного легирующего элемента вольфрама (например, Р18, Р9). При наличии в стали значительного количества ванадия (более 2 %) его содержание отмечается в марке стали цифрой после буквы "Ф", а содержание молибдена и кобальта - цифрой после букв "М", "К" соответственно. Наличие хрома в маркировке не указывается, поскольку во всех быстрорежущих сталях его содержание составляет около 4 %. Углерода содержится в зависимости от содержания ванадия от 0,7 % до 1,55 % (чем больше ванадия, тем больше углерода).

Химический состав некоторых марок широко применяемых быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости (до 620 °С) приведен в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Химический состав быстрорежущих сталей

| Марка стали | Содержание элементов, % | | | | |
|-------------|-------------------------|----------|----------|---------|---------|
| | С | Cr | W | V | Mo |
| Р9 | 0,85-0,95 | 3,84-4,4 | 8,5-10,0 | 2,0-2,6 | 1 |
| Р6М5 | 0,8-0,88 | 3,8-4,4 | 5,5-6,5 | 1,7-2,1 | 5,0-5,5 |
| Р6М2Ф3- МП | 1,1-1,25 | 3,8-4,6 | | 2,6-3,3 | 2,3-2,9 |

Примечание - МП–сталь получена методом порошковой металлургии.

Стали умеренной теплостойкости рекомендуются для всех видов инструментов при обработке углеродистых и легированных сталей. Наиболее часто применяют сталь Р6М5 с меньшим содержанием вольфрама. Для обработки высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов применяют быстрорежущие стали повышенной теплостойкости (630-640 °С), содержащие кобальт и повышенное содержание ванадия: Р18К5Ф2, Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8, Р2АМ9К5, Р2АМ9К5. Для инструментов чистовой обработки вязкой аустенитной стали и материалов, обладающих абразивными свойствами, используют сталь Р12Ф3 с высоким содержанием ванадия.

Структура и свойства быстрорежущей стали могут быть изучены наиболее полно, если проследить за их изменением на различных этапах ее обработки: литье, горячая деформация, отжиг, закалка и отпуск (на примере стали Р6М5).

В литом состоянии структура стали состоит из ледебуритной эвтектики, которая придает стали хрупкость (рисунок 11.2).



Рисунок 11.2 – Микроструктура стали Р6М5 после литья

Для ее разрушения и равномерного распределения карбидов, в также для подготовки структуры к последующей термообработке быстрорежущую сталь подвергают горячей деформации (ковке или прокатке) с последующим изотермическим отжигом для снижения твердости до 210-260 НВ.

Обработка давлением изменяет строение быстрорежущей стали, так как эвтектика разбивается на обособленные карбиды. Структура деформированной и отожженной стали состоит из сорбитообразного перлита с большим количеством равномерно распределенных крупных первичных и более мелких вторичных карбидов (рисунок 11.3).

При недостаточной деформации наблюдается карбидная ликвация (неоднородность), которая представляет участки неразрушенной эвтектики, вытянутой в направлении деформации. При наличии карбидной ликвации уменьшается стойкость инструмента, возрастает хрупкость.

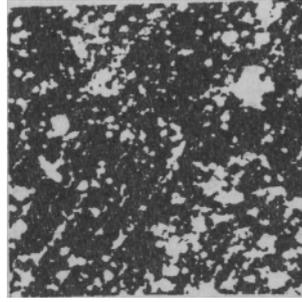


Рисунок 11.3 – Микроструктура стали Р6М5 деформированной и отожженной

В карбидах содержится 80-95 % вольфрама и ванадия, 5 % хрома; остальная часть легирующих элементов растворена в феррите. Количество карбидной фазы в стали Р6М5 достигает 22 %.

Высокие режущие свойства быстрорежущей стали обеспечиваются ее закалкой и отпуском, в результате чего образуется структура стойкого против распада легированного мартенсита, требующего отпуска при температуре около 600 °С. Для получения такого мартенсита сталь под закалку нагревают до высоких температур. Высокая температура нагрева нужна для того, чтобы перевести в твердый раствор (аустенит) возможно большее количество труднорастворимых вторичных карбидов.

Температура нагрева под закалку зависит от марки стали, формы, размеров, назначения, условий работы инструмента и выбирается в пределах 1160-1240 °С. Нагрев выше определенной оптимальной температуры (для каждой марки стали) ведёт к значительному росту зерна, образованию сетки карбидов и может даже приводить к оплавлению режущих кромок инструмента.

Нагрев под закалку осуществляют в соляных расплавах для уменьшения окисления и обезуглероживания. Инструмент из быстрорежущей стали подвергают предварительному и окончательному нагреву. В первом случае осуществляется постепенный нагрев до температуры 950-1100 °С с выдержкой 12-15 секунд на каждый мм толщины сечения изделия. При окончательном нагреве инструмент нагревают до температур 1240 °С с выдержкой 8-10 с на каждый мм сечения инструмента.

Повышенная температура и излишнее время выдержки при окончательном нагреве под закалку приводит к образованию крупно-иглочатого мартенсита и ледебуритной сетки. Температуру нагрева под закалку нужно тщательно контролировать. Допустимое отклонение температуры от оптимальной в пределах ± 5 °С.

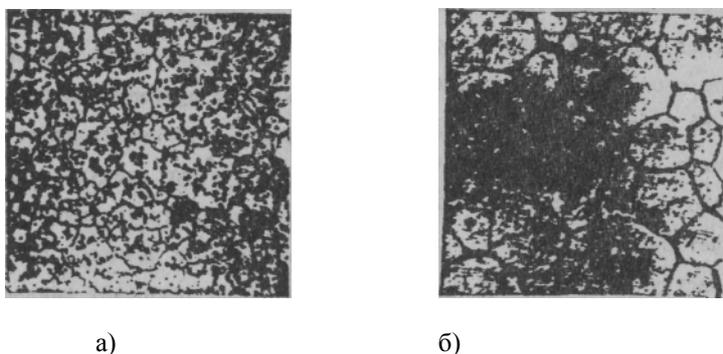
Охлаждение стали при закалке до температуры мартенситного превращения должно быть быстрым, чтобы аустенит не успел превратиться в промежуточные структуры. Каждой марке стали соответствует своя скорость охлаждения, при которой аустенит сохраняется до перехода в мартенсит. Эта

скорость достигается охлаждением в различных средах: масле, солях, в струе воздуха - для мелкого инструмента. Различные способы и скорости охлаждения следует выбирать также в зависимости от формы и размеров сечения инструмента, так как они главным образом оказывают влияние на величину напряжений и деформаций в закаленном состоянии.

Закалку инструмента можно проводить в расплаве солей (60-65 % KNO_3 + 40-35 % $NaOH$) при температуре 400-450 °С с изотермической выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. Изотермическую закалку применяют с целью уменьшения деформации инструмента в области мартенситного превращения.

После закалки с оптимальных температур микроструктура стали Р6М5 состоит из мартенсита, карбидов и большого количества остаточного аустенита. На рисунке 11.4 а приведена микроструктура стали Р6М5 после закалки от температуры 1220 °С. При травлении плохо выявляется основная структурная составляющая - мартенсит. Он настолько мелкоигольчатый ("бесструктурный"), что структура кажется состоящей только из аустенита и карбидов. В действительности после закалки в быстрорежущих сталях содержится примерно 60-70 % мартенсита, 10-15 % карбидов и 25-30 % остаточного аустенита.

Микроструктура быстрорежущей стали закаленной с температуры выше оптимальной (перегрев) характеризуется значительным ростом зерна, образованием сетки карбидов (рисунок 11.4 б).



а - нормальный нагрев, закалка от температуры 1220 °С

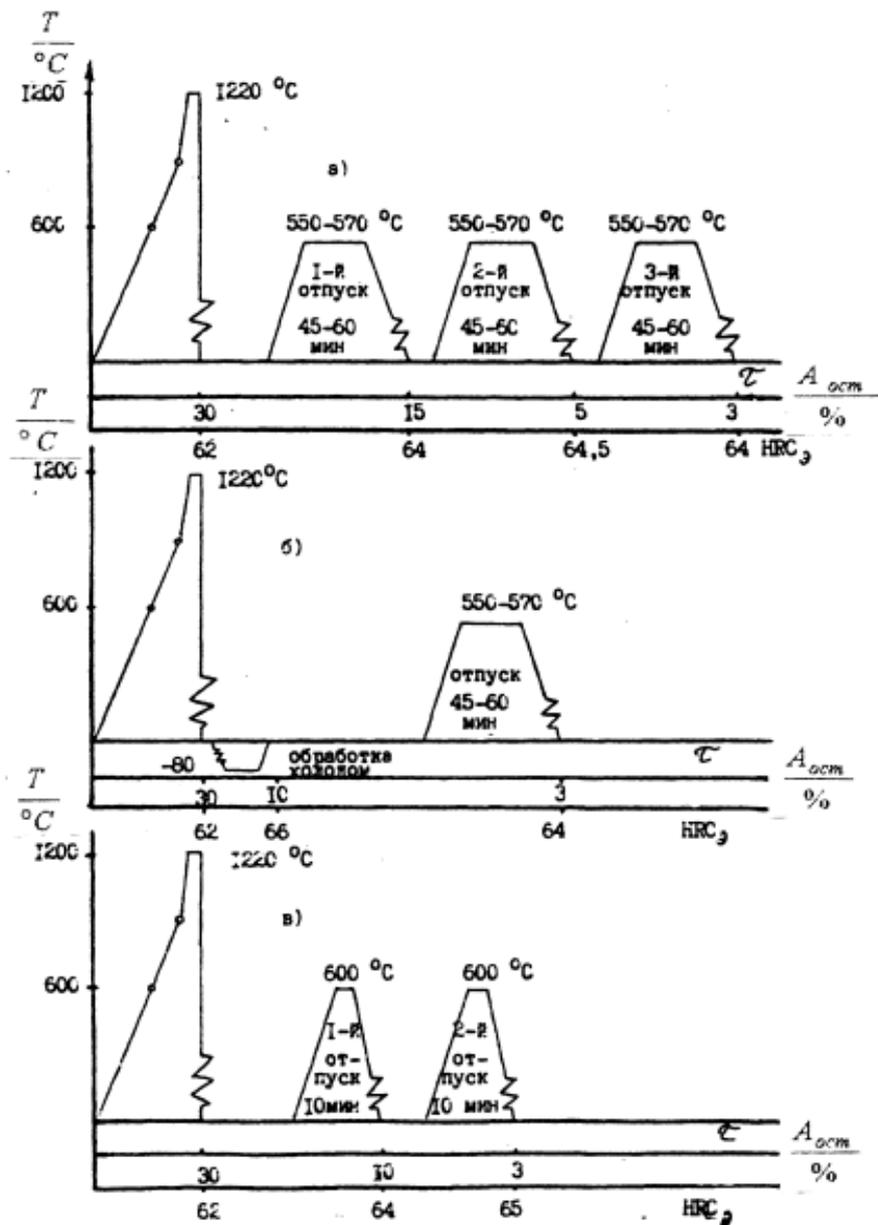
б - перегрев, закалка от температуры 1250 °С

Рисунок 11.4 - Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после закалки с различных температур

Наличие аустенита снижает твердость, режущие свойства и стабильность размеров инструмента. Для устранения этих явлений инструмент подвергают отпуску. Отпуск необходим для превращения остаточного аустенита в мартенсит и выделения карбидов.

Наиболее полное превращения обеспечиваются при трехкратном отпуске, который проводится при температуре 550-570 °С с выдержкой по 1 часу

с каждым отпуском (рисунок 11.5). За счет уменьшения остаточного аустенита будет возрастать количество мартенсита и твердость стали.



а) – стандартный режим; б) – с обработкой холодом (по А.П. Гуляеву);
в) – режим Оренбургского завода свёрл

Рисунок 11.5 – Схемы режимов термической обработки быстрорежущих сталей

Наиболее часто применяют традиционный режим (рисунок 11.5 а), реже режим термической обработки, предложенный в 1939 году профессором А.П. Гуляевым (рисунок 11.5 б). Так как точка конца мартенситного превращения располагается в области отрицательных температур, поэтому для уменьшения количества остаточного аустенита быстрорежущую сталь непосредственно после закалки обрабатывают холодом при температуре минус

75-80 °С, при этом значительная часть аустенита переходит в мартенсит, что позволяет ограничиться одним отпуском.

В 1960-1964 годах на Оренбургском заводе сверл был разработан режим термической обработки сверл (таблица 11.2), достоинство которого состоит в том, что за счет повышения температуры отпуска резко сократилась длительность процесса отпуска (рисунок 11.5 в).

Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после термической обработки показана на рисунке 11.6.

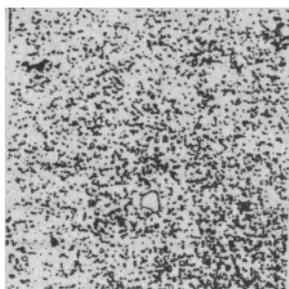


Рисунок 11.6 – Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5 после термической обработки по режиму завода свёрл

11.3 Порядок выполнения работы

11.3.1 Получите образцы из стали Р6М5, измерьте твердость HRC образцов на приборе ТК-2.

11.3.2 Поместите образцы стали в электропечь СУОЛ-0,4.4/12 в зону, разогретую до температуры 800 °С, дайте выдержку в течение 10 минут. Продвиньте образцы в зону печи с температурой 1220 °С и выдержите образцы при этой температуре 3-5 минут из расчета 15-20 с на каждый миллиметр толщины при нагреве в электропечах.

11.3.3 Половину загруженных в электропечь образцов закалить в масле, другую половину - на воздухе.

11.3.4 Сошлифовать верхний слой на глубину 0,3 мм.

11.3.5 Измерьте твердость HRC закаленных образцов на приборе ТК-2.

11.3.6 Проведите двукратный отпуск закаленных образцов в электропечи, разогретой до 600 °С с выдержкой по 10 минут, охлаждение образцов после отпуска на воздухе.

11.3.7 Измерьте твердость HRC образцов после отпуска.

11.3.8 Опишите микроструктуру стали.

Таблица 11.2 - Технология термической обработки сверл из стали Р6М5 на автоматической линии Оренбургского завода сверл

| Наименование операций | Среда | Температура °С | Время |
|--|---|-------------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Забивка сверл в кассеты | | | 1 мин |
| Нагрев под закалку лапок | 75 % BaCl ₂ + 25 % NaCl | 900 - 920 | 1 мин 45 с |
| Закалка с самоотпуском | Вода проточная | 20 | 2 мин 45 с |
| Предварительный нагрев под закалку рабочей части | 100 % BaCl ₂ | 1050 | 1 мин 30 с |
| Перемещение под окончательный нагрев | | | 10 с |
| Окончательный нагрев под закалку рабочей части | 100 % BaCl ₂ | 1220 | 1 мин 30 с |
| Закалка рабочей части | Соль Н-495 (состав: 25-35 % BaCl ₂ , 50-55 % CaCl ₂ , 15-20 % NaCl) | 600 | 10 мин |

Продолжение таблицы 11.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--|-------|----------------|
| Охлаждение окончательное | Сжатый воздух с водой | До 20 | 10 мин 30 с |
| Первый отпуск | Соль Н-495 | 600 | 10 мин |
| Охлаждение | Сжатый воздух с водой | До 20 | 10 мин |
| Второй отпуск | Соль Н-495 | 600 | 10 мин |
| Охлаждение | Сжатый воздух с водой | До 20 | 10 мин |
| Выварка | Вода | 100 | 10 мин |
| Травление | Вода + 10 % HCl | 100 | 5 мин |
| Промывка под душем | Вода | 20 | 5 мин |
| Выбивка из кассет | | | 1 мин |
| Гидрополирование | Электрокорунд, сода кальциниро-ванная, нитрит натрия, вода | 20 | 10 мин |
| Пассивирование | Вода, NaNO ₂ – 160 г/л, NaOH – 650 г/л | 140 | 10 мин |
| Примечание - Режимы нагрева для сверл диаметром 29 мм. | | | |

Содержание отчета

11.4.1 Цель работы.

11.4.2 Краткое описание процессов, протекающих при термической обработке быстрорежущих сталей.

11.4.3 Таблица с результатами экспериментальной работы.

| Марка быстрорежущей стали | Твердость HRC до термообработки | Режим термической обработки | | | Твердость HRC образцов после закалки | Режим 1-го отпуска | | Твердость HRC образцов после 1-го отп. | Режим 2-го отпуска | | Твердость HRC образцов после 2-го отпуска |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|--|--------------------|----------------------|---|
| | | Температура нагрева под закалку, °C | Время нагрева, мин. | Охлаждающая среда | | Температура, °C | Время выдержки, мин. | | Температура, °C | Время выдержки, мин. | |
| | | | | | | | | | | | |

11.4.4 Схемы микроструктур стали в отожженном состоянии и после термической обработки.

11.4.5 Выводы.

Контрольные вопросы

11.5.1 Какие вы знаете марки быстрорежущих сталей?

11.5.2 В чем преимущество быстрорежущих сталей перед углеродистыми?

11.5.3 Какие легирующие элементы обеспечивают высокую теплоустойчивость режущих инструментов?

11.5.4 Для чего быстрорежущие стали нагревают под закалку до высоких температур, близких к температурам плавления?

11.5.5 Для чего после закалки проводят многократный отпуск?

11.5.6 Объясните, какие структурные превращения происходят при закалке, отпуске и какие свойства при этом приобретает быстрорежущая сталь?

11.5.7 Какие свойства быстрорежущих сталей ухудшает остаточный аустенит?

11.5.8 К какому классу по структуре относятся быстрорежущие стали в нормализованном состоянии?

11.5.9 Какова структура быстрорежущей стали после закалки и отпуска?

11.5.10 Почему сверла после термической обработки деформируются?

12 Лабораторная работа № 12

Структура, свойства и назначение порошковых сталей

12.1 Цель работы

Ознакомится с технологией изготовления порошковых материалов на основе железа, маркировкой, структурой, свойствами и областью их применения.

12.2 Основные сведения

Порошковая металлургия – это область техники, охватывающая совокупность методов изготовления металлических порошков и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента.

Быстрое развитие порошковой металлургии создало предпосылки для разработки широкого класса сплавов, которые используются как заменители традиционных литых и кованных сталей и сплавов, так и в качестве материалов со свойствами, которые не могут быть получены при использовании других технологических процессов.

Преимущества порошковой металлургии по сравнению с другими методами изготовления деталей машин и приборов состоят в следующем:

- получение изделий, которые невозможно изготовить никакими другими методами (фильтры, пористые подшипники, контакты из псевдосплавов на основе тугоплавких металлов и др.);

- большая экономия металлов, так как можно использовать для получения порошков отходы (например, стружку, окалину) и получать изделия без дальнейшей механической обработки (втулки, шестерни, кулачки и др.), что приводит к значительному снижению себестоимости материалов и готовой продукции.

- наряду с преимуществами порошковая металлургия имеет ряд недостатков: дорогостоящая оснастка (экономически выгодна при серийном и крупносерийном производстве), нестабильность свойств, трудности изготовления крупногабаритных и сложных по форме изделий.

Основными технологическими операциями изготовления порошковых изделий являются:

- 1) приготовление порошковой шихты заданного химического и гранулометрического составов;
- 2) формование (прессование) заготовок;
- 3) спекание спрессованных заготовок с целью придания им необходимой прочности и физико-механических свойств;
- 4) дополнительная обработка в зависимости от назначения изделий и предъявляемых к ним требований (механическая, термическая и др.).

Порошки металлов и неметаллов являются основными исходными материалами для изготовления порошковых изделий. Промышленностью выпускаются металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый и другие. Существуют различные методы получения металлических порошков: механическим размельчением (размолом), распылением металлов, восстановлением окалины или чистых окислов, карбонильный, электролизный и другие. В зависимости от химической природы металла и способа получения частицы порошка могут иметь различную форму: сферическую, каплеобразную, губчатую, тарельчатую и другие.

12.3 Прессование

Прессование (формование) металлических порошков и их смесей – операция, при которой из сыпучего порошка получают относительно прочные полуфабрикаты или заготовки, имеющие форму и размеры готовых изделий с учётом изменения размеров при спекании, а также припусков, связанных с какой-либо необходимой обработкой.

Среди методов формования порошковых полуфабрикатов и заготовок – однократное, многократное, горячее, динамическое, гидростатическое, взрывное и др.) – наибольшее распространение получил метод холодного прессования в закрытых пресс-формах. Этот метод является наиболее простым и легко поддаётся автоматизации.

Состоит он в засыпке шихты в пресс-форму, прессовании, непродолжительной выдержке под давлением и выталкивании прессовок из пресс-формы. Для получения достаточно прочных заготовок при холодном прессовании применяются значительные давления, которые в зависимости от заданной пористости и свойств порошковой шихты могут колебаться от 600 МПа до 1000 МПа.

Заготовки, полученные после прессования, как правило, имеют пористость 15-25 %, обладают низкими механическими свойствами. Высота прессовки обычно бывает в 3-5 раз меньше по сравнению с высотой засыпанного в матрицу порошка, что приводит к деформационной анизотропии свойств прессовок (механических, формы и размера пор, проницаемости).

Прессование в закрытых пресс-формах может быть односторонним и двусторонним. Одностороннее применяется при изготовлении изделий простой формы, у которых отношение длины или высоты к диаметру или толщине не превышает трёх.

12.4 Спекание

Холодное прессование не обеспечивает механической прочности прессовок. Для повышения механических свойств и придания порошковым заготовкам необходимых физико-механических свойств заготовки подвергают

спеканию. Спекание производят при температуре 0,7 - 0,9 от абсолютной температуры плавления металла основного компонента в многокомпонентной порошковой смеси. Спекание любой системы состоит из нагрева изделий до заданной температуры, изотермической выдержки при этой температуре и охлаждения до комнатной температуры. Одним из характерных проявлений процесса спекания является уменьшение размеров – «усадка» изделия.

Спекание порошковых заготовок производится в восстановительных или нейтральных атмосферах (вакууме, водороде, конвертированном газе и др.). Длительность выдержки при температуре спекания в зависимости от состава шихты может быть до нескольких часов (таблица 12.1).

Таблица 12.1 - Режимы изготовления конструкционных порошковых материалов

| Порошковый материал | Давление прессования, МПа | Режим спекания | | |
|--|---------------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| | | температура, °С | продолжительность выдержки, мин. | защитная среда при спекании |
| Железографит, 0,5 – 2 % С | 600 - 800 | 1050 – 1150 | 60 - 180 | Конвертированный газ, эндогаз и др. |
| Железографит, легированный медью, никелем, хромом, 0,5-1,5 % С | 700 - 900 | 1150 – 1200 | 60 - 180 | Конвертированный газ, водород, диссоциированный аммиак |

При спекании порошковых материалов происходит удаление газов и адсорбированных на поверхности частиц, возгонка различных примесей, снятие остаточных напряжений на контактных участках между частицами и в самих частицах, восстановление оксидных плёнок, растворение или коагуляция, перестройка поверхностного слоя в результате диффузии и переноса металла в виде пара с одних мест в другие, рекристаллизация и др.

В процессе спекания за счёт качественного и количественного изменения контактов, связанных с большой подвижностью атомов при повышенных температурах, увеличивается поверхность сцепления частиц, повышается плотность и прочность изделий, достигаются необходимые физико-химические свойства. В результате спекания предел прочности при растяжении железобетона увеличивается от 100 МПа до 300 МПа в зависимости от материала, режимов, пористости), твёрдость увеличивается от 60 НВ до 100 НВ (таблица 12.2).

Таблица 12.2 - Физико-механические свойства порошковых конструкционных материалов общего назначения без термической обработки

| Марка материала | Предел прочности при растяжении δ_B , МПа не менее | Относительное удлинение после разрыва, δ , %, не менее | Ударная вязкость, KCV, кДж/м ² , не менее | Твёрдость НВ |
|-----------------|---|---|--|--------------|
| СП10-1 | 100 | 6 | 200 | 50-70 |
| СП10-2 | 120 | 8 | 350 | 70-80 |
| СП10-3 | 150 | 12 | 500 | 80-90 |
| СП10-4 | 250 | 18 | 700 | 90-130 |
| СП30-1 | 120 | 6 | 200 | 50-70 |
| СП30-2 | 160 | 8 | 350 | 70-80 |
| СП30-3 | 200 | 12 | 500 | 80-90 |
| СП30-4 | 250 | 18 | 700 | 90-130 |
| СП70-1 | 120 | 5 | 150 | 50-70 |
| СП70-2 | 200 | 8 | 300 | 70-90 |
| СП70-3 | 280 | 10 | 400 | 90-110 |
| СП70-4 | 350 | 15 | 600 | 110-150 |
| СП30Д3-2 | 220 | 4 | 300 | 70-90 |
| СП30Д3-3 | 280 | 6 | 400 | 90-100 |
| СП30Д3-4 | 360 | 10 | 600 | 100-140 |
| СП70Д3-2 | 260 | 3 | 200 | 80-100 |
| СП70Д3-3 | 360 | 5 | 300 | 100-120 |
| СП70Д3-4 | 450 | 8 | 450 | 120-160 |
| СП30Д3П-2 | 300 | 3 | 200 | 90-110 |
| СП30Д3П-3 | 360 | 4 | 300 | 110-130 |
| СП30Д3П-4 | 450 | 6 | 400 | 130-180 |

12.5 Маркировка порошковых сталей

Марки порошковых сталей обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы «СП» указывают, что сталь получена методом порошковой металлургии. Число после букв «СП» показывает среднее содержание общего углерода в сотых долях процента (содержание свободного углерода при этом не превышает 0,2 %). Следующие за этим числом буквы обозначают легирующие элементы. Обозначение как в легированных сталях: Д – медь, Н – никель, С – кремний, Х – хром и т. д.

Цифра после дефиса указывает подгруппу плотности материала:

1 – пористость 26 – 16 %, плотность $\gamma = 6,0 - 6,6 \text{ г/см}^3$;

2 – пористость 15 - 10 %, плотность $\gamma = 6,7-7,1 \text{ г/см}^3$;

3 – пористость 9 – 12 %, плотность $\gamma = 7,2-7,7 \text{ г/см}^3$;

4 – пористость не более 2 %, плотность $\gamma \geq 7,7 \text{ г/см}^3$.

12.5 Микроструктура порошковых сталей

Свойства порошковых сталей зависят от их макро- и микроструктуры. Структурными составляющими порошковых материалов являются металлические фазы, образующие основу материала и неметаллические включения (например, графит, оксиды, карбиды, нитриды и др.). Металлическая основа порошковых сталей, как и литых сталей – ферритная, феррито-перлитная или перлитно-цементитная, согласно диаграмме Fe – Fe₃C.

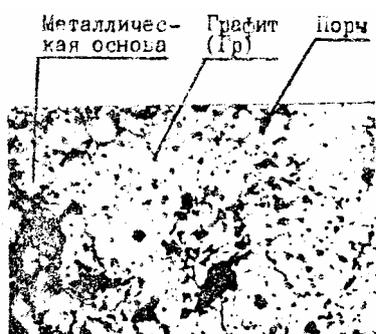
Пористость может рассматриваться как совокупность сообщающихся протяжённых пор – каналов, которые могут быть тупиковыми, изолированными, а также выходить на поверхность и сообщаться между собой. Для определения формы пор и их распределения приготавливают шлифы по различным направлениям по отношению направления прессования и изучают пористость на непротравленных или слегка протравленных шлифах.

При травлении железуграфитовых сплавов 4 %-ным раствором азотной кислоты в спирте выявляются цементитные и ферритные составляющие. Перлит окрашивается в коричневый цвет, феррит остаётся светлым. Для выявления цементита проводят травление пикратом натрия. При травлении образец часто просто погружают в травитель, однако, если материал пористый, травитель проникает в поры и трудно из них вымывается, что приводит к коррозии шлифа. Для материалов с более 20 % пор целесообразно применять метод втирания. Распределение пористости и включений рекомендуется исследовать при 150–200-кратном увеличении. При исследовании пористых материалов на микрошлифах трудно отличить поры от включений графита. В этом случае следует обращать внимание на разность очертания границ. Границы пор очерчены более чётко, в то время как включения графита не имеют резких очертаний. Поры легко отличить от включений графита при изменении фокусировки микроскопа, так как при приближении к окуляру выявляется дно поры.

Из анализа микроструктур (рисунки 12.1, 12.2) следует, что если до спекания образец представляет собой конгломерат поверхностно-деформированных частиц, разделённых между собой межчастичными границами и порами различной формы (рисунок 12.1), то после спекания частицы приобретают более равновесную форму, межчастичные границы утончаются, а их сплошность нарушается, что приводит к возникновению качественно новых контактных участков с характерными металлическими свойствами (рисунок 12.2).

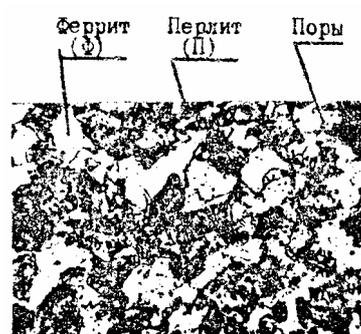
Порошковые стали характеризуются значительной химической и структурной неоднородностью. Это определяется тем, что спекание выполняется при температурах ниже температуры плавления; скорости диффузии элементов, входящих в состав сплава, не обеспечивают полного растворения (рисунок 12.3).

На нетравленных шлифах хорошо различимы некоторые металлические включения, например, меди (рисунок 12.4). Залегания видны в виде розово-жёлтых включений, расположенных на стыках частиц, прилегающих к порам. После травления крупные включения графита хорошо заметны.



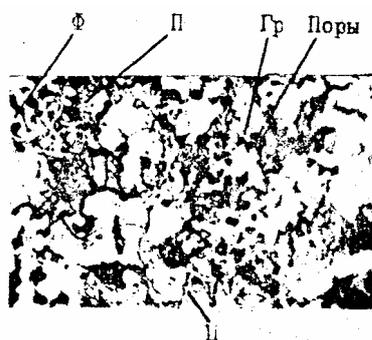
x340

Рисунок 12.1- Микроструктура спрессованного образца из шихты СП50



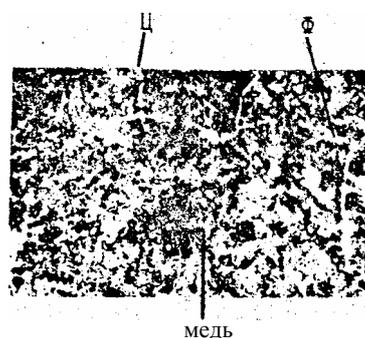
Феррит, перлит, свободный графит, поры x340

Рисунок 12.2 - Микроструктура спеченной стали СП50-1



Феррит, перлит, цементит, графит, поры x340

Рисунок 12.3 – Микроструктура спеченной стали СП100-2



Феррит, перлит, цементит, выделения меди, поры x450

Рисунок 12.4 - Микроструктура спечённой стали СП150Д2-1

12.6 Термическая обработка порошковых сталей

Для порошковых сталей возможно применение различных видов термической обработки. Наличие пористости в изделиях вызывает необходимость ряда условий: нагрев под закалку необходимо вести в защитных средах или вакууме время нагрева и время выдержки должно быть на 20-30 % больше, чем для литых сталей аналогичного состава, вследствие пониженной теплопроводности необходимы повышенные скорости охлаждения.

Принципиальное отличие закалённых порошковых сталей от беспористых состоит в том, что если твёрдость у порошковых сталей после закалки повышается (как в беспористых сталях соответствующего химического состава), то прочность либо повышается незначительно по отношению к спечённому состоянию, либо даже несколько понижается. В порошковых сталях при закалке на величину и распределение закалочных напряжений будут оказывать влияние поры, межчастичные границы, химическая неоднородность. Это влияние проявляется в крайне неравномерном распределении в изделиях внутренних напряжений, появлении их пиков в устьях пор и других дефектах структуры, что снижает вязкость и способствует хрупкому разрушению.

Повышение прочности в закалённых сталях происходит только после отпуска с температур, обеспечивающих снятие закалочных напряжений. Установлено, что максимальная прочность закалённых порошковых сталей достигается после проведения отпуска в интервале температур 200-450 °С.

Скорость охлаждения при термической обработке оказывает решающее влияние на структуру и свойства изделий, поэтому она строго устанавливается в зависимости от назначения обработки и требований, предъявляемых к термически обрабатываемым изделиям. При закалке в масле твёрдость ниже, чем при закалке в воде, но наблюдается повышение прочности. Объясняется это тем, что более «мягкая» закалка в масле снижает величину и неоднородность внутренних напряжений и обеспечивает более устойчивое состояние структуры по сравнению с закалкой в воде. Охлаждение в масле при закалке в большинстве случаев не обеспечивает получение мартенситной структуры, а соответственно высокой прочности и твёрдости.

Преимущество воды в качестве закалочной жидкости заключается в том, что она, обладая высокой охлаждающей способностью в интервале температур 650-550 °С, подавляет диффузионное превращение аустенита в области его минимальной устойчивости.

Это свойство воды является особенно ценным для порошковых сталей в связи с пониженной устойчивостью аустенита. Одновременно повышенная охлаждающая способность воды в области температур 300-100 °С не обеспечивает равномерного охлаждения, способствует появлению в закалённых изделиях внутренних трещин, а также трещин и «мягких» пятен на поверхности.

Температура нагрева при термической обработке оказывает большое влияние на структуру и свойства обрабатываемых порошковых сталей, поэтому она устанавливается в зависимости от состава стали, её пористости и назначения обработки. Температура нагрева под закалку для углеродистых и низколегированных сталей выше точки A_{c3} на 60-80 °С. Оптимальная температура отпуска связана также с пористостью, с увеличением пористости сталей температура отпуска повышается.

На кафедре МТМ ОГУ проведён большой объём работ по термической и химико-термической обработке порошковых сталей с нагревом в соляных ваннах.

Порошковые стали из-за наличия пор имеют повышенную склонность к коррозии по сравнению с литыми сталями. Снижение коррозии порошковых сталей достигается проведением термической обработки по предложенной нами технологии, а также за счёт введения операций пассивации и маслопропитки после термической обработки (таблица 12.3).

Таблица 12.3 - Технология термической обработки спечённых сталей

| № | Наименование операций | Среда | Температура, °С | Время, мин. |
|--|-----------------------------|--|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | Ванна нагрева деталей | Соляная ванна состава 75-80 % BaCl ₂ + 25-20 % NaCl | 760-950 | В зависимости от размеров и массы |
| 2 | Ванна закалки | Вода + 0,5 % NaCl или масло | | 1-2 |
| 3 | Участок сушки после закалки | Сжатый подогретый воздух | 70-100 | 3-6 |
| 4 | Ванна отпуска | 50 % KNO ₃ + 50 % NaNO ₂ | 160-500 | 9-18 |
| 5 | Первая отмывка | Вода + 1 % Na ₂ CO ₃ | 90-100 | 3-6 |
| 6 | Вторая отмывка | Вода | 90-100 | 3-6 |
| 7 | Пассивация | Вода + 4-5 % NaNO ₂ + 1-1,5 % Na ₂ CO ₃ | 90-100 | 3-6 |
| 8 | Сушка | | 100-120 | 3-6 |
| 9 | Ванна пропитки | Масло И-20 | 80-90 | 3-6 |
| Примечание - Время 3-6 минут в зависимости от размеров деталей | | | | |

Проведённые коррозионные испытания показали, что скорость коррозии порошковых изделий различной пористости при относительной влажности воздуха 90 % практически равна скорости коррозии аналогичных порошковых материалов после спекания. Установлено, что и после длительного хранения коррозионная стойкость термообработанных в соляных расплавах порошковых материалов сравнима с коррозией аналогичных материалов после спекания.

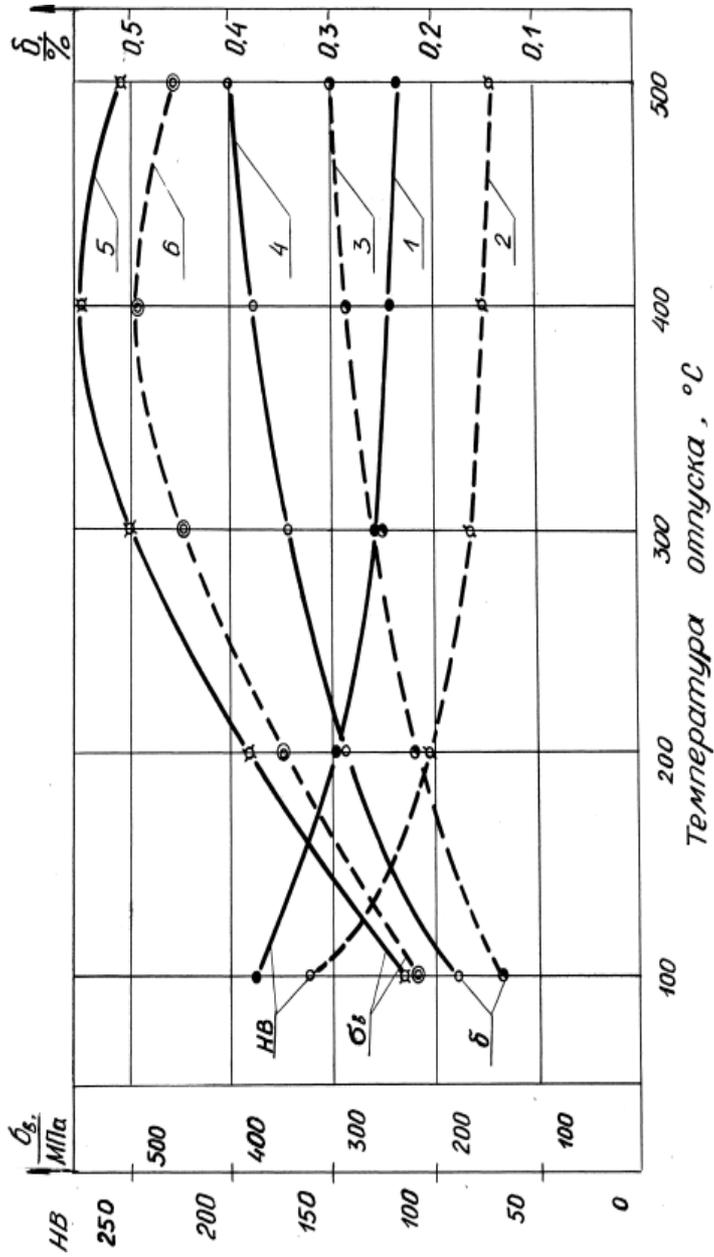
Сравнительные исследования различных защитных сред при термической обработке порошковых сталей позволяют сделать заключение, что при нагреве порошковых сталей в соляных ваннах свойства их выше и стабильнее, чем при применении газовых защитных атмосфер (рисунок 12.5).

Кроме того, время термической обработки с использованием соляных ванн в 4-6 раз меньше и операция выполнения термической обработки легко поддаётся автоматизации.

12.7 Порядок выполнения работы

12.7.1 Ознакомиться с образцами деталей, изготовленных методом порошковой металлургии.

12.7.2 По излому сделать выводы о равномерности спекания образца,



Сплошные линии - термообработка в соляных ваннах, штриховые линии - термообработка в среде водорода

Рисунок 12.5 – Влияние среды нагрева и температуры отпуска на механические свойства порошковой стали СП150Д2,5

наличии оплавления, окисления.

12.7.3 Просмотреть под микроскопом микрошлифы порошковых сталей в нетравленном виде и травленные.

12.7.4 Описать наличие пор, их форму, размеры, распределение по объёму изделия.

12.7.5 Определить и записать микроструктуру стали, металлические фазы, наличие неметаллических включений.

12.7.6 По маркировке определить химический состав порошковых сталей.

12.7.7 Определить массу и объём порошковой детали. Вычислить относительную плотность θ , % и пористость Π , %.

Относительная плотность определяется отношением плотности спечённого изделия к плотности компактного сплава

$$\theta = \frac{\gamma}{\gamma_k} \cdot 100 ,$$

где γ – плотность спрессованного или спечённого изделия, г/см³;

γ_k - плотность того же изделия в беспористом состоянии (компактного сплава), г/см³.

$$\Pi = 100 - \theta$$

12.7.8 Измерить твёрдость НВ спечённых образцов порошковой стали.

12.8 Содержание отчета

12.8.1 Цель работы.

12.8.2 Характеристика основных процессов порошковой металлургии.

12.8.3 Описание микроструктуры образцов порошковой стали.

12.8.4 Расчёт плотности и пористости спечённого образца.

12.8.5 Результаты измерения твёрдости.

12.8.6 Выводы.

12.9 Контрольные вопросы

12.9.1 Что такое порошковая металлургия?

12.9.2 Преимущества и недостатки метода порошковой металлургии.

12.9.3 Технологическая схема получения изделий методом порошковой металлургии.

12.9.4 Сущность процесса формообразования.

12.9.5 Методы формования заготовок.

12.9.6 Назначение процесса спекания. При каких температурах и в каких защитных средах ведётся спекание? Внешние признаки спекания.

12.9.7 Какова структура порошковых сталей?

12.9.8 Маркировка порошковых сталей.

12.9.9 Классификация и области применения порошковых материалов.

13 Лабораторная работа № 13

Твёрдые сплавы

13.1 Цель работы

Ознакомиться с технологией изготовления твердых сплавов, их свойствами, микроструктурой и применением.

13.2 Основные сведения

Порошковые твердые сплавы впервые появились в 1923-1925 годах (изготовитель - германская фирма "Осрам"), что позволило увеличить скорости резания в 5-10 раз. При эксплуатации инструмента выяснилось, что дорогостоящий вольфрам, используемый при изготовлении твердых сплавов, даёт гораздо больший эффект, чем, например, в составе быстрорежущей стали. Так, инструментом с одной и той же массой вольфрама, в случае применения твердосплавного инструмента можно обработать в 6 раз больше металла, чем инструментом из быстрорежущей стали.

В нашей стране промышленное производство твердых сплавов было начато на Московском электрозаводе в 1929 году выпуском вольфрамокобальтового твердого сплава марки ВК10 ("Победит").

Большая часть имеющихся твердых сплавов предназначена для обработки резанием различных материалов, в том числе чугунов, нержавеющей, жаропрочных и специальных сталей и сплавов. Важной областью применения твердых сплавов является их использование для волочения и калибрования проволоки, прутков, труб и т.д. Штамповый твердосплавный инструмент высокой прочности и износостойкости применяют для работы в условиях ударных нагрузок и для высокопроизводительного горного инструмента.

13.3 Классификация и маркировка твердых сплавов

Твердые сплавы представляют собой сплавы на основе карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC) и металлической связки (кобальт или никель). Твердые сплавы обычно содержат 70-97 % тугоплавких карбидов. Они обладают высокой твердостью (86-92 HRA), красностойкостью (800-1000 °C) и износостойкостью при меньшей прочности по сравнению с быстрорежущей сталью ($\sigma < 2500$ МПа).

Твердые сплавы условно делят на 4 группы:

1) однокарбидные вольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама и кобальта (WC – Co);

2) двухкарбидные титановольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама (основа), карбида титана и кобальта (WC - TiC - Co);

3) титанотанталовольфрамовые сплавы, в состав входят карбиды вольфрама (основа), титана, тантала и кобальт (WC – TiC – TaC – Co);

4) безвольфрамовые твёрдые сплавы, состоящие из карбида или карбонитрида титана, связки Ni или сплава Ni - Mo: TiC - Ni - Mo (сплавы ТН); TiC – TiN - Ni - Mo (сплавы КНТ).

Вольфрамовые сплавы обозначаются буквами ВК и цифрой, указывающей процентное содержание кобальта, например, сплав ВК6 содержит 6 % кобальта, остальное (94 %) - карбид вольфрама. К этой группе относятся сплавы ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25. Чем больше кобальта в твердом сплаве, тем выше прочность, но ниже твердость и износостойкость. Теплостойкость их - до 800 °С. Для сплава ВК8, например, предел прочности при изгибе $\sigma_u = 1717$ МПа, твердость 87,5 НРА, а для сплава ВК25: $\sigma_u = 2452$ МПа, 83 НРА.

Буква М в марке сплава обозначает, что сплав мелкозернистый (ВК6 М), буква К – крупнозернистый (ВК20 – К), буква В указывает, что изделия спекались в атмосфере водорода (ВК6-В). Сплавы с крупным зерном отличаются повышенной ударной вязкостью. Чем меньше зерно карбидной фазы, тем выше износостойкость твёрдого сплава.

Титановольфрамовые твердые сплавы обозначаются буквами ТК и цифрами, стоящими после каждой цифры, которые указывают конкретное содержание карбида титана и кобальта. Так, Т15К6 содержит 15 % карбида титана, 6 % кобальта, остальное - карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТК – до 900-1000 °С.

Титанотанталовольфрамовые сплавы обозначаются буквами ТТК и цифрами: ТТ7К12 - карбидов титана и тантала - 7 %, кобальта 12 %, остальное - карбид вольфрама. Теплостойкость сплавов группы ТТК- до 1000 °С.

Безвольфрамовые твердые сплавы отличаются высокой окислительной стойкостью, отсутствием дефицитного вольфрама, вдвое меньшей плотностью по сравнению со сплавами группы ВК, однако уступают им по прочности, ударной вязкости и теплопроводности.

Химический состав безвольфрамовых твёрдых сплавов:

карбидтитановые – 70-80 % TiC, 20-40 % Ni-Mo (сплавы ТН-20, ТН-30, ТН-40);

карбиднитридтитановые – 25-45 % TiC, 25-45 % TiN, 30-35 % Ni-Mo (КНТ16 и др.)

При обработке сталей используются сплавы группы ТК, а чугунов - группы ВК. Сплавы группы ТТК более универсальные, применяются как при обработке сталей, так и чугунов. Безвольфрамовые твердые сплавы рационально использовать при получистой и чистой обработке углеродистых сталей и цветных металлов.

13.4 Технология изготовления твердосплавных материалов

Твердосплавные материалы в основном изготавливают методом порошковой металлургии: холодным прессованием заготовок из смеси порошков карбидов и связующего металла с последующим спеканием прессовок, а также прессованием пористых заготовок из порошков карбидов с последующей пропиткой прессовок жидким связующим металлом. Применяется также метод изготовления изделий из пластифицированных твердосплавных заготовок. Наиболее широкое промышленное применение нашел метод холодного прессования смеси порошков карбидов и более легкоплавких связующих металлов с последующим спеканием заготовок.

Типовая технологическая схема производства спеченных твердых сплавов предусматривает получение порошков вольфрама, соответствующих карбидов и кобальта; приготовление смеси карбидов с кобальтом, прессование заготовок из смесей и последующее спекание (рисунок 13.1).

В качестве исходных материалов в производстве наиболее распространенных сплавов используют вольфрамовый ангидрид или вольфрамовую кислоту H_2WO_4 или же паравольфрамат аммония $5(\text{NH}_4)_2 \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, диоксид титана TiO_2 , оксид кобальта или никеля, оксид тантала или металлический тантал. Из вольфрамосодержащего сырья сначала получают порошок вольфрама.

13.4.1 Получение порошка вольфрама

Порошок вольфрама получают восстановлением вольфрамового ангидрида WO_3 : водородом или сажей. Вольфрам водородного восстановления обеспечивает лучшее качество твердых сплавов из-за повышенной чистоты, регулируемой и более однородной зернистости, чем вольфрам углеродного восстановления. Цвет порошка изменяется в зависимости от зернистости: от черного (мелкозернистый) до серого (крупнозернистый). Восстановление WO_3 водородом ведут, как правило, в две стадии: $\text{WO}_3 \rightarrow \text{WO}_2$ при 600-800 °С и $\text{WO}_2 \rightarrow \text{W}$ при 800-950 °С.

Для некоторых твердых сплавов специальных марок применяют одностадийное восстановление при 1200 °С. Режим восстановления (температура по зонам нагрева, скорость движения WO_3 через печное пространство, количество WO_3 в лодочке, расход, влажность и направление подачи водорода) определяет зернистость получаемого порошка вольфрама. Восстановление вольфрамового ангидрида сажей в графитотрубчатых печах проводят при 1400-1800 °С. Мелкозернистый порошок получают при 1400 °С и некотором избытке сажи в шихте, крупнозернистый - при 1800-2000 °С.

Образующиеся брикеты слегка спекшихся частиц вольфрама измельчают, чаще всего в шаровых мельницах, просеивают, после чего вольфрам направляют на карбидизацию.

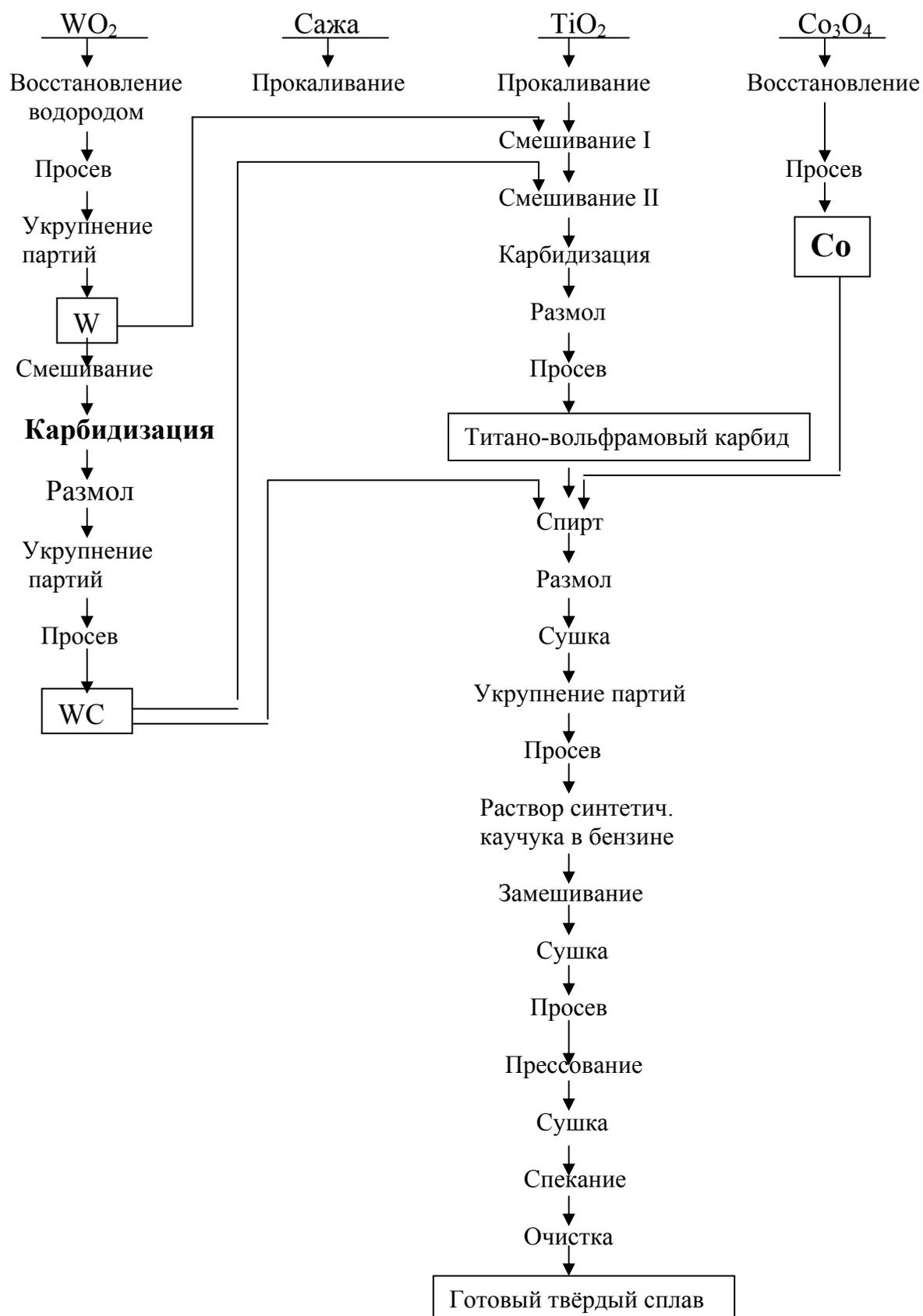


Рисунок 13.1 – Технологическая схема изготовления твёрдых сплавов типа ТВК

13.4.2 Получение порошка карбида вольфрама

Для науглероживания частиц вольфрама используют сажу и атмосферу углеродосодержащих газов: $W + C \rightarrow WC$.

Порошок вольфрама требуемой зернистости смешивают с сажей в смесителе из расчета ее содержания в смеси 6,1 %. Приготовленную для карбидизации смесь прокаливают в электропечах с графитовой трубой или алундовым муфелем в лодочках из графита (загрузка 8-12 кг), время пребывания лодочки в зоне нагрева печи составляет 1-2 часа.

Науглероживание идет тем быстрее, чем меньше размер частиц вольфрама и выше температура карбидизации. Так, мелкозернистые порошки вольфрама подвергают карбидизации при 1350-1450 °С, среднезернистые - при 1450-1500 °С и крупнозернистые - при 1600-1650 °С. Размеры частиц карбида могут превышать размеры исходных частиц вольфрама, быть одинаковыми с ними или существенно меньше их. Примеси натрия и кальция в вольфраме способствуют получению более мелких частиц карбида, а сера даже в количестве 0,05 % вызывает укрупнение зерен WC. Температура карбидизации, влияя на размер частиц, содержание в них примесей и степень несовершенства кристаллической решетки, изменяет пластичность WC и соответственно твердого сплава в целом.

После карбидизации спекшиеся и достаточно прочные брикеты WC размалывают (при высокотемпературной карбидизации брикеты сначала дробят на щековых дробилках) в шаровых вращающихся мельницах стальными шарами диаметром 15-50 мм в течение 2-3 часов. Порошок карбида вольфрама просеивают.

13.4.3 Получение двойного карбида TiC – WC

Твердый раствор готовят, совмещая его получение с одновременным образованием карбида титана либо карбида титана и карбида вольфрама. Чаще всего смесь для карбидизации состоит из диоксида титана, сажи и карбида вольфрама или вольфрама. Смесь $TiO_2 + C + WC$ или $TiO_2 + C + W$ рассчитывается на получение твердого раствора с соотношением $TiC:WC = 30:70$. В этом случае при спекании заготовок не происходит ни распада твердого раствора, ни дополнительного растворения в нем WC. Смешивание компонентов проводят в шаровых вращающихся мельницах в течение 14-24 ч, в том числе $TiO_2 + C$ - 4-8 ч, а после добавления WC или W - 6-18 часов. Карбидизацию проводят в графитотрубчатых печах при 2000-2300 °С в среде водорода. Время пребывания лодочки в печи 3,5-4 ч, в том числе в горячей зоне - около 0,5 часов. С повышением температуры и длительности прокалики смеси, а также количества примесей (металлов железной группы) зерна (Ti, W)C укрупняются. Спекшиеся брикеты светло-серого цвета измельчают в мельницах стальными шарами в течение 3-20 часов.

13.4.4 Получение тройного карбида TiC-TaC-WC

Смесь для карбидизации состоит из TiO_2 , сажи, WC и TaC. Режимы карбидизации и размола сложного карбида идентичны получению порошка двойного карбида TiC-WC.

13.4.5 Получение порошка кобальта

Порошок кобальта получают восстановлением оксидных соединений кобальта (Co_3O_4) водородом в трубчатых или муфельных электропечах при 520-570 °С в течение 4-5 часов. Мягкие, легко рассыпающиеся брикеты при растирании и просеве на вибросите превращаются в порошок кобальта с размером частиц 1-5 мкм.

13.4.6 Приготовление смесей

Приготовление твердосплавных смесей, состоящих из порошков карбидов и металлов, обычно сочетается с измельчением исходных порошков. В практике наиболее распространено механическое смешивание порошков в шаровых вращающихся мельницах. Шаровые мельницы, используемые при размоле, представляют собой стальной барабан, футерованный твердым сплавом. Размер твердосплавных шаров от 6 мм до 18 мм. Интенсивность размола повышается с увеличением диаметра шаровой мельницы, а также с уменьшением диаметра размольных шаров, что благоприятно сказывается на свойствах спеченных твердых сплавов. Длительность размола составляет 24, 48, а иногда и 120 часов. Такое смешивание (совместный размол) можно проводить в газовой атмосфере (воздух, инертный газ), в вакууме или жидкой среде (этиловый спирт, циклогексан в количестве 220 г/кг смеси сплавов ВК и 500 г/кг смеси при размоле сплавов на основе карбида титана). Мокрый размол предпочтителен, так как обеспечивает лучшее распределение кобальта между карбидными частицами. Условия размола (смешивания) порошков существенно влияют на конечные свойства спеченного твердого сплава.

В дальнейшем смесь процеживается через сито и подвергается сушке в вакуумных сушильных шкафах для удаления спирта при температуре 80 °С. Высушенные смеси протирают через сито.

13.4.7 Прессование

Для улучшения условий прессования, устранения расслоя и повышения прочности прессовок в твердосплавную смесь вводят пластификатор - раствор синтетического каучука в бензине. Эти растворы добавляют к порошковой смеси из расчета массовой доли добавки 1-1,25 % после испарения бензина. В зарубежной практике в качестве пластификаторов используются парафин, а также полиэтилен-гликоль, вводимые в смесь в процессе размола.

При прессовании в пресс-формах давление ограничивают значениями 130 МПа, так как при более высоких давлениях возникает опасность появления расслоенных трещин. Качество прессовок заметно улучшается с повышением выдержки под давлением, особенно для крупногабаритных изделий, однако излишне большие выдержки резко снижают производительность прессования. Твердосплавные заготовки затем подвергаются сушке при 150-200 °С.

13.4.8 Спекание

Твердосплавные заготовки спекаются исключительно в присутствии жидкой фазы. Это обуславливает необходимость применения высоких температур и достаточно длительных выдержек. Спекание заготовок твердых сплавов проводится, как правило, в две стадии.

На первой низкотемпературной стадии процесс спекания ведут в среде водорода при температурах до 900-1150 °С. На этой стадии нагрев до температуры до 300 °С ведут медленно во избежание растрескивания изделий; в процессе подъема температуры происходит удаление пластификатора. При 900-1150 °С происходит предварительное упрочнение изделий перед механической обработкой и окончательным спеканием.

Окончательное спекание в присутствии жидкой фазы проводят для вольфрамовых сплавов в среде водорода или вакуумных печах при температурах 1340-1480 °С в течение 3-5 часов. Температура их спекания зависит от содержания в сплаве кобальта (чем его больше, тем ниже температура изотермической выдержки), например, для сплава ВК15 - 1390 ± 10 °С; для сплава ВК8 - 1480 ± 10 °С. Окончательное спекание карбидотитановых, карбонитридо-титановых сплавов проводят только в вакууме. Температура спекания сплавов группы ТК практически не зависит от марки твердого сплава и составляет 1450-1480 °С. Сплавы ТТК спекают только в вакууме; сплав ТТ17К12-при 1490 ± 10 °С, ТТ20К9 - при 1450 °С.

13.5 Пример изготовления твердосплавных пластин в условиях цеха машиностроительного предприятия

Берут готовую смесь сплава ВК8 в количестве 4 кг, которую поставляют комбинаты твердых сплавов, добавляют пластификатор - раствор синтетического каучука в бензине Б70 (примерно 1 л 4 % раствора каучука), перемешивают, сушат, протирают через сито, затем прессуют в изделия необходимой формы. Спекание заготовок производится в печах с молибденовыми нагревателями в защитной среде водорода. Заготовки укладываются в графитовые лодочки, пересыпаются засыпкой из порошка белого электрокорунда.

Предварительное спекание ведут медленно: нагрев до 100 °С проводится ориентировочно со скоростью 100 град/ч, затем до 950 °С - со скоростью

200 град/ч. Нагрев до температуры окончательного спекания с выдержкой 1ч - со скоростью 300-400 град/ч.

В процессе спекания происходит диффузионное растворение карбида вольфрама в частицах твердого кобальта с образованием жидкой фазы, через которую происходит перекристаллизация карбида вольфрама. Жидкая фаза заполняет поры и капилляры и обеспечивает усадку. Объемная усадка при спекании составляет 25-30 %. Допустимая степень пористости спеченного твердого сплава 0,2 %.

После спекания изделия очищают от засыпки в пескоструйных аппаратах. От партии спеченных изделий отбирают необходимое количество образцов для проверки плотности, твердости НРА, макро- и микроструктуры, режущих (или буровых) свойств. Внешнему осмотру и контролю геометрических размеров подвергают каждое изделие. Предел прочности при поперечном изгибе определяют на специально приготовленных образцах, имеющих форму бруска прямоугольного сечения 5x5 мм, длиной 35 мм.

Для характеристики эксплуатационной пригодности твердых сплавов в соответствии с их назначением оценивают режущие (или буровые) свойства. Под режущими свойствами понимают стойкость резца, определяемую продолжительностью в минутах его работы до заданной величины износа при условиях испытания. Сравнивают стойкость испытываемых образцов со стойкостью образцов-эталонов для соответствующей марки твердого сплава. После проведения контроля свойств партии твердых сплавов их упаковывают, к ним прикладывают паспорт. Ниже приводится примерный паспорт на твердосплавные изделия.

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Марка сплава | ВК8 |
| Партия № | 8370 |
| Форма | 0137 |
| Количество | 74 шт |
| Плотность | 14,6 г/см ³ |
| Твёрдость | 88,5 НРА |
| Прочность при изгибе | 1630 МПа |
| Коэффициент стойкости | 1,33 |
| Микроструктура | годная |

13.6 Микроструктура твердых сплавов

Для исследования микроструктуры твердых сплавов необходимо приготовить микрошлифы. Шлифовку образцов проводят на алмазных кругах зернистостью 100 мкм и 40 мкм, полируют на алмазном круге зернистостью 3 мкм, затем проводят травление. Поскольку механическая полировка твердых сплавов процесс весьма трудоемкий и длительный применяют электролитическое полирование и травление (таблица 13.1). Электролитом является смесь ортофосфорной и серной кислот в соотношении 6:1.

Таблица 13.1 - Режимы электролитического полирования и травления твердых сплавов

| Сплав | Напряжение на ванне, В | Плотность тока, А/см ² | Время, мин |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------|
| Электрополирование | | | |
| ВК | 20 | 0,5 – 1,8 | 5 |
| ТК | 30 | 0,1 – 1,5 | 1 - 2 |
| Электролитическое травление | | | |
| ВК | 20 | 0,5 | 5 |
| ТК | 10 | 1 – 1,2 | 1 - 2 |

Толщину кобальтовых прослоек и характер распределения кобальтовой фазы определяют на нетравленном шлифе или после его травления в перекиси водорода.

Микроструктура вольфрамовых сплавов двухфазная: светлые угловатые и шпалообразные кристаллы WC и протравленные темные участки твердого раствора WC в кобальте (рисунок 13.2).



Рисунок 13.2 - Микроструктура твердого сплава BK8



Рисунок 13.3 – Микроструктура твердого сплава T15K6

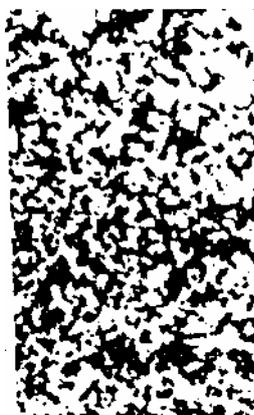


Рисунок 13.4 - Микроструктура твёрдого сплава KHT-16

Светлые зерна очень твердые, в режущем инструменте они служат элементарными режущими частицами. Твердый раствор WC в кобальте - менее твердый, но более вязкий, служит связкой (цементом).

Микроструктура титановольфрамовых сплавов T5K10, T15K6, T14K8, T5K12 - трёхфазная: WC, (Ti, W)C и кобальтовая фаза:

- 1) светлые зерна карбида вольфрама WC;
- 2) темная фаза располагается вокруг светлых зерен WC, состоит из кобальта, в котором растворено некоторое количество карбидов вольфрама и карбидов титана;
- 3) серая титановая фаза твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана (в карбиде титана может раствориться до 7 % карбида вольфрама), (рисунок 13.3).

Сплав T30K4 - двухфазный.

Структура сплавов ТТК идентична структуре сплавов группы ТК с той лишь разницей, что в состав сложного карбида входит также карбид тантала. Зёрна тройного карбида также имеют округлую форму, а цементирующая кобальтовая фаза представляет собой твердый раствор карбидов в кобальте.

Микроструктура сплава КНТ-16 приведена на рисунке 13.4.

13.7 Пайка твердосплавных пластин

Для крепления твердосплавных пластин к стальным державкам инструмента или деталям конструкций применяют пайку. В качестве припоя для указанных случаев используют медь, латунь, бронзу (приложение Г). Во избежание окисления изделия нагревают в защитной атмосфере. Материал припоя в виде фольги помещается в стыке между торцами соединяемых заготовок. Быстрый нагрев шва и прилегающих к нему участков до температуры, лишь немного превышающей температуру расплавления припоя, с одновременным приложением небольшого внешнего давления, и последующее быстрое охлаждение позволяют избежать растекания припоя и получить хорошую прочность соединения.

Наиболее экономичными являются способы пайки с электроконтактным нагревом (на машинах контактной сварки) и с индукционным нагревом (на установках ТВЧ), (приложение Д). Для предохранения поверхности, на которую напаивается твердосплавная пластина, рекомендуется применять флюсы.

13.8 Литые и наплавочные твердые сплавы

Широко применяют для изготовления, защиты и восстановления изношенных деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному абразивному или эрозионному износу, особенно в металлургии, нефтяной, угольной промышленности и т.п.

В настоящее время производятся литые твердые сплавы:

1) типа сормайта на основе железа, содержащие 1,5 - 5,5 % С; 27,0 - 32,0 % Сг; 1,0 - 4,0 % Si; 1,0 - 2,0 % Mn; 1,0 - 5,0 % Ni; 0,1 - 1,0 % Mo и 0,2 - 0,4 % W;

2) типа стеллита на основе кобальта, содержащие 0,8 - 3,0 % С; 25,0 - 35,0 % Сг; 0,5 - 3,0 % Si; до 2,5 % Mn, 4,0 - 18,0 % W; 2,0 - 2,5 % Ni; 0,1 - 0,3 % V; 0,1 - 0,3 % В и до 3,0 % Fe;

3) типа колмоноя на основе никеля, содержащие 0,5 - 1,0 % С; 15,0 - 40,0 % Сг; 2,0 - 4,0 % Si; 1,5 - 5,0 % В и до 5,0 % Fe.

Точным литьем из них получают малогабаритные износостойкие фасонные детали.

Для использования в качестве наплавов такие сплавы выпускают в виде литых прутков диаметром 3-12 мм и длиной 300-500 мм (исходные материалы плавят в индукционных тигельных печах и расплав заливают в формы) или в виде гранулированных порошков с размерами частиц 0,02-1,40 мм (литье с распылением и последующим дроблением или размолом получаемого порошка).

Защиту и восстановление изношенных деталей осуществляют любым из видов ручной дуговой, автоматической дуговой под слоем флюса, вибродуговой, электрошлаковой дуговой, электроискровой и ацетилено-кислородной наплавкой, плазменным напылением.

Износостойкими наплавочными материалами также являются литые или спеченные карбиды, выпускаемые в виде трубчатых электродов, зёрен (например, литые карбиды вольфрама – смесь WC и W₂C – релит) и спеченных прутков, стержней, лент; порошкообразные смеси металлов, ферросплавов с графитом, карбидами, боридами и другими элементами и химическими соединениями (сталинит, смеси KBX, BX и др.), засыпаемые или запрессовываемые в стальную оболочку, а также прокатываемые в ленту. Например, состав порошковой смеси KBX: 60-75 % феррохрома, 5-6 % карбида хрома, 5-6 % бориды хрома, 6-7 % графита, остальное - порошок железа, флюс, жидкое стекло.

Слои, образующиеся при наплавке, имеют структуру карбидного класса и обладают высокими механическими и эксплуатационными свойствами: твердость более 50 HRC, высокая износостойкость.

13.9 Порядок выполнения работы

13.9.1 Ознакомьтесь с классификацией твердых сплавов и процессом их изготовления.

13.9.2 Рассмотрите микроструктуру твердых сплавов.

13.9.3 Измерьте твердость HRA твердосплавных пластин.

13.9.4 Определите, согласно индивидуальному заданию (приложение А), потребную марку сплава, вид инструмента, материал державки, способ пайки (приложения Б-Д).

13.10 Содержание отчёта

13.10.1 Цель работы.

13.10.2 Краткие сведения о классификации, маркировке, свойствах и применении твердых сплавов.

13.10.3 Схема микроструктуры сплава с указанием фаз.

13.10.4 Техпроцесс получения твердосплавных изделий.

13.10.5 Ответ на индивидуальное задание.

13.10.6 Выводы.

13.11 Контрольные вопросы

13.11.1 Как подразделяются твердые сплавы?

13.11.2 Характерные особенности твердых сплавов.

13.11.3 Состав сплавов ВК8, Т15К6, КНТ-16.

13.11.4 От чего зависят прочность и твердость твердых сплавов?

13.11.5 Какие твердые сплавы используют для чернового точения чугуна?

13.11.6 Какие твердые сплавы используют для точения стали?

13.11.7 Что такое релит и где он применяется?

Приложение А

Индивидуальные задания

1. Подобрать инструмент для обработки чугуновой отливки (черновое точение), определить материал припоя, способ пайки пластины к инструменту при крупносерийном производстве.
2. Подобрать инструмент для обработки чугуновой детали (чистовое точение), определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при серийном производстве инструмента.
3. Подобрать инструмент для обработки детали из нержавеющей стали (черновое точение), определить материал припоя, способ пайки пластины к инструменту при единичном производстве данного инструмента.
4. Подобрать инструмент для обработки детали из неметаллического материала (чистовое фрезерование), определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при единичном производстве данного инструмента.
5. Подобрать инструмент для обработки детали из закаленной стали (чистовое точение), определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при массовом производстве данного инструмента.
6. Подобрать инструмент для чистовой обработки детали из бронзы, определить материал припоя и способ пайки пластины при массовом производстве.
7. Подобрать инструмент для обработки детали из титанового сплава (черновое точение), определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при единичном производстве.
8. Подобрать материал зенкера для зенкерования детали из стали 40Х, определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при единичном производстве.
9. Подобрать инструмент для черновой обработки детали из жаропрочной стали, определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при массовом производстве.
10. Подобрать инструмент для бурения горных пород, определить материал припоя и способ пайки пластины к инструменту при единичном производстве.
11. Подобрать материал волокна для волочения стали. Описать физико-механические свойства выбранного материала.
12. Подобрать материал для штампового инструмента, работающего при больших ударных нагрузках. Выбор обосновать, описать физико-механические свойства выбранного материала.
13. Подобрать инструмент для механической обработки поковок из стали 40Х, определить материал припоя и способ крепления пластины к инструменту при единичном производстве инструмента.

14. Подобрать материал для штампа, работающего при средних нагрузках. Привести физико-механические свойства сплава.

15. Какие наплавочные сплавы применяются для повышения абразивной износостойкости, их состав, методы нанесения?

16. Что такое релит и где он применяется?

**Приложение Б
(справочное)**

Таблица Б.1 - Основные марки твёрдых сплавов, их химический состав, свойства и применение

| Группа твёрдых сплавов | Марка твёрдого сплава | Массовая доля, % | | | | Физико-механические свойства | | | Условия применения |
|------------------------|-----------------------|------------------|-----|-----|----|------------------------------|---|---------------|--|
| | | WC | TiC | TaC | Co | σ_u , МПа | плотность, γ , г/см ³ | твёрдость HRA | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Вольфрамовая (ВК) | ВК3 | 97 | - | - | 3 | 1373 | 15-15,3 | 89 | Точение, чистовая обточка, фрезерование твердых чугунов, алюминиевых сплавов с большим содержанием кремния, сильно абразивных пластмасс, керамики и других неметаллических материалов. Допускаются высокие скорости резания. |
| | ВК5 | 94 | - | - | 6 | 1619 | 14,6-15 | 88,5 | Черновая обработка чугунов, закаленных сталей, жаропрочных сплавов, цветных металлов, неметаллических материалов, где требуются повышенные прочностные характеристики твердого сплава. |
| | ВК8 | 92 | - | - | 8 | 1717 | 14,4-14,8 | 87,5 | Черновая обработка чугуна, малоуглеродистых сталей, сталей низкой прочности, цветных металлов, использование для волочения и калибровки. |
| | ВК10 | 90 | - | - | 10 | 1913 | 14,2-14,6 | 87 | Волочение сталей, для изготовления быстроизнашивающихся деталей. |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------|-------|----|----|---|----|------|-----------|------|--|
| Вольфрамовая (ВК) | ВК15 | 85 | - | - | 15 | 1962 | 13,9-14,1 | 86 | Быстроизнашивающиеся детали и инструменты, требующие особо высокой вязкости: бурение крепких горных пород, волочение и калибровка стали, штамповый инструмент. |
| | ВК25 | 75 | - | - | 25 | 2452 | 12,9-13,2 | 83 | Штамповый инструмент, работающий при больших ударных нагрузках, быстроизнашивающиеся детали |
| Титановольфрамовая (ТК) | T15K6 | 79 | 15 | - | 6 | 1180 | 11,1-11,6 | 90 | Получерновое точение, получистовое и чистовое фрезерование, рассверливание, зенкерование, развертывание и др. подобные виды обработки углеродистых и легированных сталей. Повышенные скорости резания. |
| | T5K10 | 85 | 6 | - | 9 | 1470 | 12,4-13,1 | 88,5 | Черновое точение, фрезерование. строгание и другие виды обработки углеродистых и легированных сталей. Скорость резания средняя или низкая. |
| | T30K4 | 66 | 30 | - | 4 | 980 | 9,5-9,8 | 92 | Чистовое безударное точение, сверление закалённых углеродистых сталей. Высокие скорости резания. |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|----------|--|---|---|----|------|-----------|------|---|
| Титано-тантало-вольфрамовая (ТТК) | ТТ17К12 | 81 | 4 | 3 | 12 | 1650 | 13,0-13,3 | 87 | Тяжёлое черновое точение стальных поковок, штамповок, отливок. Все виды строгания и тяжёлого чернового фрезерования углеродистых и легированных сталей. Скорости резания низкие. |
| Титано-тантало-вольфрамовая (ТТК) | ТТ10К8-Б | 82 | 3 | 7 | 8 | 1450 | 13,5-13,8 | 89 | Черновая и получистовая обработка некоторых марок труднообрабатываемых материалов, нержавеющей сталей, жаропрочных сталей и сплавов, в том числе титановых. Скорость резания средняя. |
| Безвольфрамовая (КНТ, ТН) | КНТ-16 | 74 % Ti (C, N), 19,5 % Ni, 6,5 % Mo | | | | 1100 | 5,8 | 89 | Получистовое и чистовое точение фрезерование углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и сплавов. Изготовление деталей, клапанов. |
| | ТН-20 | 79 % TiC, 15 % Ni, 6 % Mo | | | | 1000 | 5,4-5,8 | 89,5 | |

Приложение В (справочное)

Марки сталей для корпусов некоторых видов паяного твёрдосплавного инструмента

| Вид инструмента | Марки стали |
|--|------------------|
| Резцы, ножи к сборным фрезам и др. | 35ХГСА, 45, 40Х |
| Отрезные резцы | 35ХГСА, 9ХС, 40Х |
| Концевой инструмент: сверла, зенкеры, развертки | 35ХГСА, 9ХС, ХВГ |
| Фрезы | 35ХГСА, 9ХФ |
| Дисковые пилы для обработки древесных материалов | 50ХФА, 9ХФ |

Приложение Г (справочное)

Применяемые припои в зависимости от вида инструмента и условий его работы

| Характеристика работы инструмента | Применяемые припои при пайке | | | |
|--|------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | индукционным способом | электроконтактным способом | погружением | при печном способе с газовой средой |
| Тяжелонагруженный инструмент для скоростных режимов резания (резцы, фрезы) | ЛМцЖ57-1,5-0,75 | | - | медь |
| Инструмент для обычной работы (резцы, свёрла, зенкеры, фрезы) | ЛМцЖ57-1,5-0,75 | Латунь Л62, Л68 | Латунь Л62, Л68 | медь |
| Инструмент, работающий в лёгких условиях (развёртки, резьбовые резцы) для чистовой обработки | Латунь Л62, Л68 | Латунь Л62, Л68 | Латунь Л62, Л68 | медь |
| Буровой инструмент | Латунь Л62 | Латунь Л62 | Латунь Л62 | медь |

Приложение Д (справочное)

Характеристика способов пайки твердосплавных пластин к корпусу инструмента

| Способ | Характеристика способа | |
|--|--|--|
| | преимущества | недостатки |
| В пламени газовой горелки | Не требует специального оборудования, применим в условиях мелкосерийного производства. | Малопроизводителен, приводит к окислению поверхности, требует специальных навыков. |
| Погружением в соляную ванну | Не требует применения флюсов, удобен при пайке многолезвийного инструмента. | Вреден для обслуживающего персонала, мал коэффициент использования расходуемой энергии, происходит нагрев всего инструмента. |
| На машинах для контактной сварки | Незначительный расход энергии, удобство наблюдения за процессом, производителен. | Пригоден для пайки инструмента с постоянным сечением, т.е. менее универсален. |
| С индукционным нагревом на установках ТВЧ | Производителен, удобен для инструментов различной формы и размеров, удобен для наблюдения за процессом и не связан с вредным влиянием температуры. | Необходимость специального оборудования и оснастки. |
| В печах с восстановительной газовой средой | Не происходит окисления спаиваемых поверхностей и припоя, обеспечивает повышенную прочность спая, возможна одновременная пайка партии инструмента. | Невозможность прижатия пластин после расплавления припоя, что усложняет процесс подготовки инструмента пайке, происходит нагрев всего инструмента. |

14 Лабораторная работа № 14

Медь и её сплавы

14.1 Цель работы

14.1.1 Ознакомиться со свойствами, составом, классификацией, маркировкой и областями применения меди и ее сплавов.

14.1.2 Ознакомиться с диаграммой состояния Cu-Zn.

14.1.3 Изучить микроструктуру сплавов меди.

14.2 Общие сведения

Все металлы, за исключением железа и его сплавов, называются цветными. В промышленности чаще всего используются: медь, алюминий, магний, титан, олово, свинец, никель, кобальт, вольфрам и др. Все они дороги и дефицитны, по возможности их заменяют сталями и чугунами, однако в ряде случаев они незаменимы.

Рассмотрим один из важнейших цветных металлов - медь, сплавы меди, их свойства и применение.

14.3 Медь

14.3.1 Свойства меди

Чистая медь - металл красноватого цвета. Температура плавления $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность $\gamma = 8960\text{ кг/м}^3$, имеет кристаллическую ГЦК решетку с периодом $a = 0,316\text{ н.м}$.

Медь имеет ряд ценных свойств: высокую электрическую проводимость (удельное электросопротивление меди при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно $1,72 \cdot 10^6\text{ Ом}\cdot\text{см}$); высокую теплопроводность ($386,7\text{ Вт/(м}\cdot\text{град.)}$); высокую пластичность ($\delta = 40\text{-}50\%$); высокую сопротивляемость коррозии.

Медь легко обрабатывается давлением, но плохо резанием, в частности, шлифованием, имеет невысокие литейные свойства из-за большой усадки. Медь плохо сваривается, легко подвергается пайке. В зависимости от чистоты, различают следующие марки меди: М00(99,99 % Cu); М0 (99,95 % Cu); М1(99,9 % Cu); М2(99,7 % Cu); М3(99,5 % Cu); М4(99,0 % Cu).

Вредными примесями являются Вi, О, S, Рb и др. Примеси и наклёп резко снижают электропроводность меди.

Примеси в меди свинца и висмута образуют легкоплавкие эвтектики, затрудняют горячую обработку, вызывают красноломкость. Содержание в сплаве Рb и Вi должно быть меньше 0,2 % (температура плавления эвтектики $270\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Сера и кислород с медью также образуют химические соединения в виде: Cu_2O , Cu_2S (температура плавления эвтектики Cu_2O - 1065 °С, Cu_2S - 1067 °С). Содержание O и S в соединениях менее 1 % не вызывает красноломкости.

Нагрев меди в среде, содержащей кислород и водород, приводит к разрывам и трещинам ("водородная болезнь"): $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$.

Вредные примеси снижают механические свойства меди, но в большей степени они зависят от ее состояния. В отожженном виде медь весьма пластична: $\delta = 50 \%$, $\psi = 75 \%$, $\sigma_B = 220$ МПа. В деформированном состоянии пластичность меди понижается, твердость и прочность повышаются: $\delta = 1 - 3 \%$, $\varphi = 35 \%$, 120 НВ, $\sigma_B = 450$ МПа.

Микроструктура меди показана на рисунке 14.1.



Однородные полиэдрические зерна, включения двойников

Рисунок 14.1 – Микроструктура деформированной и отожженной меди

14.3.2 Сплавы на основе меди

В технике наряду с чистой медью широко применяются ее сплавы. Используются две основные группы сплавов на основе меди:

- 1) латуни - двойные или многокомпонентные медные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом;
- 2) бронзы - сплавы меди с алюминием, оловом, свинцом, кремнием, цинком и другими элементами, в которых цинк не является основным легирующим элементом.

Бронзы по сравнению с латунями, обладают лучшими механическими, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью.

14.3.3 Латуни

Диаграмма состояния Cu-Zn в зависимости от температуры приведена на рисунке 14.2.

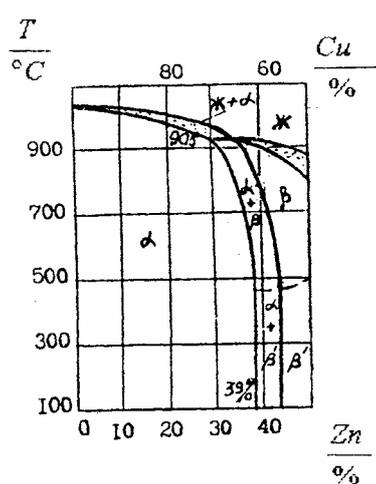


Рисунок 14.2 – Диаграмма состояния медь - цинк

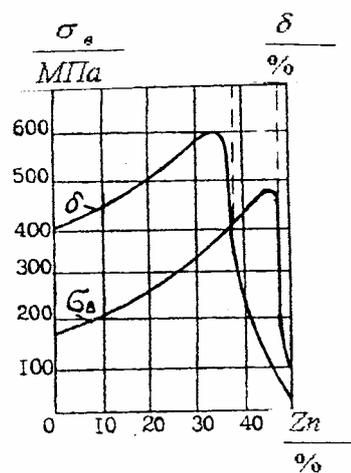


Рисунок 14.3 – Влияние цинка на механические свойства латуни

Система медь-цинк относится к случаю ограниченной растворимости компонентов в твёрдом состоянии. Сложная, на первый взгляд, диаграмма построена из пяти простых диаграмм третьего рода с перитектическим превращением. Компоненты образуют шесть различных твердых растворов электронного типа, указываемых в порядке увеличения содержания цинка α , β , γ , δ , ϵ и η - твердыми растворами, где:

α - фаза - твердый раствор цинка в меди с кристаллической решеткой меди ГЦК;

β - фаза - твердый упорядоченный раствор на основе электронного соединения CuZn (3/2);

γ - фаза - твердый с ОЦК решеткой раствор Cu_5Zn_8 (21/13);

ϵ - фаза - твердый раствор CuZn_3 (7/4).

Строение и свойства двойной латуни изменяются в зависимости от концентрации или процентного содержания цинка (рисунок 14.3).

При содержании цинка до 39 % в сплаве образуется твёрдый раствор цинка в меди: α - фаза, которая обладает хорошей пластичностью и увеличивается с повышением концентрации цинка. Максимальную пластичность сплав имеет при содержании цинка около 37 %.

При увеличении содержания цинка от 37 % до 45 % избыток его начинает реагировать с медью, образуя соединение CuZn . В результате в сплавах появляется новая β - фаза (примерно до 45 % цинка). При этом пластичность падает, а прочность возрастает. Образуется двухфазная структура $\alpha + \beta$. Двухфазные $\alpha + \beta$ латуни имеют низкую пластичность и обрабатываются лишь в горячем состоянии.

При большем содержании цинка (свыше 45 %) полностью исчезает α - фаза и латунь становится опять однофазной, имея структуру β - твердого рас-

твора. Переход латуни в однофазное состояние вызывает резкое снижение прочности. В технике используются сплавы с содержанием цинка до 45 %.

По химическому составу латуни разделяют на двойные (простые), легированные только цинком, и многокомпонентные, которые помимо цинка содержат в качестве легирующих элементов алюминий (А), свинец (С), олово (О), никель (Н), железо (Ж), марганец (Мц) и другие элементы.

Легирующие элементы многокомпонентных латуней придают им специальные свойства. Установлено, что количество цинка, соответствующее 1 % вводимого элемента, называют коэффициентом эквивалентности или коэффициентом замены. 1 % Si \approx 11 % Zn; 1 % Al \approx 5 % Zn; 1 % Sn \approx 2 % Zn; 1 % Fe \approx 0,9 % Zn; 1 % Ni \approx (-1,3 % Zn).

По технологическому признаку латуни подразделяют на деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные.

Литейные латуни обладают хорошими литейными свойствами, малой склонностью к ликвации, хорошей жидкотекучестью и др. Микроструктура латуни Л62 показана на рисунке 14.4.



Однородные зёрна α - твёрдого раствора, видны двойники

Рисунок 14.4 - Микроструктура α - латуни Л62 после холодной пластической деформации и отжига при 500 °С



Светлые зёрна - α фаза, тёмное поле β - фаза

Рисунок 14.5 – Микроструктура $\alpha + \beta$ - латуни (типа Л69)

Деформируемые латуни, в зависимости от структуры, подразделяются на однофазные (α - латуни) и двухфазные ($\alpha + \beta'$ - латуни).

Структура α - латуни похожа на структуру меди, а структура $\alpha + \beta'$ - латуней состоит из светлой составляющей α - фазы и темной β - фазы.

Двойные деформируемые латуни маркируют буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах: Л96, Л90, Л85, Л69. На рисунке 14.5 показана микроструктура латуни Л69.

Для обозначения многокомпонентных латуней, обрабатываемых давлением, за буквой Л ставятся другие буквы, указывающие на наличие легирующих элементов и цифры, указывающие на количественное содержание меди и легирующих элементов. Например, латунь марки ЛА77-2 имеет следующий состав: 77 % меди, 2 % алюминия, остальное - цинк.

Литейные латуни (ЛЦ40С, ЛЦ30А3, ЛЦ40АЖ) содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением; от последних литейные латуни отличает, как правило, большее легирование цинком и другими элементами.

В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его название. Например, латунь ЛЦ40Мц3А содержит 40 % цинка, 3 % марганца, около 1 % алюминия, остальное - медь.

Для повышения механических свойств, улучшения обрабатываемости, коррозионной стойкости двухфазные латуни легируют свинцом, оловом, железом, алюминием, кремнием и другими элементами. Такие латуни называют специальными. Например, олово повышает прочность латуни и сопротивление коррозии в морской воде, поэтому оловянные латуни называют еще морскими (адмиралтейскими).

Все двойные латуни хорошо обрабатываются давлением как в холодном, так и горячем состоянии (за исключением латуни Л60, которая обрабатывается в горячем состоянии).

Механические свойства и назначение латуней указаны в таблице 14.1.

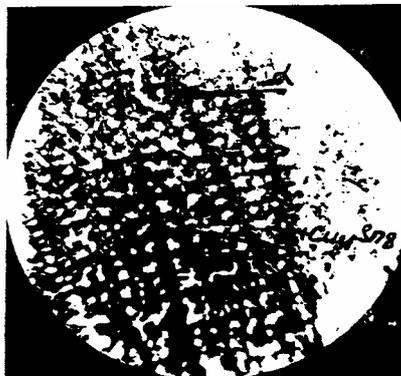
14.3.4 Бронзы

Бронзы подразделяются на деформируемые и литейные. Деформируемые бронзы маркируют буквами Бр, за которыми следуют буквы, обозначающие название легирующих элементов, а затем цифры, показывающие их содержание в процентах. Например, бронза БрОЦС4-2-2,5 содержит 4 % олова, 4 % цинка, 2,5 % свинца, остальное - медь.

Таблица 14.1 - Латуни

| Сплавы | Дополнительные легирующие элементы | Механические свойства | | | Назначение |
|--|------------------------------------|-----------------------|--------------|---------|--|
| | | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % | НВ | |
| Обрабатываемые давлением в холодном и горячем состоянии Пластичные (двойные латуни) | | | | | |
| Л96: (том-пак) мягкая | - | 216-255 | 45-55 | 49-59 | Трубки, радиаторные листы, ленты |
| твердая | - | 392-470 | 1-3 | 127-142 | |
| Л80: (полу-томпак) мягкая | - | 290-340 | 45-55 | 52-64 | Тонкостенные трубы, лента, проволочная сетка для целлюлозной бумажной промышленности и др. |
| твердая | - | 550-670 | 2-10 | 137-147 | |
| Л68: мягкая | - | 290-340 | 50-60 | 54-64 | Полосы, листы, ленты, прутки, трубы, проволока, фольга, профили различных размеров |
| твердая | - | 510-725 | 3-12 | 142-152 | |
| Обрабатываемые давлением в горячем состоянии (многокомпонентные латуни) | | | | | |
| 1 С высокими антифрикционными свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием | | | | | |
| ЛС59-1: мягкая | Pb-0,8-1,9 | 290-412 | 36-50 | 68-79 | Крепежные изделия, зубчатые колеса, втулки |
| твердая | | 590-690 | 4-6 | 147-157 | |
| 2 Повышенной прочности и коррозионной стойкости | | | | | |
| ЛАН59-3-2: мягкая | Al-2,5-3,5; Ni -2-3 | 440-540 | 40-50 | 108-118 | Морское судостроение, химическое машиностроение в электромашинах |
| твердая | | 635-735 | 7-11 | 172-182 | |
| Литейные латуни | | | | | |
| ЛЦ40С | Pb-1 | 345-390 | - | 78 | Арматура, втулки, сепараторы для подшипников качения. |
| Примечание - Полуфабрикаты латуней поставляются в мягком (отожженном) состоянии; полутвердом состоянии (степень обжатия 10-30 %); твердом состоянии (степень обжатия 30-50 %). | | | | | |

В марках литейных бронз содержание каждого легирующего элемента ставится сразу же после буквы, обозначающей его название. Например, бронза БрО10Ц2 содержит 10 % олова, 2 % цинка, остальное - медь. Структуры бронз показаны на рисунках 14.6, 14.7.



Основы α - твёрдый раствор олова и цинка в меди
Включения – эвтектоид ($\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$)

Рисунок 14.6 – Микроструктура литой оловянной бронзы БрО10Ц2



По границам дендритов (светлые кристаллы) видны
включения эвтектоида $\alpha + \gamma$

Рисунок 14.7 – Микроструктура литой алюминиевой бронзы БрАЖ9-2

Алюминиевые бронзы (двух- и многокомпонентные) имеют большое распространение в машиностроении. Система медь-алюминий (рисунок 14.8) относится к случаю ограниченной растворимости. Алюминий растворяется в меди с образованием твердого раствора.

Алюминиевые бронзы при содержании до 3,8 % алюминия после деформации и отжига имеют однофазную структуру, при большем содержании алюминия - двухфазную структуру.

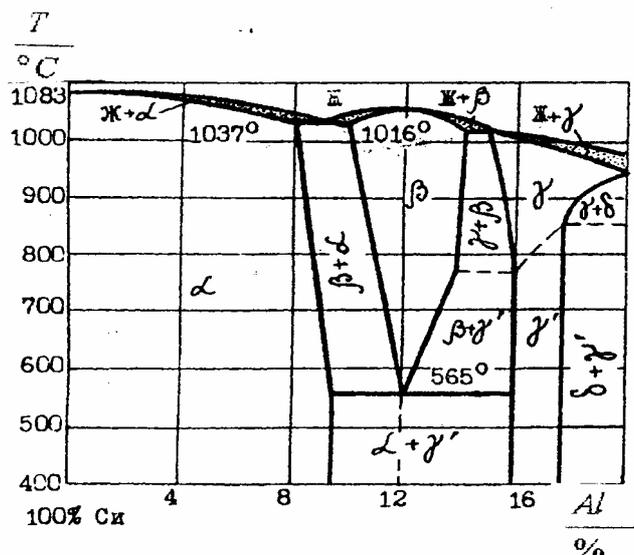


Рисунок 14.8 – Диаграмма состояний медь – алюминий

Последние могут подвергаться закалке и отпуску. Алюминиевые однофазные бронзы (БрА5, БрА7) отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Предназначены для упругих элементов; для деталей, работающих в морской воде. По коррозионной стойкости превосходят латуни и оловянные бронзы. Вместе с тем эти сплавы трудно поддаются пайке, не устойчивы в условиях перегретого пара. Недостатки двойных алюминиевых бронз существенно устраняются при легировании железом, никелем, марганцем.

Железо значительно улучшает механические свойства бронз, измельчая зерно; оно способствует задержке рекристаллизации. Алюминиевожелезные бронзы (БрАЖ9-4) для улучшения прочности характеристик подвергают старению при 250 °С в течение 2 – 3 часов после их закалки при 950 °С. Они применяются для изготовления шестерен, червяков, втулок, седел клапанов и др., в основном в авиационной промышленности.

Кремнистые бронзы содержат до 3 % кремния, никель или марганец (БрКН1-3, БрКМц3-1). Эти сплавы отличаются высокими механическими, упругими и антифрикционными свойствами, при этом не теряют своей пластичности при низких и высоких температурах. Применяются для антифрикционных деталей, например, пружин, подшипников, в морском судостроении и пр. Выпускают в виде ленты, полос, прутков, проволоки.

Бронзы, в зависимости от содержания основных элементов, подразделяются на алюминиевые, кремнистые, бериллиевые, оловянные и свинцовистые бронзы.

Оловянные бронзы. Деформируемые бронзы изготавливают в виде прутков, лент и проволоки в нагартованном (твердом) и отожженном (мягком) состоянии (таблица 14.2).

Таблица 14.2 - Механические свойства и назначение деформируемых и литейных оловянных бронз

| Бронза | Механические свойства | | | Назначение |
|--|-----------------------|---------------|--------------------|---|
| | σ_B , МПа | δ , % | НВ | |
| Деформируемые бронзы | | | | |
| БрОФ 6,5-0,4: мягкая твердая | 295-440 685-785 | 60-70 7-12 | 68,5-82 | Пружины, детали машин и подшипников, сетки для целлюлозно-бумажной промышленности |
| БрОЦ 4-3: мягкая твердая | 295-390 490-590 | 35-45 3-8 | 59-68,5 157-167 | Ленты, полосы прутки, применяемые в электротехнике, для токоведущих пружин, контактов, пружинной проволоки и химической промышленности, точной механике |
| БрОЦС 4-2,5: мягкая твердая | 295-345 540-640 | 35-45 2-4 | 48-68,5 147-176 | Для втулок и подшипников в автотракторной и автомобильной промышленности |
| *) Литейные бронзы | | | | |
| БрОЗЦ12С5 | 175(205) | 8(5) | 59(59) | Для литья антифрикционных деталей, для арматуры, работающей в воде и водяном пару |
| БрО5Ц5С5 | 145(175) | 6(4) | 59(59) | Для литья антифрикционных деталей |
| *) В скобках указаны свойства латуней при литье в кокиль, а без скобок при литье в песчаную форму. | | | | |

Они содержат до 6-7 % олова. Деформируемые оловянные бронзы в равновесном состоянии имеют однофазную структуру – твердого раствора. Деформируемые бронзы характеризуются хорошей пластичностью и более высокой прочностью, чем литейные.

14.4 Порядок выполнения работы

14.4.1 Ознакомиться с внешним видом сплавов, измерить твердость.

14.4.2 Просмотреть и изучить микроструктуру сплавов меди при увеличениях 200 и 500 раз.

14.4.3 Зарисовать микроструктуры исследуемых сплавов.

14.4.4 Под каждой зарисованной микроструктурой дать подпись с указанием наименования металла или сплава, марки, ориентировочного химического состава, обработки, наименования включений и структуры, увеличения.

14.4.5 Изобразить диаграммы состояний Cu-Zn, провести на них вертикальные линии, соответствующие рассматриваемым сплавам, дать описание процессов превращений, происходящих при охлаждении.

14.5 Содержание отчета

14.5.1 Цель работы.

14.5.2 Описать внешний вид и признаки цветных металлов.

14.5.3 Зарисовать и описать микроструктуры сплавов.

14.5.4 Дать пояснения по диаграмме Cu-Zn.

14.5.5 Выводы.

14.6 Контрольные вопросы

14.6.1 Назовите основные цветные металлы.

14.6.2 Свойства технической меди.

14.6.3 Латунни и их применение, марки латуней, маркировка латуней.

14.6.4 Состав и структура латуней.

14.6.5 Назначение бронзы, маркировка бронзы.

14.6.6 Расшифруйте сплав Л90.

14.6.7 Расшифруйте сплав БрСЦ10-10.

14.6.8 Чем отличается бронза марки БрО5Ц5С5 от БрСЦ-5-5-5?

15 Лабораторная работа № 15

Алюминий и его сплавы *)

15.1 Цель работы

15.1.1 Ознакомление с составом, классификацией, маркировкой, термической обработкой, свойствами и областями применения алюминиевых сплавов.

15.1.2 Экспериментальное изучение влияния термической обработки на свойства дуралюмина.

15.2 Общие сведения

15.2.1 Свойства алюминия

Алюминий кристаллизуется в гранцентрированной кубической решетке. Аллотропических превращений не имеет. ГЦК решетка предопределяет высокий (с учетом, что температура плавления всего 660 °С) комплекс механических свойств алюминия, как при комнатной, так и при повышенных температурах. Алюминий относится к группе легких металлов. Его плотность – 2700 кг/м³. Он обладает высокой электрической проводимостью и теплопроводностью.

Механические свойства алюминия характеризуются низкими значениями абсолютной прочности и твердости и высокой пластичностью.

Алюминий обладает высокой химической активностью и одновременно исключительной коррозионной стойкостью. На воздухе он покрывается тонкой, но очень прочной беспористой оксидной пленкой Al₂O₃, надежно защищающей металл от дальнейшего окисления.

Чем алюминий чище, тем выше его коррозионная стойкость, пластичность, электро- и теплопроводность и тем ниже прочность и твердость. Так, литой алюминий высокой чистоты марки А955 (суммарное количество примесей 0,005 %) имеет предел прочности при растяжении 50 МПа, относительное удлинение 45 %, твердость по Бринеллю 15 НВ. У алюминия марки А0 (сумма примесей 1%) те же характеристики соответственно равны 90 МПа, 30 % и 25 НВ.

Из-за низких прочностных свойств алюминий применяют лишь для ненагруженных деталей и элементов конструкций, когда от материала требуется легкость, коррозионная стойкость, пластичность, свариваемость.

15.2.2 Сплавы алюминия

К числу достоинств сплавов на основе алюминия относятся: малая

*) Составлено при участии Синюхина А.В. и Репях В.С.

плотность, высокие удельные механические свойства, высокая коррозионная

стойкость, широкий температурный диапазон работы, начиная с температуры жидкого водорода, высокая вязкость разрушения, свариваемость, легкость обработки режущим инструментом.

В настоящее время алюминиевые сплавы являются важнейшим конструкционным материалом летательных аппаратов.

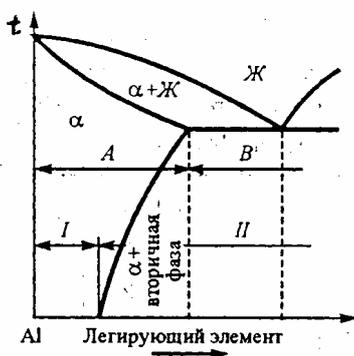
В качестве основных легирующих элементов в алюминиевых сплавах применяют Cu, Mg, Si, Mn, Zn, несколько реже используют Ni, Li, Ti, Be, Zr и др.

Промышленные алюминиевые сплавы базируются на ряде многокомпонентных систем: Al-Si, Al-Mg, Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li, Al-Mg-Si, Al-Be-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Mg-Si-Cu и др.

Для физико-химического взаимодействия алюминия с легирующими элементами характерна низкая (за исключением Zn), зависящая от температуры, растворимость их в алюминии. В условиях равновесия сплавы состоят из низколегированного твердого раствора и интерметаллидных фаз типа: CuAl_2 (тета--фаза), $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ (Т-фаза), Al_2CuMg (S-фаза), Mg_2Si , Al_3Mg_2 и других.

15.2.3 Классификация и маркировка алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления (деформируемые, литейные, порошковые), способности к упрочнению термической обработкой (упрочняемые и неупрочняемые) и свойствам (жаропрочные, ковочные, высокопрочные, сплавы для заклепок и др.). Основой для разделения сплавов по технологии изготовления и способности к термической обработке являются диаграммы состояния. На рисунке 15.1 представлена схема подобного разделения для двойных и тройных сплавов.



A – деформируемые сплавы; B – литейные сплавы;

I, II – сплавы неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой

Рисунок 15.1 – Классификация сплавов

В настоящее время принята сложная буквенная и буквенно-цифровая система маркировки алюминиевых сплавов.

Деформируемые сплавы обозначают буквами:

Д – дуралюмины, например Д1, Д16, Д19 (приложение А, таблица А.5);

АД – деформируемый алюминий, например АД0, АД1, АД33 (приложение А, таблица А.4);

АК – ковочные алюминиевые сплавы, например АК4-1, АК6, АК8 (приложение А, таблицы А.9, А.10);

АМг – сплавы алюминия с магнием, например АМг5, АМг6 (приложение А, таблица А.1);

АМц – сплавы алюминия с марганцем, (приложение А, таблица А.2);

АВ – авиали, например АВ (приложение А, таблица А.4);

В – высокопрочные сплавы, например В93, В95, В96 (приложение А, таблица А.3).

Литейные сплавы обозначают буквами АЛ, например, АЛ2, АЛ27, АЛ33 (приложение Б, таблицы Б.1 – Б.3);

Цифры, следующие за буквами, могут означать систему легирования (в дуралюминах, в высокопрочных сплавах, в деформируемом алюминии). В сплавах АМг цифры указывают на содержание магния в процентах. Дополнительная цифра в обозначениях сплавов типа АК4-1, АК6-1 и др. обозначает, что новый сплав является близкой модификацией старого АК4, АК6 и т.д.

В настоящее время вводится единая четырехцифровая система маркировки сплавов. Единица, стоящая в начале марки, характеризует основу сплава – алюминий. Вторая цифра обозначает основной легирующий элемент (или группу элементов). Третья или третья и вторая цифры – те же, что и в старой маркировке. Нечетное число или ноль, стоящие на четвертом месте, обозначают деформируемый сплав, цифра 7 соответствует проволочному сплаву, 9 – спеченному сплаву. У литейных сплавов четвертая цифра четная. Опытные сплавы обозначаются цифрой 0, ставящейся в начале марки, перед единицей (приложение А, таблицы А.6, А.8). При такой маркировке сплав Д16, например, обозначается 1150.

Чистота сплавов по контролируемым примесям (Fe, Si и др.) обозначается буквами: «пч» (повышенной чистоты), «ч» (чистый), «оч» (очень чистый), стоящими после марки сплава.

Состояние деформируемых сплавов, отражающее термическое и термомеханическое воздействие, имеет следующие обозначения: М – мягкий, отожженный; Т – закаленный и естественно состаренный; Т1 – закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность; Н – нагартованный (деформация 1 – 7 %); Н1 или НН – усиленно нагартованный; ТН – закаленный, естественно состаренный и нагартованный (приложение А, таблицы А.1-А.10).

Состояние литейных сплавов, отражающее особенности технологии литейного производства и виды термической обработки, имеет обозначения: З – литье в песчаные формы; В – литье по выплавляемым моделям; О – литье

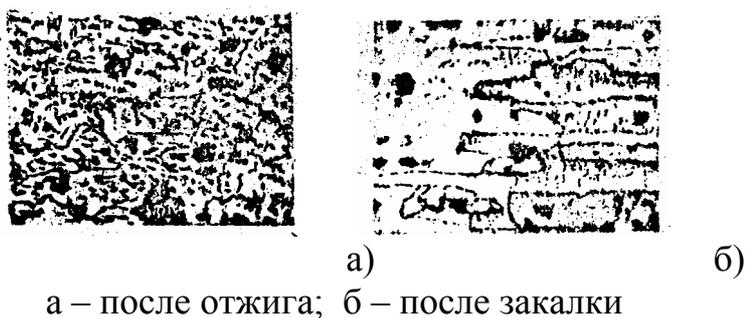
в оболочковые формы; К – литье в кокили; Д – литье под давлением; М – модифицированное литье; Т1 – старение; Т2 – отжиг; Т4 – закалка; Т5 – закалка и частичное старение; Т6 – закалка и полное старение; Т7 – закалка и стабилизирующий отпуск; Т8 – закалка и смягчающий отпуск (в приложении А таблицы А.11 – А.13).

Марки ряда деформируемых и литейных алюминиевых сплавов, их состав, свойства и примеры возможного применения приведены в приложении.

15.2.4 Термическая обработка дуралюминов

Дуралюминами называют сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавками марганца. Большинство промышленных дуралюминов содержат около 4 % Cu, до 2,5 % Mg, менее 1 % Mn. Кроме того, в сплавах присутствуют небольшие количества постоянных примесей – Fe и Si (приложение А, таблица А.5).

Структура дуралюминов в отожженном состоянии представлена твердым раствором – альфа легирующих элементов в Al и включениями интерметаллидных фаз: CuAl_2 (тета-фаза), CuMgAl_2 (S-фаза), Cu_2AlFe (N-фаза), Mg_2Si и других (рисунок 15.2 а).



а – после отжига; б – после закалки

Рисунок 15.2 – Микроструктура сплава Д16

Упрочнение дуралюминов достигают закалкой и последующим старением. Для обоснования выбора температуры закалки, а также для объяснения превращений, протекающих в сплавах при термообработке, можно в первом приближении использовать диаграмму состояния Al-Cu (рисунок 15.3), поскольку в дуралюминах медь является главным легирующим элементом.

Из диаграммы видно, что растворимость меди в алюминии зависит от температуры и меняется от 0,5 % при 20 °С до 5,7 % при температуре эвтектики (548 °С). Следовательно, существует предпосылка возможности перевода двухфазных (состоящих из альфа-фазы и вторичных кристаллов CuAl_2) сплавов с концентрацией Cu до 5,7 % нагревом в однофазное состояние (альфа-твердый раствор) и последующей фиксации его быстрым охлаждением.

При нагреве дуралюминов до температур закалки (500 ± 5 °С) Mg_2Si -, тета- и S-фазы растворяются в алюминии. После охлаждения в холодной

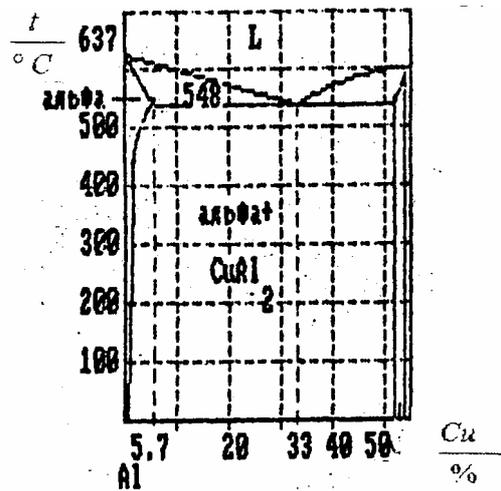


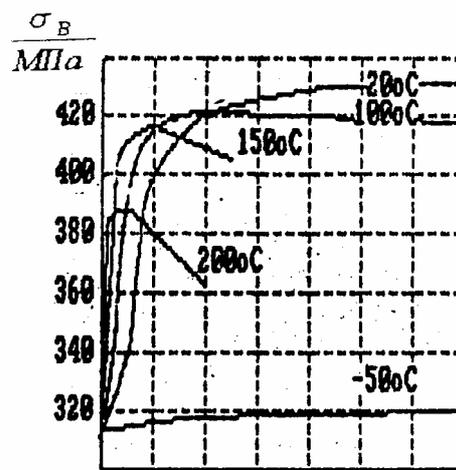
Рисунок 15.3 - Диаграмма состояния алюминий-медь

воде структура закаленного сплава состоит из твердого раствора альфа с включениями малорастворимой при нагревании N-фазы (рисунок 15.3).

Свежезакаленные дуралюмины имеют невысокую твердость и прочность, но повышенную пластичность, лишь несколько сниженную по сравнению с отожженным состоянием.

Пересыщенный по отношению к равновесному (отожженному) состоянию сплав является метастабильным и при длительном пребывании в области нормальных температур (естественном старении) или при сравнительно непродолжительном нагреве (искусственном старении) изменяет свое состояние, приближаясь к равновесному.

Превращения при старении приводят к значительным изменениям свойств сплава: возрастают прочность и твердость при заметном понижении пластичности (рисунок 15.4).



Время, сут.

Рисунок 15.4 – Изменение прочности сплавов системы Al-Cu в зависимости от температуры и продолжительности старения

В процессе старения, на его начальной стадии, атомы легирующих элементов (в сплавах системы Al-Cu - атомы меди, расположенные в свежезакаленном сплаве случайно, собираются в определенных местах кристаллической решетки, образуя участки с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, называемые зоны Гинье - Престона (зоны Г - П).

В результате естественного старения образуются зоны толщиной от 0,5 до 1 мкм и протяженностью от 3 до 6 нм (их называют зоны Г-П-1), вызывая упрочнение сплава.

Если естественно состаренный сплав подвергнуть кратковременному нагреву до температуры 250-270 °С, то зоны Г - П растворятся и сплав возвратится в свежезакаленное состояние с характерными для него свойствами (низкой твердостью и высокой пластичностью). Это явление получило название возврат.

После возврата сплав может быть вновь упрочнен при естественном или искусственном старении.

При искусственном старении зоны Г - П укрупняются, достигая от 1 до 4 нм по толщине и от 20 до 30 нм по протяженности (зоны Г-П-2). Концентрация меди в них приближается к стехиометрическому соотношению в соединении $CuAl_2$.

Дальнейшее развитие процессов искусственного старения приводит к преобразованию зон Г - П - 2 в частицы промежуточной тета-фазы, имеющих такой же химический состав, как тета-фаза, но с отличной от нее кристаллической решеткой, когерентно связанной с α -твердым раствором. При дальнейшем повышении температуры тета-фаза обособливается от твердого раствора и превращается в стабильную коагулирующую тета-фазу.

Таким образом, различают два вида старения: зонное, связанное с образованием только зон Г - П, и фазовое, при котором возникают метастабильные и стабильные фазы.

Скорость искусственного старения сильно зависит от температуры (рисунки 15.4): повышение температуры ускоряет процесс. Однако в сплавах системы Al-Cu с 3-5 % меди получаемая при этом максимальная прочность тем ниже, чем выше температура старения. Наибольшее упрочнение получают при естественном старении в результате образования зон Г-П-1.

Следует отметить, что не всегда максимум прочности достигается естественным старением, более того, во многих высокопрочных сплавах естественное старение не протекает вообще. В более сложных по химическому составу сплавах наибольшая прочность наблюдается при искусственном старении в результате образования метастабильных фаз (см. приложение А, таблица А.4, сплавы на основе системы Al-Mg-Si).

15.3 Порядок выполнения работы

15.3.1 Ознакомьтесь со всеми разделами методического руководства. Ответьте на включенные в руководство вопросы.

15.3.2 Проведите закалку 6 образцов дуралюмина (температура закалки 500 ± 5 °С, продолжительность пребывания образцов в печи – 30 мин, охлаждение в воде). Определите твердость HRB образцов до и после закалки.

15.3.3 Проведите искусственное старение закаленных образцов при температуре 250 °С в течение 1, 3, 5, 10, 15 и 30 мин. Измерьте твердость HRB состаренных образцов.

15.3.4 Проведите термическую обработку "возврат" естественно состаренных образцов, температура нагрева 250°С, время 3 мин. Измерьте твердость HRB образцов до и после возврата.

15.3.5 Рассмотрите микроструктуры отожженных, закаленных, искусственно и естественно состаренных образцов.

15.4 Содержание отчета

15.4.1 Цель работы.

15.4.2 Краткие сведения о составе, свойствах, маркировке, термической обработке и применении алюминиевых сплавов.

15.4.3 Краткое описание процессов, протекающих при термической обработке алюминиевых сплавов.

15.4.4 Результаты экспериментальной работы (марка сплава, режимы термообработки, твердость образцов до и после каждого вида термообработки, график изменения твердости сплава в зависимости от времени старения).

15.4.5 Рисунки рассмотренных микроструктур образцов.

15.4.6 Выводы по экспериментальной работе.

Приложение А (справочное)

Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой

Таблица А.1 - Сплавы системы А1-Mg (магналии)

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|---|--|------|--------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| | Mg | Mn | другие элем. | | σ_B МПа | $\sigma_{0,2}$ МПа | δ , % |
| АМг2М | 2,3 | 0.4 | | М: 450-470 °С | 200 | 100 | 23 |
| АМг2П | 2,3 | 0,4 | | | 250 | 200 | 10 |
| АМг3М | 3,5 | 0,45 | 0,65 Si | М: 450-470 °С | 220 | 110 | 20 |
| АМг5М | 5,3 | 0,55 | 0,06 Ti | | 300 | 150 | 20 |
| АМг6М | 6,3 | 0,65 | 0,06 Ti | | 340 | 170 | 20 |
| АМг6Н | 6,3 | 0,65 | 0,06 Ti | | 390 | 300 | 10 |
| АМг6НН | 6,3 | 0,65 | 0,06 Ti | | 430 | 350 | 8 |
| Применение: Бензо- и маслопроводы; сварные баки и сварные конструкции средней прочности; заклепки. | | | | | | | |

Таблица А.2 - Сплавы системы А1-Mn

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|---|--|---------|--------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| | Mg | Mn | другие элем. | | σ_B МПа | $\sigma_{0,2}$ МПа | δ , % |
| АМцМ | 0,05 | 1,0-1,6 | | М: 450-470 °С | 130 | 50 | 23 |
| АМцП | 0,05 | 1,0-1,6 | | | 160 | 130 | 10 |
| Применение: Декоративная отделка кабин самолетов; изготовление ёмкостей, бензо- и маслопроводов. | | | | | | | |

Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

Таблица А.3 – Сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|--|-----|-----|--------------------|--|-------------------------|---------------------------|---------|
| | Cu | σ | η | др угие | | σ _в , МПа | σ _{0,2} , МПа | δ, % |
| В93Т1 | 1,0 | 1,9 | 7,0 | 0,3 Fe | Для всех сплавов: закалка 460-470 °С холодная или горячая вода; старение 140 °С, 16 ч. | 500 | 470 | 8 |
| В95Т1 | 1,7 | 2,3 | 6,0 | 0,4 Mn, 1,18 Cr | | 600 | 560 | 8 |
| В96ЦТ1 | 2,3 | 2,7 | 8,5 | 0,15 Zr | | 670 | 640 | 7 |

Применение: Крупногабаритные штамповки и прессованные полуфабрикаты для высоконагруженных деталей самолетов (фитинги, кронштейны, рычаги и др.).

Таблица А.4 - Сплавы системы Al-Mg-Si

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|--|-----|-----|---------|---|-------------------------|---------------------------|---------|
| | Cu | σ | η | др | | σ _в , МПа | σ _{0,2} , МПа | δ, % |
| АВТ | 0,4 | 0,7 | 0,9 | | Для всех сплавов: Т: 520-540 °С Т1: закалка 520 - 540 °С; ста- рение 165 °С, 12-15 ч. | 260 | 200 | 15 |
| АВТ1 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | | | 380 | 300 | 12 |
| АД31Т | | 0,7 | 0,5 | | | 170 | 90 | 22 |
| АД31Т1 | | 0,7 | 0,5 | | | 240 | 190 | 12 |
| АД33Т | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 0,25 Cr | | 250 | 180 | 14 |
| АД33Т1 | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 0,25 Cr | | 340 | 280 | 11 |
| АД35Т | | 1,1 | 1,0 | 0,7 Mn | | 270 | 200 | 12 |
| АД35Т1 | | 1,1 | 1,0 | 0,7 Mn | | 360 | 290 | 11 |

Примечание - Свойства авиалей приведены для прессованных профилей.
Применение: Лонжероны лопастей вертолетов; декоративные де-

Таблица А.5 – Сплавы системы Al-Cu-Mg с добавлением Mn
(дуралюмины)

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|--|----------|--------|---------------------|---|-----------------------|------------------------|----------------|
| | Cu | σ | η | др угие | | $\sigma_{в,}$ МПа | $\sigma_{0,2,}$ МПа | $\delta,$ % |
| Д1Т | 4,3 | 0,6 | 0,6 | | зак. (505 ± 5) °С | 400 | 240 | 20 |
| Д16Т | 4,3 | 1,5 | 0,6 | | зак. (500 ± 5) °С | 440 | 330 | 18 |
| Д19Т | 4,0 | 2,0 | 0,75 | | зак. (505 ± 5) °С | 425 | 310 | 18 |
| ВАД1Т | 4,1 | 2,5 | 0,6 | 0,06 Ti, 0,15 Zr | зак. (505 ± 5) °С | при t = 20 °С | | |
| | | | | | | 430 | 280 | 22 |
| | | | | | | при t = 300 °С | | |
| | | | | | | 170 | 140 | 12 |
| ВД17Т1 | 3,0 | 2,2 | 0,55 | | зак. (500 ± 5) °С, стар. (170 ± 5) °С, 16ч. | при t = 20 °С | | |
| | | | | | | 500 | 330 | 13 |
| | | | | | | при t = 300 °С | | |
| | | | | | | 170 | 110 | 21 |
| Д18Т | 2,6 | 0,35 | | | зак. (500 ± 5) °С, | 300 | | 24 |
| В65Т | 4,2 | 0,25 | 0,4 | | зак. (500 ± 5) °С | 400 | | 20 |

Примечание - Свойства сплавов Д1, Д16, Д19 и ВАД1 даны для листовых материалов, сплава ВД17 – для прессованной полосы.

Применение:

Д1 – лопасти воздушных винтов; заклёпки; конструкционный материал планеров самолётов.

Д16 – различные детали конструкций, обшивки клёпанных конструкций, длительно работающих при температуре 80 °С, ограниченное время при 150 °С.

Д19 – то же, что Д16, для работы при 150-200 °С.

ВАД1 – сварные конструкции, работающие кратковременно (до 2 – 3 ч.) при температурах 250-300 °С и длительно при 175 °С.

ВД17 – лопасти компрессора, крыльчатки, диски двигателей, работающие при температурах 200-300 °С.

Д18 и В65 – сплавы для изготовления заклёпок.

Таблица А.6 – Сплавы на основе систем Al-Cu-Li и Al-Mg-Li

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|-------|--|-----|-----|-----------------|---|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Cu | Mg | Li | другие элем. | | $\sigma_{в}$, МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| ВАД23 | 5,3 | | 1,2 | 0,3 Mn, 0,15 Cd | T1: закалка (520±5) °С, старение по режимам NN: | | | |
| | | | | | 1:140 °С, 18-24 ч | 480 | 370 | 10 |
| | | | | | 2:160 °С, 10-16 ч | 550 | 480 | 3 |
| | | | | | 3:210 °С, 15-20 ч | 490 | 400 | 4 |
| 01420 | | 5,5 | 2,1 | 0,12 Zr | T1: закалка 450 °С, старение 120 °С, 12 – 14 ч. | 430 | 265 | 10 |

Применение: ВАД23 – листовые детали, обладающие пониженной массой, для работы при температурах 150-175 °С. Термообработка по режиму 1 предназначена для изделий, работающих при комнатной температуре, по режиму 2 – для изделий, кратковременно работающих при высоких температурах, по режиму 3 – для изделий, длительно работающих при высоких температурах. 01420 – детали с повышенным модулем упругости и высокой удельной прочностью.

Таблица А.7 – Сплавы системы Al-Be-Mg

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|-------|--|----|--------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Be | Mg | другие элем. | | $\sigma_{в}$, МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| АБМ | 30 | 6 | | | 435 | 235 | 14 |

Применение: Изделия, в которых определяющим конструкционным фактором является жёсткость, например, оболочковые конструкции; детали горизонтального оперения; кили; элероны и др.

Таблица А.8 – Сплавы системы Al-Cu-Mn

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|--|-----|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|-----|
| | Cu | Mg | другие элементы | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | , % |
| Д20Т1 | 6,5 | 0,6 | 0,15 Ti | Т1: закалка (535±5) °С, старение 170-190 °С, 12-18 ч | 420 | 300 | 11 |
| 1201Т1 | 6,3 | 0,3 | 0,06 Ti 0,17Zr 0,1V | то же | 430 | 300 | 13 |

Применение: Д20 – изделия, длительно работающие при температуре до 300 °С (диски и лопатки компрессоров, крыльчатки, воздухозаборники, поршни и др.); Д20 и 1201 – сварные конструкции, работающие при температурах от минус 250 до плюс 250 °С.

Таблица А.9 – Сплавы на основе системы Al-Mg-Si-Cu

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|-------|--|------|-----|-----|--|-----------------------|----------------------|-----|
| | Cu | Mg | Si | Mn | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | , % |
| АК6Т1 | 2,2 | 0,65 | 0,9 | 0,6 | Закалка (520±5) °С, старение 160 - 170 °С, 12-15 ч | 400 | 290 | 12 |
| АК8Т1 | 4,3 | 0,6 | 0,9 | 0,7 | закалка (505±5) °С, старение 160 - 170 °С, 12-15 ч | 480 | 380 | 9 |

Применение: АК9 – крупногабаритные штамповки для несущих подмоторных рам, фитинги, стойки и др. силовые детали; АК8 – высоконагруженные штампованные детали (рамы, стыковые узлы, пояса лонжеронов); криогенная техника.

Таблица А.10 – Сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni

| Сплав | Средний химический состав | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--|---------------------------|-----|---|--|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Cu | Mg | другие эле- | | σ_b , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| АК4-1 | 2,2 | 1,6 | 1,1 Fe, 1,1 Ni, 0,8 Si, 0,2 Mn, до 0,3 Zn, до 0,1 Ti | Т1: закалка (530 ± 5) °С, холодная или горячая вода; старение 190-200 °С 12-24 ч | при t = 20 °С | | |
| | | | | | 420 | 360 | 7 |
| | | | | | при t = 300 °С | | |
| | | | | | 160 | 150 | 9 |
| <p>Применение: Детали реактивных двигателей (лопатки и диски компрессора, заборники и др.), работающие при температурах до 300 °С; обшивка и силовой каркас сверхзвуковых самолётов, длительно работающих в условиях знакопеременных напряжений при температурах 130-150 °С.</p> | | | | | | | |

Приложение Б
(справочное)

Литейные алюминиевые сплавы

Таблица Б.1 – Сплавы системы Al-Si (силумины)

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------------------------|--|------|-----|------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Si | Mg | Mn | другие элем. | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| АЛ2 | 11,5 | | | | без термо-обработки | 170 | 80 | 6 |
| АЛ4Т6 | 9 | 0,2 | 0,4 | | Закалка (535±5) °С, старение (175±5) °С, 10-15 ч. | 260 | 200 | 4 |
| АЛ9Т4 | 7 | 0,3 | | | закалка (535±5) °С, | 200 | 110 | 4 |
| АЛ5Т5 | 5 | 0,5 | | 1,2 Cu | закалка (535±5) °С, старение (175±5) °С, 5-10 ч | 250 | 180 | 1 |
| АЛ34 Т5 (ВАЛ 5) | 7,5 | 0,45 | | 0,2 Ti 0,3 Vc | закалка (535±5) °С, старение (75±5) °С, 6 ч | 330 | 280 | 3 |

Применение: АЛ2 – небольшие по размерам герметичные детали. АЛ4, АЛ9 – средние и крупные детали ответственного назначения: картеры двигателей внутреннего сгорания, турбинные колёса турбохолодильников, вентиляторов и др. АЛ5 – головки цилиндров двигателей воздушного охлаждения, детали приборов и агрегатов, работающие при температурах до 250 °С. АЛ34 (ВАЛ5) – крупные корпусные детали сложной конфигурации, работающие под большим внутренним давлением газа или жидкости.

Таблица Б.2 – Сплавы системы Al-Cu

| Сплав | Средний химический состав | | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|---------------------------|-----|----------------------------|--|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Cu | Mg | другие | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| АЛ19Т4 | 4,9 | 0,8 | 0,25Ti | двухступенчатая закалка: (530±5) °С, 5-9 ч + (545±3) °С, 5-9 ч | при t = 20 °С | | |
| | | | | | 320 | 200 | 10 |
| | | | | | при t = 300 °С | | |
| | | | | | 140 | 70 | 5 |
| АЛ33Т4 | 5,8 | 0,8 | 1,0 Ni 0,1 Zr 0,2 Ce | двухступенчатая закалка: (535±5) °С, 5-9 ч + (545±3) °С, 5-9 ч | при t = 20 °С | | |
| | | | | | 250 | 150 | 3 |
| | | | | | при t = 350 °С | | |
| | | | | | 80 | 50 | 8 |

Применение: АЛ19 – высоконагруженные детали, работающие в условиях вибраций при температурах от –170 до +300 °С. АЛ33 – детали двигателей, длительно работающие при температурах до 350 °С

Таблица Б.3 – Сплавы системы Al-Mg

| Сплав | Средний химический состав (основа алюминий), % | | Вид и режимы термической обработки | Механические свойства | | |
|--------|--|---------------------------|--|-----------------------|----------------------|--------------|
| | Mg | другие элем. | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % |
| АЛ8Т4 | 9,3 - 10,0 | | закалка (430±5) °С, масло 50-60 °С | 320 | 170 | 11 |
| АЛ27Т4 | 9,5 - 10,5 | 0,1 Ti; 0,1 Be; 0,1 Zr | закалка (435±5) °С, масло 50-60 °С | 375 | 200 | 22 |

Применение: Силовые детали, работающие при температурах от минус 60 до плюс 60 °С. Изделия, работающие в различных климатических условиях, включая воздействие морской воды и тумана.

16 Лабораторная работа № 16

Пластмассы *)

16.1 Цель работы

Изучение классификации, свойств, структуры и областей применения пластмасс.

16.2 Общие сведения

Пластическими массами, или пластмассами, называют материалы на основе природных или синтетических полимеров, способных при нагреве размягчаться и под давлением принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

Детали из пластмасс менее трудоемки в изготовлении, имеют меньшую стоимость, поэтому ими часто заменяют изделия из металла.

Простые пластмассы состоят из одних полимеров (без добавок). Сложные пластмассы помимо полимеров включают добавки: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы и т.д.

Наполнители в пластмассы вводят в количестве от 40 до 70 % для повышения твердости, прочности, жесткости, а также для придания особых специфических свойств, например, фрикционных, антифрикционных и снижения их стоимости. Наполнителями могут быть ткани, а также порошковые, волокнистые вещества.

Пластификаторы (стеарин, олеиновая кислота, дибутилфталат) повышают эластичность, пластичность и облегчают обработку пластмасс. Их содержание колеблется в пределах от 10 до 20 %.

Отвердители (амины) и катализаторы (перекисные соединения) в количестве нескольких процентов вводят в пластмассы для отверждения, т.е. создания межмолекулярных связей и встраивания молекул отвердителя в общую молекулярную сетку.

Красители (минеральные пигменты, спиртовые растворы органических красок) придают пластмассам определенную окраску.

Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах.

16.2.1 Полимеры

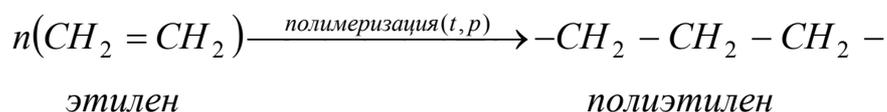
Основным компонентом пластмасс, обеспечивающим работу всей композиции как единого целого, являются полимерные материалы, или

*) Составлено при участии Синюхина А.В.

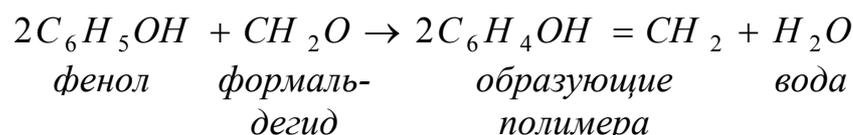
смолы, представляющие собой высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из нескольких тысяч мономерных звеньев.

Полимеры получают синтезом низкомолекулярных веществ методами полимеризации или поликонденсации.

Элементный состав продукта полимеризации не отличается от состава исходных веществ, так как процесс происходит при последовательном присоединении мономеров к растущей полимерной цепи. Кроме молекул полимера никаких других соединений не возникает. Например, образование полиэтилена протекает по схеме:



При поликонденсации высокомолекулярные соединения образуются в результате реакций замещения или обмена между реагентами, сопровождающихся образованием низкомолекулярных соединений (воды, аммиака и т.д.) и непредельных углеводородов, участвующих в полимеризации. Например, при взаимодействии формальдегида с фенолом образуется фенолформальдегидный полимер и вода:



Макромолекулы полимеров могут состоять из одинаковых или различных по химическому составу мономеров. В последнем случае эти соединения называются сополимерами, а реакции их образования – сополимеризацией.

Полимеры классифицируют по различным признакам, основными из которых являются: состав и структура макромолекул, полярность, отношение к нагреву (таблица 16.1).

Таблица 16.1 – Классификация полимеров

| Классификационный признак групп полимеров | Наименование типов полимеров | Примеры |
|---|------------------------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Состав | 1.1 Органические | Полиолефины |
| | 1.2 Элементоорганические | Полититаноксаны |
| | 1.3 Неорганические | Керамика |

Продолжение таблицы 16.1

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 2 Структура макромолекул | 2.1 Линейные (цеповидные) | Полиамиды |
| | 2.2 Разветвленные | Полиизобутилен |
| | 2.3 Ленточные (лестничные) | Полисилоксаны |
| | 2.4 Пространственные (сетчатые) | Резины (вулканизаты) |
| 3 Надмолекулярная структура | 3.1 Аморфные | Поливинилхлорид |
| | 3.2 Кристаллические | Полиэтилен |
| 4 Полярность | 4.1 Полярные | Пентапласт |
| | 4.2 Неполярные | Полистирол |
| 5 По отношению к повторному нагреву | 5.1 Термопластичные | Органическое стекло |
| | 5.2 Терморезистивные | Фенолформальдегидная смола |

16.2.1.1 Молекулярное строение полимеров

Наибольшую группу соединений составляют органические полимеры. Если основная молекулярная цепь полимера состоит из одинаковых атомов, то такой полимер называют гомоцепным, если молекулярная цепь представлена только атомами углерода – карбоцепным. Например, карбоцепными являются полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты (рисунок 16.1 а) и др.

Если наряду с углеродом в основной молекулярной цепи присутствуют атомы кислорода, азота, фосфора и других элементов, оказывающих существенное влияние на свойства вещества, то такие полимеры называют гетероцепными. Например, гетероцепными являются полиуретан, полилиэтиленфторфталат (лавсан), полиамид (рисунок 16.1 в) и др.

Присутствующие в молекулярных цепях гетероцепных полимеров неорганические элементы придают материалу повышенную теплостойкость, а органические радикалы – прочность и эластичность. Присутствие кислорода способствует повышению эластичности материала, а фосфора и хлора - огнестойкости, атомы серы уменьшают газопроницаемость.

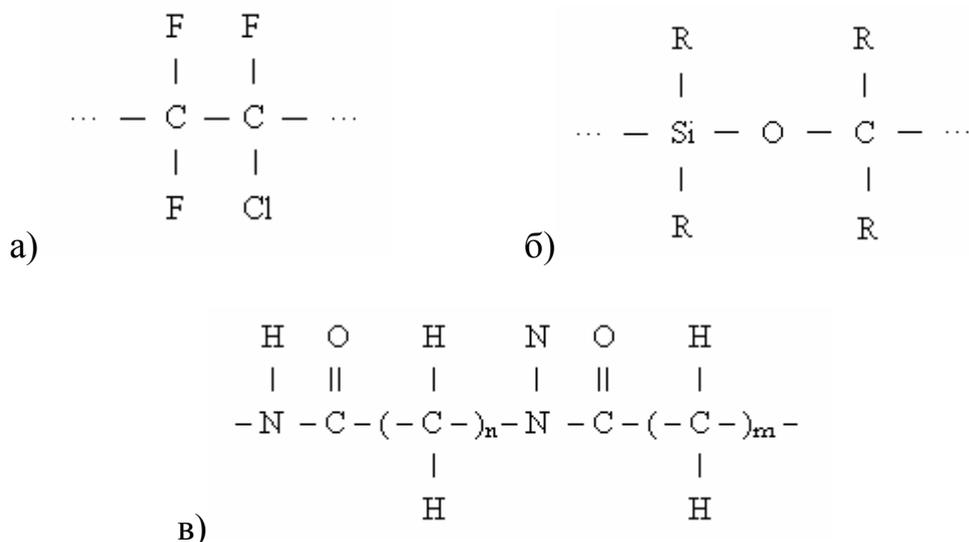
Элементоорганические полимеры содержат в основных молекулярных цепях сочетающиеся с органическими радикалами атомы Si, Ti, Al и других элементов (рисунок 16.1 б).

Основу неорганических полимерных материалов составляют оксиды кремния, магния, алюминия, кальция и др. Представителями таких полимеров являются силикатные стекла, керамика, асбест, слюда.

16.2.1.2 Молекулярные структуры полимеров

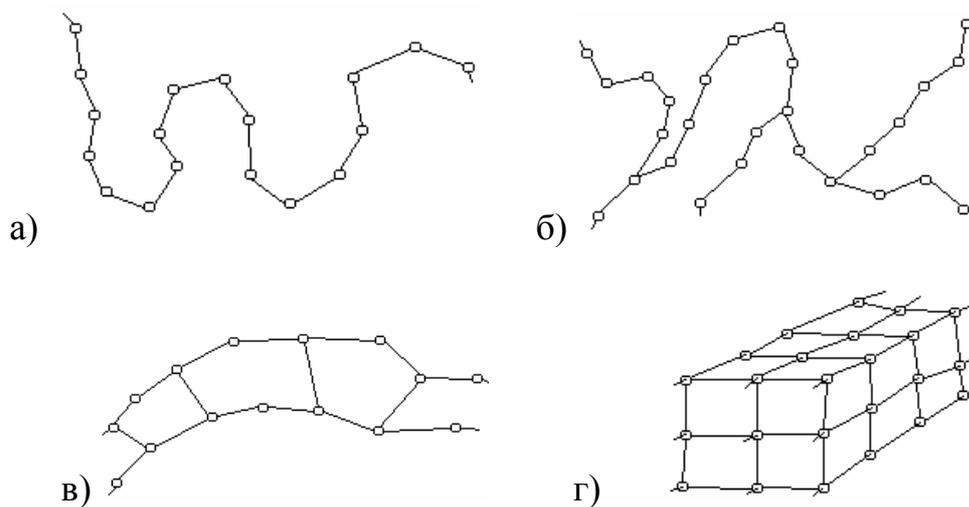
Свойства полимерных материалов в значительной степени определяются структурой макромолекул.

Линейную макромолекулу (рисунок 16.2 а) можно представить в виде длинной изогнутой в пространстве цепочки. Длина такой макромолекулы в несколько тысяч раз больше ее поперечного сечения (полиамид, полиэтилен).



а – структура макромолекулы политрифторхлорэтилена (фторопласт –3);
 б – строение макромолекул кремнийорганических соединений;
 в – строение макромолекулы полиамида.

Рисунок 16.1 – Структура макромолекул полимеров



а) линейные; б) разветвленные; в) ленточные; г) пространственные

Рисунок 16.2 – Строение макромолекул полимера

У разветвленной макромолекулы (рисунок 16.2 б) основная цепь имеет относительно короткие (короче основной цепи) боковые ответвления.

Макромолекулы ленточного типа (рисунок 16.2 в) состоят из двух молекулярных цепей, соединенных между собой химическими связями.

Пространственные макромолекулы (рисунок 16.2 г) образуются путем соединения различных макромолекул прочными поперечными связями непосредственно или через мостики, состоящими из атомов или групп атомов.

16.2.1.3 Надмолекулярная структура полимеров

Помимо строения макромолекул на свойства полимерного материала влияет расположение их в пространстве (надмолекулярная структура). Полимеры могут быть аморфными и кристаллическими, т.е. обладать упорядоченной структурой. Кристаллическость придает материалу повышенную жесткость, прочность и теплостойкость. Обычно полной кристаллизации полимера не происходит. В реальных условиях надмолекулярная структура состоит из чередующихся кристаллических и аморфных участков.

16.2.1.4 Полярность полимеров

В зависимости от химического состава, строения макромолекул, надмолекулярной структуры полимеры по электрическим и физическим свойствам могут быть полярными и неполярными. В макромолекулах неполярных полимеров центры тяжести разноименных зарядов совпадают. У полярной макромолекулы центр тяжести электронов сдвинут в сторону более электроотрицательного атома и центры тяжести разноименных атомов не совпадают.

Неполярные полимеры имеют симметричное расположение функциональных групп и дипольные моменты связей атомов взаимно компенсируются (рисунок 16.3 а).

В молекулах полярных полимеров присутствуют или полярные связи группировок ($-Cl$, $-F$, $-OH$) (рисунок 16.3 б) или несимметрия в их структуре.

Полярные полимеры обладают повышенной жесткостью и теплостойкостью, высокой адгезионной способностью, пониженной морозостойкостью. Неполярные - являются высококачественными и высокочастотными диэлектриками. Их свойства мало изменяются при понижении температуры. Они отличаются высокой морозостойкостью.

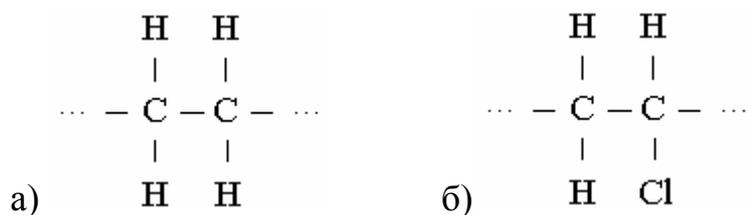


Рисунок 16.3 – Структура неполярных (а) и полярных (б) полимеров

16.2.1.5 Реакция полимера на нагрев

По отношению к нагреву полимеры могут быть термопластичными (термопласты) и термореактивными (реактопласты). Термопластичные материалы обладают линейной или разветвленной структурой макромолекул. При нагревании они размягчаются и затем при определенной температуре переходят в вязкотекучее состояние. Охлаждение вызывает затвердевание полимера. Никаких химических реакций при этом не происходит. Процесс «размягчение - затвердевание» полностью обратим и может протекать многократно. Повторный нагрев термореактивных пластмасс не изменяет их твердого состояния.

Макромолекулы термореактивных полимеров в начальной стадии обладают линейной структурой. Полимер при нагревании легко переходит в вязкотекучее состояние. Выдержка при повышенной температуре приводит к развитию химических реакций, в результате которых макромолекулы приобретают пространственную структуру, и материал необратимо затвердевает.

В зависимости от температуры повторного нагрева такие полимеры могут находиться в одном из трех состояний: стеклообразном (твердом), высокоэластичном или вязкотекучем.

16.2.2 Наполнители и добавки

Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах.

Наполнители придают изделиям на основе полимерных материалов высокую прочность, химическую стойкость, теплостойкость, улучшают диэлектрические качества, снижают (повышают) плотность, повышают фрикционные (антифрикционные) свойства и т.д. Наполнители могут быть как органическими, так и неорганическими веществами (древесные опилки, очесы хлопка, молотый кварц, слюда, асбест, стеклянные волокна, бумага и т.д.). По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми, газообразными (таблица 16.2).

К добавкам относят, например, стабилизаторы - химические соединения, противодействующие старению пластмасс (так называется явление, сопровождающееся разрушением молекулярных цепей на отдельные фрагменты); пластификаторы - вещества, повышающие пластичность полимерных материалов при их переработке; красители - вещества придающие пластмассе желаемый цвет по всему объему; катализаторы - ускорители отверждения термореактивных смол и т.д.

Таблица 16.2 – Классификация пластмасс по виду наполнителя

| Структура наполнителя | Вид наполнителя по происхождению | Вид пластмасс |
|-----------------------|--|---|
| Без наполнителя | - | Ненаполненные (простые) пластмассы. Состоят из полимера и добавок. Например, фторопласт - 4, полиэтилен |
| Порошкообразный | Органические и неорганические вещества | Пресс-порошки и литьевые пластмассы |
| Волокнистый | Органические волокна | Волокниты |
| | Асбестовые волокна | Асбоволокниты |
| | Стекланные волокна | Стекловолокониты |
| Листовой | Бумага | Гетинаксы |
| | Хлопчатобумажная ткань | Текстолиты |
| | Асбестовая ткань | Асботекстолиты |
| | Стеклоткань | Стеклотекстолиты |
| | Древесный шпон | Древесно-слоистые пластики (ДСП) |
| Газообразный | Воздух, CO ₂ | Пенопласты |
| | | Поропласты |

16.2.3 Свойства пластмасс и области их применения

В таблице 16.3 приведена классификация некоторых групп пластмасс по назначению с указанием наиболее характерных свойств. Классификация в значительной мере условна, так как одни и те же пластмассы могут входить в различные группы.

Таблица 16.3 – Классификация некоторых групп пластмасс по назначению

| Пластмассы | | |
|---|---|--|
| Назначение | Характерные свойства | Примеры |
| 1 | 2 | 3 |
| Конструкционные (нагруженные узлы и детали конструкций) | Высокие механические свойства | Стеклопластики, этролы, фенопласты |
| 1 | 2 | 3 |
| Электроизоляционные (электроизолирующие детали, пленки, шланги) | Высокие диэлектрические свойства | Полиэтилен, полистирол, фторопласты |
| Химически стойкие (химическая аппаратура, емкости, трубы) | Высокое сопротивление действию влаги и химических соединений | Фторопласт – 4, полиэтилен, поливинилхлорид |
| Тепло- и звукоизоляционные (тепло- и звукоизолирующие наполнители) | Низкий коэффициент теплопроводности, высокая звукопоглощающая способность | Пенополистирол, поролон, пенополисилоксан |
| Светотехнические и оптические (оптические детали, арматура осветителей) | Стойкие к воздействию света, высокие оптические свойства | Полиметилметакрилат, полистирол, дакрил – 2М |
| Фрикционные (детали тормозов, муфт сцепления) | Высокий коэффициент трения | Асбополимерные материалы (асбосмоляные, асбокаучуковые, асбофрикционные) |
| Антифрикционные (подшипники скольжения, покрытия направляющих) | Низкий коэффициент трения | Капрон, фторопласт – 4, лавсан |

16.2.3.1 Термопластичные материалы

16.2.3.1.1 Неполярные термопластичные пластмассы

К неполярным пластикам относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол и фторопласт - 4.

Полиэтилен $(-CH_2 - CH_2 -)_n$ – продукт полимеризации бесцветного газа этилена. Полиэтилен представляет собой воскообразную массу и относится к кристаллизующимся полимерам.

По плотности полиэтилен разделяют на полиэтилен низкой плотности, получаемый в процессе полимеризации при высоком давлении, содержащий от 55 % до 65 % кристаллической фазы, и высокой плотности, получаемый при низком давлении, имеющий степень кристалличности до 95 %.

Механическая прочность и теплостойкость увеличиваются с повышением плотности и степени кристалличности полиэтилена.

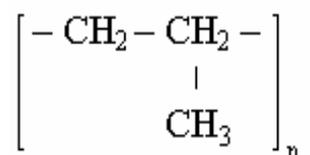
Высокая упругость и эластичность полиэтилена позволяет получать тонкие прозрачные пленки, способные пропускать ультрафиолетовые лучи.

Полиэтилен химически стоек и при комнатной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей; устойчив к кислотам, щелочам и растворам солей до температуры 60 °С.

Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от окисления в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы. Часто в полиэтилен добавляют до 3 % сажи, поглощающей солнечные лучи и замедляющей процессы старения в 30 раз. Под действием радиоактивного облучения полиэтилена он твердеет, приобретает большую прочность и теплостойкость.

Из него изготавливают защитные оболочки кабелей проводов, детали высокочастотных установок и коррозионностойкие детали – трубы, прокладки, шланги. Его выпускают в виде пленки, листов, труб, блоков.

Полипропилен является производной этилена с химической формулой

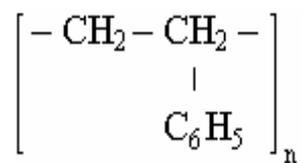


Жесткий нетоксичный материал с высокими физико-механическими свойствами. По сравнению с полиэтиленом этот пластик более теплостоек: сохраняет форму до температуры 150 °С. Полипропиленовые пленки прочны и более газонепроницаемы, чем полиэтиленовые, а волокна эластичны, прочны и химически стойки.

Недостатками полипропилена является его невысокая морозостойкость (до минус 20 °С).

Полипропилен применяют для изготовления труб, конструкционных деталей автомобилей, холодильников, текстильных машин, корпусов насосов и различных емкостей.

Полистирол имеет структурную формулу



Это аморфный, твердый, жесткий, прозрачный полимер, имеющий преимущественно линейное строение.

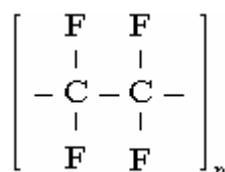
Полистиролу присущи высокие диэлектрические свойства, удовлетворительная механическая прочность, невысокая рабочая температура (до 100 °С), химическая стойкость в щелочах, минеральных и органических кислотах, маслах. Набухает в 65 %-ной азотной и ледяной уксусной кислотах, бензине и керосине. При температуре выше 200 °С разлагается, образуя стирол.

Недостатками полистирола является его хрупкость при пониженных температурах, склонность к постепенному образованию поверхностных трещин.

Выпускается полистирол в виде прозрачных листов, стержней (блочный полистирол) или порошка.

Из полистирола изготавливают детали для радиотехнических и телевизионных приборов и машин, пленки стирофлекс для электроизоляции, как основа магнитофонных лент.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен) имеет структурную формулу



является термически и химически стойким материалом.

Это насыщенный полимер, имеющий аморфно-кристаллическую структуру. Медленное охлаждение при температуре ниже 327 °С вызывает быструю кристаллизацию полимера. До температуры 250 °С скорость кристаллизации мала и не влияет на его механические свойства, поэтому длительно эксплуатировать фторопласт-4 можно до температуры 250 °С. При 415 °С фторопласт распадается, не переходя в вязкотекучее состояние, и выделяет при этом ядовитый фтор.

Температура стеклования минус 120 °С, но даже при весьма низких температурах (до минус 269,3 °С) пластик не охрупчивается. Имеет низкий коэффициент трения (0,04), не зависящий от температуры.

Высокая термостойкость фторопласта-4 обусловлена высокой энергией связи С – F. Кроме того, небольшой размер атомов фтора образует из него плотную оболочку вокруг цепи С – С и защищает последнюю от химических реагентов: фторопласт-4 стоек к действию растворителей, кислот, щелочей, окислителей.

Недостатками фторопласта-4 является его токсичность вследствие выделения фтора при высоких температурах, хладотекучесть и трудность переработки из-за отсутствия пластичности.

Применяют для изготовления труб для химикатов, деталей (вентили, краны, насосы, мембраны), работающих в сильно коррозионных средах, антифрикционных покрытий на металлах (подшипники, втулки).

Физико-механические свойства неполярных термопластичных пластмасс приведены в приложении А.

16.2.3.1.2 Полярные термопластичные пластмассы

К полярным пластикам относятся: фторопласт-3, органическое стекло, поливинилхлорид, полиамиды, поликарбонаты и другие.

Фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен) имеет структурную формулу представленную на рисунке 16.1 а, и представляет собой линейный аморфно-кристаллический полимер белого цвета.

Присутствие атома хлора нарушает симметрию звеньев макромолекулы, и в результате полимер становится полярным.

Фторопласт-3 имеет диапазон рабочих температур от минус 105 до 70 °С. Нагрев выше 300 °С вызывает его деструкцию с образованием токсичного газообразного фтора.

Фторопласт-3 по химической стойкости несколько уступает фторопласту-4, но легко перерабатывается в изделия методами прессования, литья под давлением и др. Применяют для изготовления труб, клапанов, насосов, шлангов, а также применяют в качестве низкочастотного диэлектрика.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – аморфный, бесцветный, прозрачный термопласт на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. Материал более чем в 2 раза легче минеральных стекол, отличается высокой атмосферостойкостью, оптически прозрачен. При нагреве до 80 °С начинает размягчаться, а при температурах от 105 до 150 °С становится пластичным. Основным критерием, определяющим его пригодность, является прочность. Повышение механических свойств органических стекол осуществляют путем двухосного растяжения при нагреве до температуры, превышающей температуру размягчения.

Органическое стекло не подвержено действию разбавленных кислот, щелочей, углеродных топлив и смазок, растворяется в органических кислотах и хлорированных углеводородах. Недостатком является невысокая поверхностная твердость.

Органическое стекло выпускается в виде листов толщиной от 0,8 до 24 мм. Из оргстекла изготавливают оптические линзы, детали светотехнических устройств.

Поливинилхлорид (ПВХ) – линейный аморфный полимер, имеющий структурную формулу, показанную на рисунке 16.3 б. ПВХ стоек во многих

средах: воде, щелочах, разбавленных кислотах, маслах, бензине. Размягчается при температуре, близкой к 70 °С.

Поливинилхлорид используют в виде винипласта и пластиката. Винипласт содержит стабилизаторы (карбонаты металлов) и представляет собой непрозрачное твердое вещество.

Винипласт хорошо поддается механической обработке, легко сваривается, склеивается различными клеями. Материал применяют для облицовки гальванических ванн и в качестве защитного покрытия металлических емкостей.

Винипласт склонен к хладотекучести, чувствителен к надрезам, отличается низкой теплостойкостью и хрупкостью при низких температурах.

Пластикаты получают, вводя в ПВХ пластификаторы – труднорастворимые органические жидкости. Пластифицированный ПВХ отличается повышенной эластичностью и морозостойкостью и более низкими электроизоляционными свойствами. Пластикат выпускается промышленностью в виде листов, лент, трубок. Его часто используют в качестве уплотнителя воздушных и гидравлических систем, изолятора проводов и защитных оболочек кабелей, аккумуляторных банок.

Полиамиды (торговые названия капрон, анид, нейлон, и др.) - это полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы повторяющиеся амидные группы - CO – NH₂ -, а также метиленовые группы - CH₂ -.

Применяют полиамиды для изготовления шестерен, втулок, уплотнений; в качестве антифрикционных покрытий. Полиамиды ударопрочны, способны поглощать вибрации, хорошо сопротивляются истиранию, обладают в паре с закаленными сталями низким коэффициентом трения и низкой плотностью.

Поликарбонаты - это сложные полиэфиры угольной кислоты с общей формулой [- O - R - O - CO - O - R -]_n, где R - радикал двухатомного (с двумя группами - OH) фенола. Выпускаются промышленностью под торговым названием дифлон.

Поликарбонат обладает высокой ударной прочностью, не склонен к ползучести, имеет высокую коррозионную стойкость. Работоспособен при низких температурах (до минус 253 °С). К недостаткам относится плохая сопротивляемость циклическим воздействиям и низкая усталостная прочность.

Антифрикционный поликарбонат ДАК (дифлон, модифицированный тетрафторэтиленом) используется для изготовления втулок, зубчатых колес, клапанов и др. деталей, работающих в узлах трения без смазочных материалов.

Полиимиды - продукты поликонденсации тетракарбоновых кислот и их производных. Цепь макромолекулы содержит имидные циклы $-N \begin{matrix} \text{CO} \\ \diagdown \\ \diagup \\ \text{CO} \end{matrix}$ и ароматические ядра, соединенные гибкими связями – O –, – CO –.

В зависимости от структуры полиимиды могут быть термопластичными и термореактивными.

Полиимиды обладают высоким комплексом механических свойств, высокой теплостойкостью, хорошо сопротивляются действию органических растворителей, масел, разбавленных кислот. Неустойчивы в щелочах и концентрированных кислотах.

Антифрикционный самосмазывающийся полиимид ПАМ-15 (композиция на основе полиимида с сухим смазочным материалом) используют для изготовления шестерен быстроходных ступеней редукторов, подшипников скольжения и качания, способных работать при значительных вибрационных нагрузках, в условиях глубокого вакуума, при температурах от минус 196 до плюс 250 °С.

Свойства полярных термопластов приведены в приложении Б.

16.2.3.2 Термореактивные материалы

Термореактивные пластмассы производят на основе термореактивных смол: фенолформальдегидных, аминокальциевых, эпоксидных, полиимидных, кремний-органических, ненасыщенных полиэфиров. Пластмассы на основе этих смол отличаются повышенной прочностью, не склонны к ползучести и способны работать при повышенных температурах. Смолы в пластмассах являются связкой и должны обладать высокой клеящей способностью, теплостойкостью, химической стойкостью в агрессивных средах, электроизоляционными свойствами, доступной технологией переработки, малой усадкой при затвердевании.

16.2.3.2.1 Пластмассы с порошковыми наполнителями

Пресспорошки и литевые пластмассы на основе фурановых и эпоксидных смол с наполнителями из графита и дисульфида молибдена используют для изготовления подшипников скольжения. Минеральные наполнители придают пластмассе водостойкость, химическую стойкость, повышенные электроизоляционные свойства. При использовании в качестве связующего вещества кремнийорганических полимеров, и наполнителей в виде кварцевого порошка или асбеста теплостойкость пластмасс достигает 300 °С.

Композиции на основе эпоксидных смол широко применяют в машиностроении для изготовления различной инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов и другой оснастки, а так же для восстановления изношенных деталей, устранения дефектов металлических отливок.

16.2.3.2.2 Слоистые пластмассы

Слоистые пластмассы являются силовыми конструкционными и подделочными материалами. Листовые наполнители, уложенные слоями придают

пластику анизатропность. Материалы выпускаются в виде листов, плит, труб, заготовок, из которых механической обработкой получают различные детали.

Гетинакс – изготавливают на основе модифицированных фенольных, анилино-формальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги.

По назначению гетинакс делится на электротехнический и декоративный различных цветов и текстуры, имитирующей древесные породы. Применяют для внутренней облицовки пассажирских кабин самолетов, железнодорожных вагонов и т.д.

Текстолиты - изготавливают на основе фенолформальдегидных смол с наполнителем из листов хлопчатобумажной ткани (шифон, бязь и др.). Среди слоистых пластиков текстолит обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Текстолит обладает низким коэффициентом трения (от 0,2 до 0,3 без смазочных материалов и от 0,06 до 0,1 со смазочным материалом), высокой износостойкостью (текстолитовые подшипники до 15 раз долговечнее бронзовых).

Зубчатые колеса, изготовленные из текстолита, работают бесшумно при частотах вращения до $30\ 000\ \text{мин}^{-1}$. Недостатком текстолита является низкая рабочая температура (до $90\ ^\circ\text{C}$).

Асботекстолиты изготавливают на основе кремнийорганических смол с наполнителем из асбестовых тканей. Коэффициент трения асботекстолитов при отсутствии смазочных материалов от 0,3 до 0,38, со смазочным материалом от 0,05 до 0,07.

Асботекстолит выдерживает кратковременно высокие температуры и поэтому применяется в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала (в течение четырех часов выдерживает температуру до $500\ ^\circ\text{C}$ и кратковременно $3000\ ^\circ\text{C}$ и выше). Из асботекстолитов изготавливают лопатки ротационных бензонасосов, фрикционные диски, накладки, тормозные колодки и др.

Древеснослоистые пластики (ДСП) изготавливают из древесного шпона, пропитанного терморезистивным связующим. ДСП имеют низкий коэффициент трения (со смазочным материалом до 0,04) и применяют в узлах трения вместо деталей из цветных металлов. Вкладыши подшипников из древесно-слоистых пластиков интенсивно снижают шум узла трения, не образуют задиров на поверхности вала. Недостатком ДСП является гигроскопичность.

В *стеклотекстолитах* применяют в качестве наполнителя стеклянные ткани, которые по виду ткацкого переплетения подразделяются на: полотняные или гарнитуровые, сатиновые или атласные и кордовые ткани. Продольные нити ткани называют основой, поперечные – утком.

Ткани полотняного переплетения имеют на поверхности максимально частое чередование основных и уточных нитей, что придает ткани жесткость. Однако стекловолокна хрупки, и при их взаимном перетирании или под давлением может произойти разрушение ткани. В сатиновых тканях более ред-

кое перекрытие нитей (через четыре и более), поэтому стеклотекстолит на их основе прочнее и лучше работает в конструкциях. Кордовые ткани имеют усиленные нити основы и тонкие, редко расположенные нити утка. При получении изделий усиленные нити основы укладываются в направлении, совпадающем с деформацией, и воспринимают растягивающие нагрузки. В поперечном направлении прочность значительно ниже, т.е. материал анизотропен. При многослойной перекрестной укладке пропитанных тканей можно получить равнопрочный стеклопластик.

Материал СВМ представляет собой стекловолоконный анизотропный материал, в котором стеклянные нити сразу по выходе из фильер, склеиваются между собой в виде стеклянного шпона и затем укладываются как в фанере. Связующие могут быть различными. СВМ является конструкционным материалом с большой жесткостью и высокой ударной вязкостью.

Длительно стеклопластики могут работать при температурах до 400 °С, однако кратковременно в течение нескольких десятков секунд стеклопластики выдерживают несколько тысяч градусов. Стеклопластики обладают высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках. Некоторые стеклопластики обладают выносливостью при изгибе до $1,5 \cdot 10^7$ циклов и высокой прочностью (больше чем у металлов).

Из стеклопластиков изготавливают: несущие детали летательных аппаратов, кузова и кабины автомашин, кожухи, контейнеры и т.д.

16.2.3.2.3 Пластмассы с волокнистыми наполнителями

Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенол-формальдегидным связующим.

Прессматериал волокнита является грубой и жесткой массой, из которой нельзя прессовать мелкогабаритные, тонкостенные детали. Волокниты применяют для деталей общего назначения с повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам, работающим на изгиб и кручение (рукоятки, стойки, шкивы, маховики и т. д.)

Асбоволокниты содержат наполнитель - асбест – волокнистый минерал, расщепляющийся на тонкое волокно (диаметром 0,5 мкм). Состав хризотилового асбеста $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Связующим служит в основном фенольно-формальдегидная смола. Преимуществом асбоволокнитов является повышенная теплостойкость (свыше 200 °С), ударопрочность, устойчивость к кислым средам и фрикционные свойства; как диэлектрики их применяют для тока с низкими частотами. Асбоволокниты используются в качестве материала тормозных устройств (колодки, накладки, диски подъемных кранов, вагонов, автомобилей, экскаваторов, из них изготавливают фрикционные ролики, контактные панели, коллекторы электрических машин и т. д.).

Стекловолокониты – это композиция, состоящая из связующего - синтетической смолы и стекловолоконного наполнителя. Стекловолокно получается путем продавливания расплавленной стекломассы через фильеры (от-

верстия в дне электропечи). Применяется непрерывное или короткое стекловолокно, причем прочность непрерывного волокна выше в 3,5 раза, чем короткого. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Максимальное значение прочности наблюдается для волокна диаметром от 1 до 3 мкм. Для практических целей употребляется волокно диаметром от 5 до 20 мкм.

Стекловолокно негорюче, устойчиво к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойко, стабильных размеров. Наполнитель является армирующим элементом и воспринимает основные нагрузки при работе стеклопластика.

Стекловолокниты содержат в качестве наполнителя короткое стекловолокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, с металлической арматурой. (Под давлением волокно раскалывается на мелкие отрезки и вместе со связующим легко заполняет все извилины формы). Материал получается с изотропными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресспорошков и даже волокнитов. Представителем такого стекловолокнита является материал АГ-4В, который применяется для изготовления силовых электротехнических деталей (каркасы катушек и т. п.), деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов, перекачивающих специальные агрессивные среды, и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров стекловолокниты можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

Свойства термореактивных пластмасс приведены в приложении В.

16.2.3.2.4 Газонаполненные пластмассы

Газонаполненные пластмассы представляют собой гетерогенные дисперсные системы, состоящие из твердой и газообразной фаз. Структура таких пластмасс образована твердым, реже эластичным полимером – связующим, которое образует стенки элементарных ячеек или пор с распределенной в них газовой фазой – наполнителем. Газонаполненные пластмассы обладают чрезвычайно малым весом и высокими тепло- и звукоизоляционными характеристиками.

В зависимости от физической структуры газонаполненные пластмассы делятся на две группы: пенопласты – материалы с ячеистой структурой, в которых газообразные наполнители изолированы друг от друга и от окружающей среды тонкими слоями полимерного связующего; поропласты (губчатые материалы) с открытопористой структурой, вследствие чего присутствующие в них газообразные включения свободно сообщаются друг с другом и с окружающей атмосферой.

Образование пенистой структуры достигается введением специальных газообразователей (порофоров), разлагающихся при нагревании; вспенивани-

ем жидкой смолы (эмульсии) путем продувки воздухом (азотом); самовспениванием жидких компонентов, при взаимодействии которых образуется твердая фаза и одновременно выделяются газы, вызывающие ее вспенивание.

Пенопласты применяют для теплоизоляции кабин, контейнеров, холодильников, рефрижераторов и т.д.

Получение поропластов основано на введении в композицию веществ, которые способны выкипать при нагревании или вымываться водой, образуя поры.

Поропласт обладает повышенной звукопоглощаемостью на технических частотах (до 80 %).

Свойства газонаполненных пластмасс представлены в приложении Г.

16.3 Порядок выполнения работы

16.3.1 Ознакомьтесь со всеми разделами методических указаний. Ответьте на контрольные вопросы.

16.3.2 Ознакомьтесь с коллекцией полимерных материалов и пластмассовых изделий. Опишите свойства трех представителей различных классов.

16.3.3 Сопоставьте плотность пластмасс с плотностью цветных и черных металлов.

16.4 Контрольные вопросы

16.4.1 Что такое пластмассы? Из каких компонентов состоят пластмассы?

16.4.2 Что такое полимер? Какими способами получают полимеры?

16.4.3 Как влияют атомы кислорода, серы, хлора, присутствующие в молекулярных цепях полимеров, на свойства материала?

16.4.4 Какие свойства придают полимерному материалу содержащиеся в молекулярных цепях атомы кремния, титана, алюминия?

16.4.5 Как меняется структура макромолекул термореактивных полимеров в процессе изготовления изделий?

16.4.6 Каково назначение наполнителей и добавок в пластмассах?

16.4.8 Как классифицируют пластмассы по назначению? Каковы характерные свойства пластмасс в зависимости от назначения?

16.4.9 Каковы достоинства и недостатки пластмасс антифрикционного назначения по сравнению с металлическими антифрикционными материалами?

16.4.10 Какие материалы называют полиолефинами, полиамидами, фторопластами, поликарбонатами, полиимидами? Каковы их основные свойства?

16.4.11 Как влияет комбинирование фторопласта с другими материалами на его свойства? Какие композиционные материалы на основе фторопласта-4 вам известны?

16.4.12 Какие термореактивные материалы используют для изготовления узлов трения? Каковы их характерные свойства?

16.5 Содержание отчета

16.5.1 Цель работы;

16.5.2 Описание свойств рассмотренных полимерных материалов;

16.5.3 Результаты проведенных исследований;

16.5.4 Выводы по работе.

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 - Свойства неполярных термопластов

| Материал | Плотность, кг/м ³ | Рабочая температура, °С | | Предел прочности, МПа, при | | Модуль упругости при изгибе, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Ударная вязкость, кДж/м ² | Диэлектрическая проницаемость при частоте тока 10 ⁶ Гц | Удельное объемное сопротивление Ом·м | Ческих потерь × 10 ⁻⁴ при 10 ⁶ Гц |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------|-------------------------------|--------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| | | максимальная | минимальная | растяжении | изгибе | | | | | | |
| Полиэтилен: ПЭВД | 913-929 | 105 | -70 и ниже | 12-17 | 12-17 | 120-260 | 15-20 | Не ломается | 2,2-2,3 | 10 ¹⁵ | 2-3 |
| ПЭНД | 949-953 | 125 | -70 и ниже | 20-38 | 20-38 | 650-750 | 10-12 | 2-150 | 2,1-2,4 | 10 ¹⁵ | 2-5 |
| Полипропилен | 900-910 | 150 | -15 | 25 | 70-80 | - | 100-400 | 33-800 | 2,2 | до 10 ¹⁷ | 2-5 |
| Полистирол | 1050-1080 | 90 | 35 | 65-105 | 65-105 | 2700 | 1,5 | 16-20 | 2,5- | 10 ¹⁵ | 3- |
| Фторопласт-4 | 2150-2240 | 250 | 14-35 | 11-14 | 11-14 | 470-850 | 250-500 | 10-100 | 2,7 | до 10 ¹⁸ | 4 |
| | | | | | | | | | 1,9-2,2 | | 2-2,5 |

Приложение Б
(справочное)

Таблица Б.1 - Свойства полярных термопластов

| Материал | Плотность, кг/м ³ | Рабочая температура, °С | | Предел прочности, МПа, при | | Модуль упругости при изгибе, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Ударная вязкость, кДж/м ² | Диэлектрическая проницаемость при частоте $\nu = 10^6$ Гц | Удельное объемное сопротивление, Ом · м | Тангенс угла диэлектрических потерь $\times 10^{-4}$ при частоте тока 10^6 Гц |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------|----------------------------|----------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---|---|---|
| | | максимальная | минимальная | растяжении | изгибе | | | | | | |
| Фторопласт-3 | 2090 – 2160 | 150 | -195 | 30-45 | 60-80 | 1450 | 20-200 | 20-160 | 2,5-2,7 | $1,2 \times 10^{16}$ | 0,01 |
| Поливинилхлорид | 1350 – 1430 | 90 | до -40 | 40-120 | 80-120 | 3000 | 5-100 | 80-125 | 3,1-3,4 | 10^{15} | 0,018 |
| Полиметилкрилат | 1200 | 60 | -60 | 63-100 | 90-120 | - | 2,5-20 | 8-18 | 3,5-4,5 | 10^{12} | 0,02-0,08 |
| Полиамиды | 1100 – 1140 | 60 - 110 | до -60 | 38 - 60 | 35 - 70 | 1500 | 70 - 280 | 80 - 125 | - | - | - |
| Поликарбонат (дифлон) | 1200 | 130-140 | до -135 | 70 | 24 - 120 | - | - | 150 | - | - | - |

Приложение В (справочное)

Таблица В.1 – Физико-механические свойства термореактивных пластмасс

| Пластмассы | Плотность, кг/м ³ | температуры длительной работы, | Предел прочности, МПа, при | | | удлинение при растяжении, % | Ударная вязкость, кДж/м ² | Модуль упругости при растяжении, МПа | Твердость НВ |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| | | | растяжении | сжатии | изгибе | | | | |
| Порошковые | | | | | | | | | |
| Фенопласты (карболиты) | 1400 | 110 | 30 - 60 | 150 - 190 | 50 - 72 | 0,3 - 0,5 | 4 - 6 | 7000 - 9000 | 300 |
| Аминопласты | 1400 - 1550 | 300 | 40 - 50 | 120 - 190 | 60 - 80 | 0,4 - 0,7 | 5 - 6 | - | 400 |
| Волокнистые | | | | | | | | | |
| Волокнит | 1350 - 1450 | 110 | 30 - 60 | 80 - 150 | 50 - 80 | 1 - 3 | 9 - 104 | 8500 | 250 - 270 |
| Асбоволокнит | 1950 | 200 | - | 110 | 70 | 3 - 4 | 20 | 18000 | 300 |
| Стекловолокнит | 1700 - 1900 | 280 | 80 - 500 | 130 | 120 - 250 | 1 - 3 | 25 - 150 | - | - |
| Слоистые | | | | | | | | | |
| Гетинакс | 1300 - 1400 | 150 | 80 - 100 | 160 - 290 | 80 - 100 | 1 - 3 | 12 - 25 | 10000 | - |
| Текстолит | 1400 | 125 | 65 - 100 | 120 - 150 | 120 - 160 | 1 - 3 | 30 | До 10000 | - |
| Асботекстолит | 1600 | 190 | 55 | - | - | - | 20 - 25 | 20000 | - |
| ДСП | 1350 | 140 - 200 | 180 - 300 | 100 - 180 | 140 - 280 | - | 80 - 90 | До 30000 | - |
| СВАМ | 1800 - 2000 | 200 | 350 - 1000 | 350 - 450 | 500 - 700 | - | 180 - | 35000 | - |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|---|----------------|-------------|---|
| | | | | | | | 200 | | |
| Стеклотекстолит | 1600 - 1900 | 200 - 300 | 250 - 600 | 210 - 260 | 150 - 420 | - | 50 - 100 | До 30000 | - |

Приложение Г (справочное)

Таблица Г.1 – Физико-механические свойства газонаполненных пластмасс

| Пенопласт | Кажущаяся плотность, кг/м ³ | Рабочая температура, °С | Предел прочности, МПа, | | | Удлинение при разрыве, % | Ударная вязкость, кДж/м ² | Водопоглощение за 30 суток, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) |
|---------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| | | | при растяжении | при сжатии | при изгибе | | | | |
| Пенополистирол (ПС) | 25 - 200 | От – 60 до 70 | 0,18 - 3 | 0,13 - 3 | 0,13 - 1,4 | 2 - 8 | 0,1 - 1,8 | 0,05 - 2 | 0,044 |
| Пенополивинилхлорид (ПХВ) | 50 - 200 | От – 60 до 70 | 1,5 - 4,5 | 0,4 - 2 | 1,8 - 4 | 2 - 7 | 1,0 - 1,5 | 0,3 | 0,045 |
| Пенополиуретан (ПУ) | 60 - 200 | От – 60 до 200 | 1,8 | 0,2 - 3 | - | - | 0,4 - 1,5 | - | 0,05 |
| Поролон | 30 - 70 | От – 40 до 100 | 1,0 - 1,2 | - | - | - | - | - | 0,05 |
| Пенофенопласт | 200 | От – 60 до 160 | 2,0 | 4 | - | - | 0,2 | - | 0,05 |
| Фенольно-каучуковые: | | | | | | | | | |
| ФК-20 | 200 | До 120 | 1,2 - 1,5 | 3 | - | 6 - 8 | 0,8 | - | 0,052 |
| ФК-20-А-20 | 200 | До 200 | 0,8 | 2,0 - 2,3 | - | 1,5 - 2 | 0,5 - 0,7 | - | 0,063 |
| Пенополисилоксан (К-40) | 25 - 300 | До 250 | - | 0,5 - 2 | - | - | 0,2 - 0,3 | - | 0,045 |
| Пенополиэпоксидный (ПЭ) | 100 - 200 | До 110 | - | 0,8 - 1,2 | - | - | 0,5 - 1,3 | 0,1 за 24 ч | 0,032 |
| Пенокарбамид (мипора) | 20 | До 130 | - | 0,05 | - | - | - | До 500 за 24 ч | 0,03 |

Часть II Технологические процессы машиностроительного производства и технология конструкционных материалов

17 Лабораторная работа № 17

Изготовление литейной формы *)

Цель работы

Ознакомить студентов с модельной оснасткой и способами изготовления литейной формы по разъёмной и неразъёмной моделям.

Основные сведения

Литейным производством называется технологический процесс изготовления фасонных деталей или заготовок путём заливки расплавленного металла в форму. После затвердевания металл (расплав) принимает очертания формы и называется отливкой. Отливки могут быть деталями или заготовками, которые в дальнейшем подвергаются обработке.

Технология производства отливок складывается из следующих основных процессов:

- 1) изготовление моделей и стержневых ящиков;
- 2) приготовление формовочной и стержневой смеси;
- 3) изготовление форм и стержней;
- 4) сушка форм и стержней;
- 5) приготовление расплава и заливка формы;
- 6) выбивки отливок из форм и стержней из отливок.

Изготовление литейной формы – трудоёмкая и наиболее сложная операция, от которой в значительной мере зависит качество отливок. В единичном и мелкосерийном производстве формы изготавливаются вручную. Для каждого наименования отливки изготавливается своя литейная форма.

Различают следующие виды форм.

Разовые – служат для получения только одной отливки, после чего они разрушаются. Для их изготовления используют песчано-глинистые смеси, в состав которых входит кварцевый песок (85 – 90 %), огнеупорная глина (8 – 14 %), вода и связующие (жидкое стекло, искусственные смолы и др.).

Разовые формы могут быть сырыми, сухими, поверхностно – высушиваемыми и химически твердеющими.

Полупостоянные – изготавливаются из смеси с высоким содержанием глины и высокоогнеупорных материалов. Их применяют чаще всего при

Составлено при участии Казармщикова И.Т.
производстве крупных и тяжёлых отливок простой конфигурации.

При производстве отливок полость формы сохраняет свои очертания, получая лишь незначительные повреждения. Эти формы допускают многократную (до нескольких десятков раз) заливку металла с мелким ремонтом рабочей поверхности после получения каждой отливки.

Постоянные изготавливаются преимущественно из металла. Такие формы обеспечивают получение в одной форме нескольких тысяч, а иногда десятков тысяч отливок. Металлические формы – кокили – применяют в серийном производстве, а также при специальных способах литья.

17.3 Модели

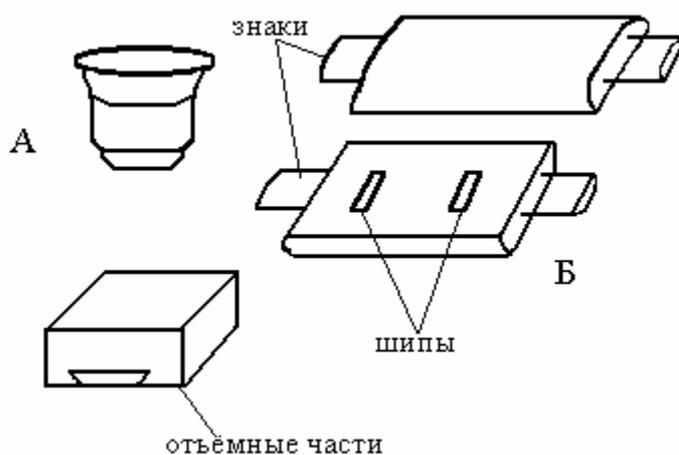
У литейной формы имеется рабочая часть – полость, в которой застывающий расплавленный металл приобретает очертания и размеры литой заготовки. Для получения в форме такой полости необходимо иметь модель. Конструкция модели должна обеспечить лёгкость выемки её из формы, поверхность модели должна быть прочной, не изменяться в размерах, противостоять влиянию влаги формовочной смеси.

Для чугунных отливок модели окрашивают в красный цвет, для стальных – в серый или синий, для цветных сплавов – в жёлтый. Стержневые знаки на модели окрашивают в чёрный цвет.

Модели изготавливают из дерева, цемента, гипса, пластмасс, полистирола, сплавов.

Модели бывают неразъёмные, разъёмные и с отъёмными частями. Их размеры превышают размеры деталей на величину усадки, которая составляет: для стали – 2 % ; для чугунов – 1 % ; для цветных сплавов – 1,2 - 1,5 %.

Неразъёмные модели (рисунок 17.1 А) – служат для производства несложных отливок, формовка которых может осуществляться в одной из половин формы.



А – неразъёмные, Б – разъёмные

Рисунок 17.1 - Модели

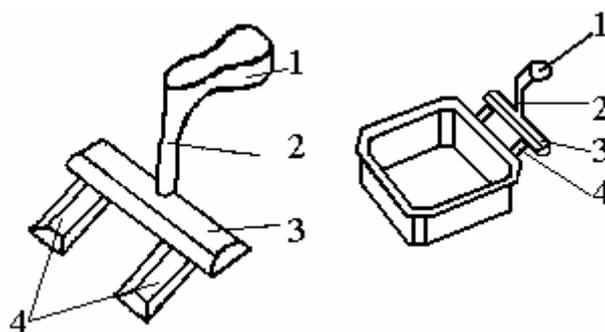
Разъёмные модели – применяются при производстве отливок более сложной конфигурации, состоящих из двух и более частей. Для точного соединения половин модели на одной из них выполнены шипы, а на другой – углубления (рисунок 17.1 Б). Отверстия в литых заготовках образуются с помощью стержней, которые вставляются в форму при её сборке. Конфигурация стержня соответствует конфигурации отверстия, полости.

Стержни изготавливаются в стержневых ящиках из стержневой смеси, которая от формовочной смеси отличается повышенной прочностью, газопроницаемостью, противопопригарностью. Для удержания стержня в нужном положении, во время заливки формы металлом, его вставляют в специальные углубления в форме, которые образуются выступами на модели, так называемыми знаками (рисунок 17.1 Б).

17.4 Литниковая система

Литниковой системой называют каналы в форме, предназначенные для подачи в форму расплавленного металла. Шлакоуловитель литниковой системы исключает возможность попадать неметаллическим включениям в тело отливки и служит для задержания шлака.

Литниковая система состоит из литниковой чаши 1, стояка 2, шлакоуловителя 3 и питателей 4 (рисунок 17.2). Литниковая чаша является сосудом, в который расплавленный металл поступает из разливочного ковша. Она служит для предотвращения разбрызгивания и смягчения удара струи металла. Стояк – вертикальный канал в верхней полуформе, соединяющий литниковую чашу со шлакоуловителем. Шлакоуловитель – горизонтальный, трапецевидного сечения канал, обычно выполняемый в верхней полуформе. Питатель – канал, служащий для непосредственного подвода металла к полости формы. Наличие большого количества питателей облегчает заполнение сложной формы металлом.



1 – литниковая чаша; 2 – стояк;
3 – шлакоуловитель; 4 – питатель

Рисунок 17.2 – Литниковая система

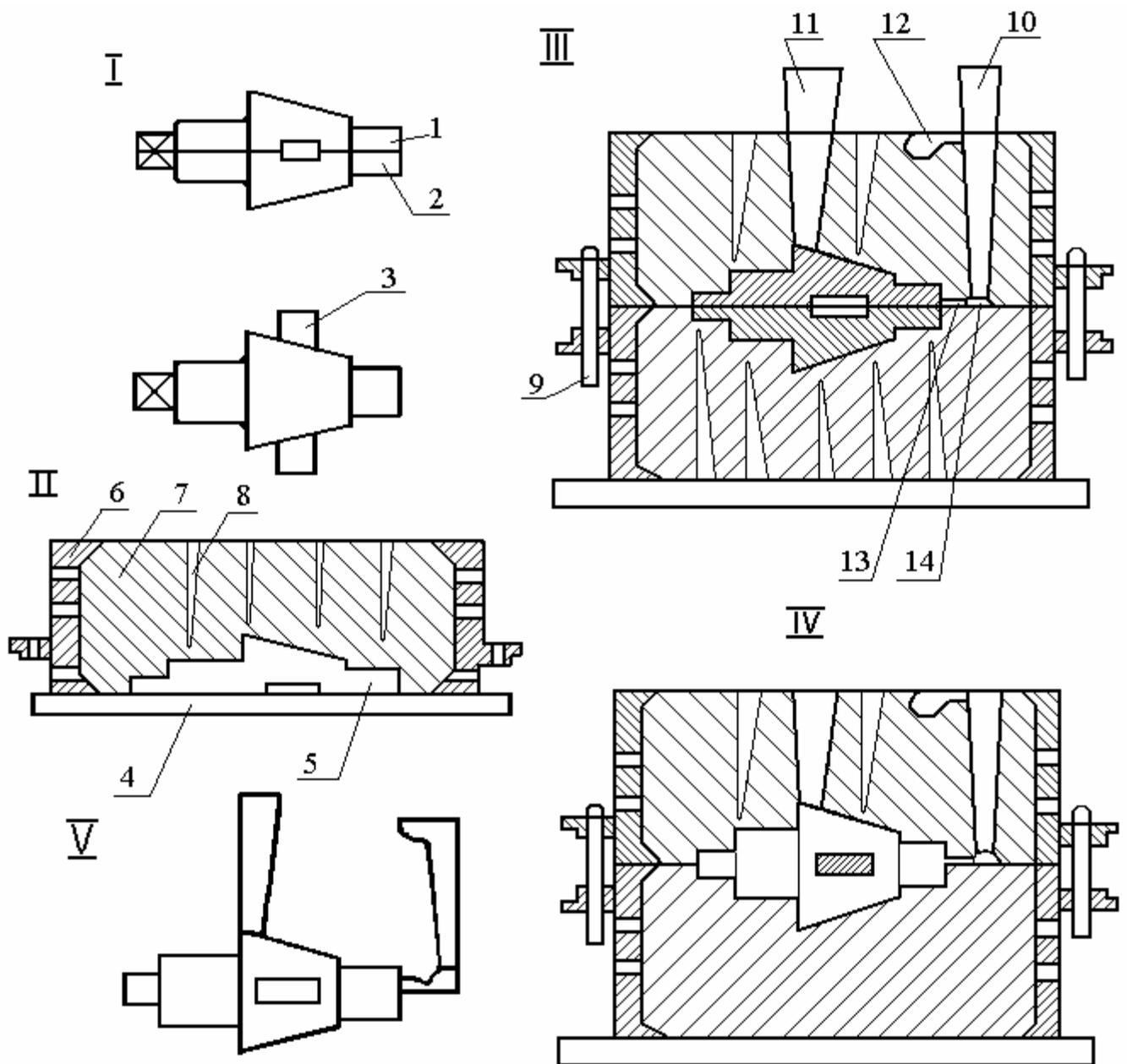
17.5 Порядок выполнения работы

17.5.1 Формовка в двух опоках по разъёмной модели (рисунок 17.3)

- 1) Установить половину модели без шипов и модель питателя на под-модельную плиту.
- 2) Установить нижнюю опоку строганной плоскостью вниз.
- 3) Припудрить модель графитом.
- 4) Заполнить опоку формовочной смесью.
- 5) Уплотнить смесь трамбовкой.
- 6) Снять линейкой излишки формовочной смеси.
- 7) Проделать (наколоть) вентиляционные каналы.
- 8) Перевернуть опоку на 180° и посыпать (припудрить) плоскость разъёма сухим разделительным песком.
- 9) Установить верхнюю опоку на нижнюю, скрепить их центрирующими штырями.
- 10) Наложить вторую половину модели отливки, установить модели шлакоуловителя, стояка и выпора.
- 11) Наполнить верхнюю опоку формовочной смесью и повторить операции из пунктов 4, 5, 6, 7.
- 12) Вырезать литниковую чашу и вынуть модели стояка и выпора.
- 13) Снять верхнюю опоку и перевернуть её на 180°.
- 14) Смочить края модели отливки питателя, шлакоуловителя и извлечь их.
- 15) Исправить полости формы гладилкой.
- 16) Припылить поверхность формы графитом.
- 17) Изготовить стержень в стержневом ящике и установить его.
- 18) Накрыть верхней опокой нижнюю и скрепить штырями.
- 19) Залить форму расплавленным металлом.
- 20) После кристаллизации металла раскрыть полуформы и извлечь отливки, предварительно разбив форму и замерить размеры.

17.5.2 Формовка по неразъёмной модели с подрезкой (рисунок 17.4)

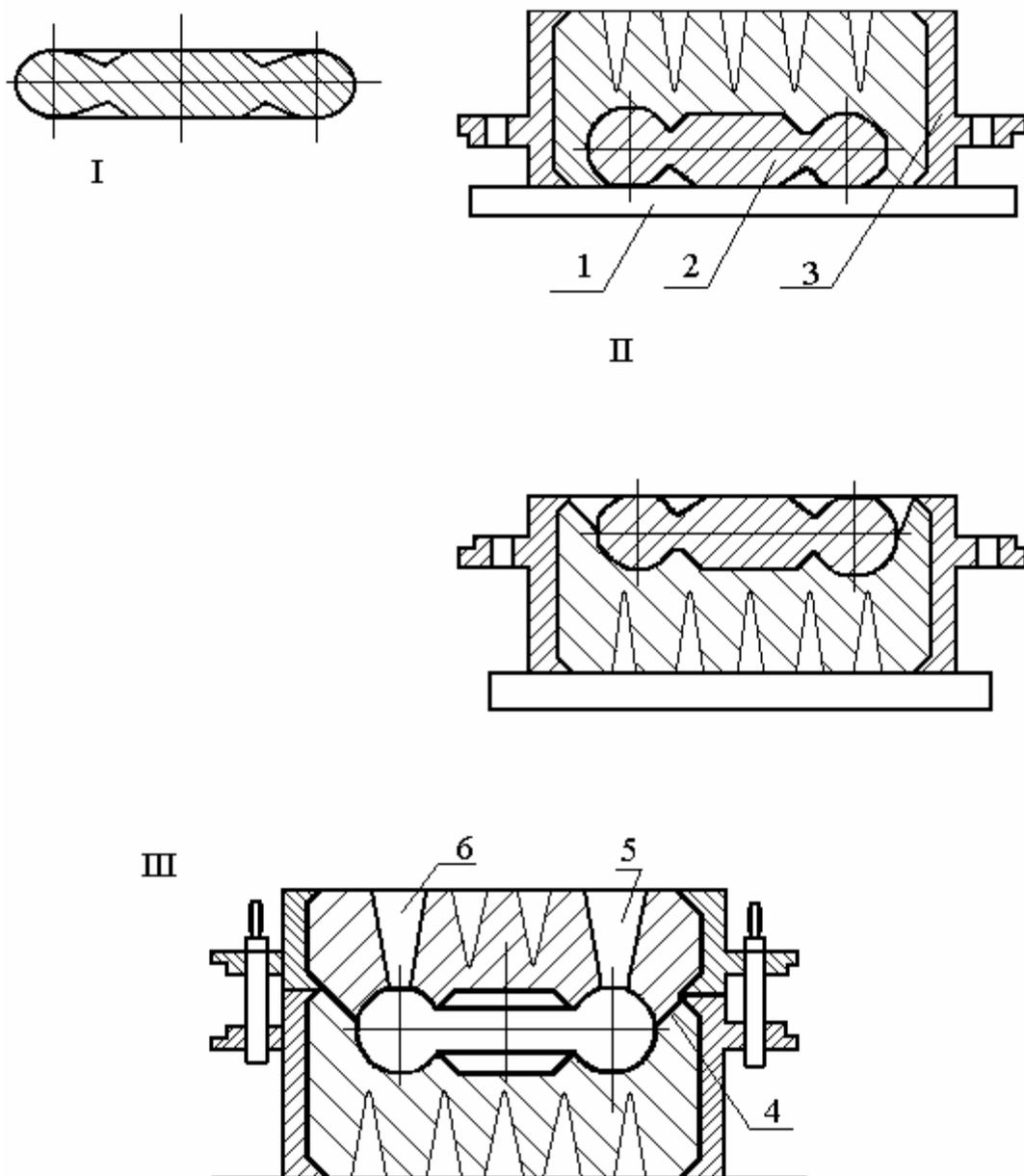
Применяется при изготовлении небольшого количества отливок, когда нецелесообразно изготавливать сложную разъёмную модель. Особенностью этого вида формовки является подрезка части смеси в нижней полуформе, после чего изготавливают вторую полуформу, в которой образуется выступающий болван, соответствующий подрезке в первой полуформе.



I – модель в двух проекциях; II – полуформа с полумodelью;
 III – форма; IV – форма перед заливкой; V - отливка

1 – верхняя полумodelь; 2, 5 – нижняя полумodelь;
 3 – стержневые знаки; 4 – подмодельная плита;
 6 – нижняя опока; 7 – песчано-глинистая смесь;
 8 – газоотводные каналы; 9 – штыри центрирующие;
 10 – модель литника; 11 – модель выпора; 12 – литниковая чаша; 13 – питатель; 14 – шлакоулавливатель

Рисунок 17.3 – Формовка в двух опоках по разъёмной модели



I – модель; II – изготовление формы; III – форма в сборе перед заливкой

1 – подмодельная плита; 2 – модель; 3 – нижняя опока;
4 – подрез; 5 – выпор; 6 – литник

Рисунок 17.4 – Формовка по неразъёмной модели с подрезкой

Порядок изготовления формы следующий.

На подмодельную плиту 1 устанавливают модель 2 и нижнюю опоку 3 (рисунок 17.4). В аналогичной последовательности (см. раздел 17.5.1) изготавливают нижнюю полуформу, в которой производят подрезку 4 вокруг модели по осевой плоскости.

После этого изготавливают верхнюю полуформу и производят сборку формы (см. раздел 17.5.1).

17.6 Содержание отчёта

- 17.6.1 Кратко изложить существующие методы формовки;
- 17.6.2 Дать характеристику и назначение модельной оснастки;
- 17.6.3 Зарисовать последовательность изготовления литейной формы в двух опоках по модели с подрезкой;
- 17.6.4 Описать назначение и устройство литниковой системы;
- 17.6.5 Зарисовать эскиз литой заготовки.

17.7 Контрольные вопросы

- 17.7.1 Назначение модели, стержня, стержневого ящика.
- 17.7.2 Назначение и устройство литниковой системы.
- 17.7.3 Из каких материалов изготавливают разовые, полупостоянные и постоянные формы?
- 17.7.4 Какие виды ручной формовки существуют?
- 17.7.5 Какие бывают виды форм?

18 Лабораторная работа № 18

Проектирование литой заготовки

18.1 Цель работы

18.1.1 Практически освоить основные положения и общие принципы методики проектирования литых заготовок, литейной формы в целом и отдельных её элементов.

18.1.2 Научиться определять размеры литой заготовки по чертежу детали.

18.1.3 Научиться разрабатывать простейшую литейную технологию.

18.2 Основные сведения

Для изготовления разовой литейной формы необходимо иметь модельный комплект, состоящий из литейной модели, стержневых ящиков, модели литниковой системы, подмодельных плит.

При выборе способа формовки необходимо учитывать размеры детали, ее конфигурацию и серийность производства.

Различают следующие виды производства:

- 1) единичное – до 200 отливок в год;
- 2) мелкосерийное – от 200 до 1000 отливок;
- 3) серийное – от 1000 до 20000 отливок;
- 4) крупносерийное – от 20000 до 100000 отливок;
- 5) массовое – от 100000 отливок.

В зависимости от сложности и конфигурации отливки модели могут быть неразъемные или разъемные. Конструкция модели должна обеспечить легкость ее извлечения из формы. Для получения в отливках отверстий и внутренних полостей в форму помещают стержень. Стержни изготавливаются в стержневых ящиках из стержневой смеси.

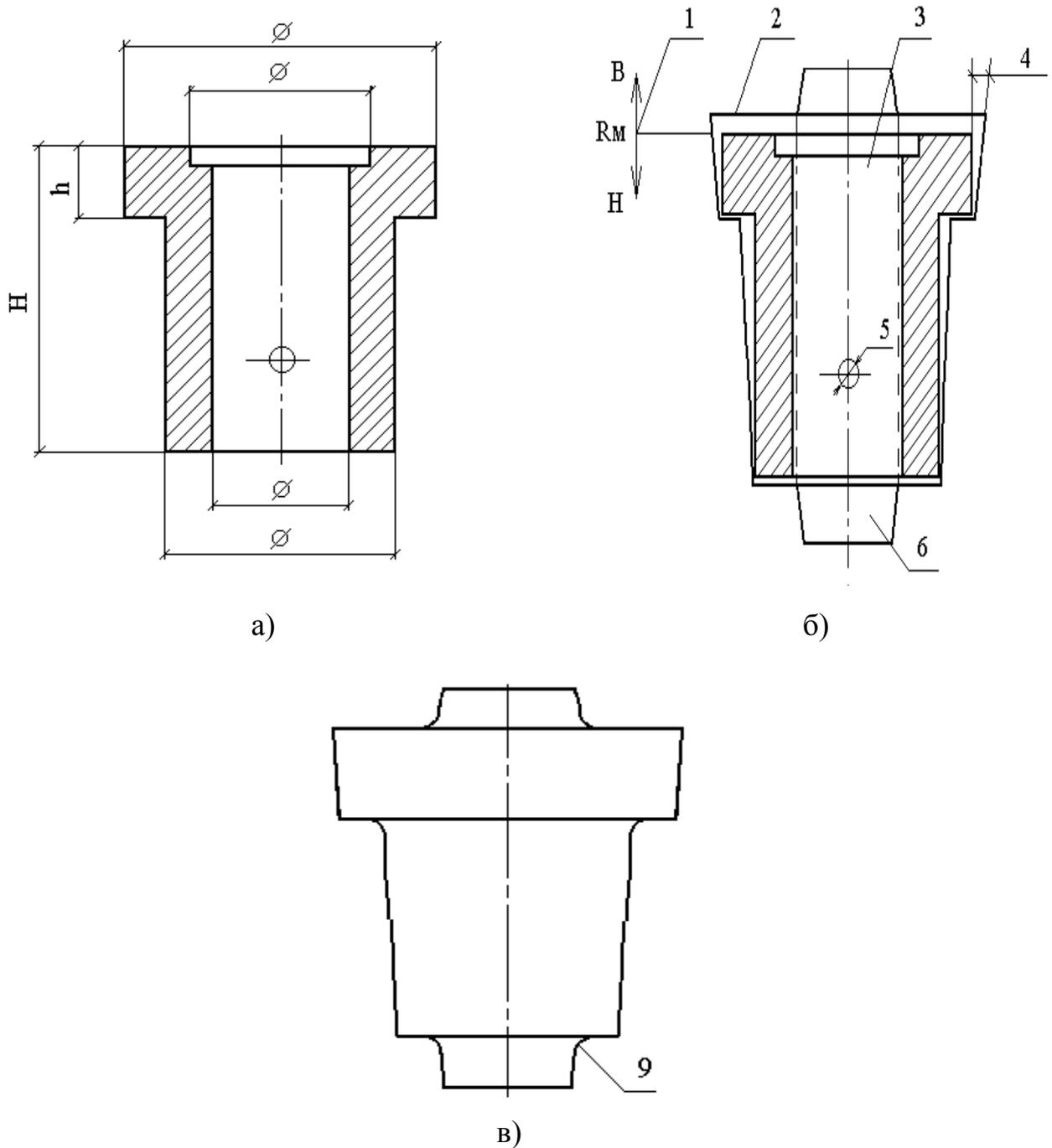
Для единичного производства применяют ручную формовку по деревянной модели. При серийном и массовом производстве разовые формы изготавливают на формовочных машинах по металлическим или пластмассовым модельным платам.

Основой для проектирования отливки является чертеж детали (рисунок 18.1 а). На чертеже детали кроме основных размеров указана шероховатость поверхности и в зависимости от ее величины студент решает вопрос о необходимости механической обработки данной поверхности. Остальные поверхности, которые не подлежат механической обработке, указаны знаком в правом верхнем углу чертежа.

Исходя из технологических особенностей изготовления данной детали, принятого способа формовки, расположения в форме, положение плоско-

сти разъема и возможных схем заливки форм жидким металлом, выполняется эскиз отливки.

На чертеже отливки (рисунок 18.1 б) условным обозначением наносят: припуски на механическую обработку; технологические припуски (литейные уклоны, напуски, галтели); линии разъема формы и контуры стержней и их знаковых частей; установки прибылей (если они необходимы); все размеры, марку сплава и т.п. Чертёж модели показан на рисунке 18.1 в.



а – чертеж детали; б – чертеж отливки; в – чертеж модели

Рисунок 18.1 – Основные чертежи для проектирования отливки

Припуск на механическую обработку – дополнительный слой металла, который удаляют в процессе механической обработки отливки. Припуски на механическую обработку назначают только на поверхности, где указана шероховатость или квалитет точности ниже 10. На чертеже детали припуск на механическую обработку указывают тонкой линией, штриховой или красным карандашом. Величина припуска на механическую обработку регламентируется ГОСТ 26645-85 в зависимости от класса точности, способов литья, размера отливки, а также положения обрабатываемой поверхности в процессе отливки.

В таблицах 18.1 и 18.2 приведены классы точности отливок и величины припусков на механическую обработку чугунных и стальных отливок.

Таблица 18.1 - Допуски линейных размеров отливок, мм, по ГОСТ 26645-85

| Интервалы номинальных размеров, мм | Класс точности размеров отливок | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7т | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13т | 13 | 14 |
| Св. 5 до 10 | 0,16 | 0,2 | 0,32 | 0,4 | 0,5 | 0,64 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | - |
| -//-16 – 25 | 0,2 | 0,24 | 0,4 | 0,5 | 0,64 | 0,8 | 1,0 | 1,6 | 2,0 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 |
| -//- 40 – 43 | 0,24 | 0,32 | 0,5 | 0,64 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 2,0 | 2,4 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 |
| -//-100 – 160 | 0,32 | 0,4 | 0,64 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,4 | 3,2 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 |
| -//-160 – 250 | 0,36 | 0,44 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,8 | 3,6 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 |
| -//- 250 – 400 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 3,2 | 4,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 |
| -//- 400 – 630 | - | 0,56 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 3,6 | 4,4 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 | 18,0 |
| -//-630 - 1000 | - | - | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 4,0 | 5,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 |

Таблица 18.2 - Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья (по ГОСТ 26645-85)

| Способ Литья | Наибольший габаритный размер отливки, мм | Металлы и сплавы | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
| | | цветные с температурой плавления ниже 700 °С | цветные с температурой плавления выше 700 °С | ковкий, высокопрочный и легированный чугуны, стали |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Под давлением в металлические формы | До 100 | $\frac{3т-5}{I}$ | $\frac{3-6}{I}$ | $\frac{4-7}{I}$ |
| | Св. 100 | $\frac{3-6}{I}$ | $\frac{4-7т}{I}$ | $\frac{5т-7}{I}$ |

Продолжение таблицы 18.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| В керамические формы и по вы – полняемым и выжигаемым моделям | До 100 | $\frac{3-6}{I}$ | $\frac{4-7T}{I-2}$ | $\frac{5T-7}{I-2}$ |
| | Св. 100 | $\frac{4-7}{I-2}$ | $\frac{5T-7}{I-2}$ | $\frac{5-8}{I-2}$ |
| В кокиль и под низким давлением в металлические формы с песчаными стержнями и без них, литье в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой | До 100 | $\frac{4-9}{I-2}$ | $\frac{5T-10}{I-3}$ | $\frac{5-11T}{I-3}$ |
| | Св. 100 до 630 | $\frac{5T-10}{I-3}$ | $\frac{5-11T}{I-3}$ | $\frac{6-11}{2-4}$ |
| | Св. 630 | $\frac{5-11T}{I-3}$ | $\frac{6-11}{2-4}$ | $\frac{7T-12}{2-5}$ |
| В песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, центробежное, сварные и сухие песчано-глинистые формы | До 630 | $\frac{6-11}{2-4}$ | $\frac{7T-12}{2-4}$ | $\frac{7-13T}{2-5}$ |
| | Св. 630 до 4000 | $\frac{7-12}{2-4}$ | $\frac{8-13T}{3-5}$ | $\frac{9T-13}{3-6}$ |
| | Св. 4000 | $\frac{8-13T}{3-5}$ | $\frac{9T-13}{3-6}$ | $\frac{9-14}{4-6}$ |
| <p>Примечание - В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе – ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям; большие значения – к сложным, мелкосерийного производства; Средние значения – к отливкам средней сложности и условиям серийного производства. Классы точности масс следует принимать соответствующими классам точности отливок.</p> | | | | |

Литейные уклоны на отливке облегчают извлечение моделей из формы без разрушения ее, и для свободного удаления стержня из стержневого ящика. Уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы. На чертеже формовочные уклоны указывают, как и припуски на механическую обработку, - красным карандашом или тонкими линиями. Величина формовочных уклонов регламентируется ГОСТ 3212-92 в зависимости от высоты боковых поверхностей (таблица 18.3).

Таблица 18.3 - Формовочные уклоны

| Измеряемая высота вертикальной поверхности, мм | Углы наклона моделей (не более) | |
|--|---------------------------------|------------|
| | металлических | деревянных |
| До 20 | 1°30′ | 3° |
| 21-50 | 1° | 1°30′ |
| 51-100 | 0°45′ | 1° |
| 101-201 | 0°30′ | 0°45′ |
| 201-300 | 0°30′ | 0°30′ |
| 301-500 | 0°20′ | 0°30′ |
| 501-800 | 0°20′ | 0°20′ |

Напуск - служит для упрощения изготовления отливки. Так отверстия в отливке диаметром 20-30 мм в условиях массового и серийного производства и диаметром до 50 мм в условиях единичного производства можно не делать, так как их целесообразнее просверлить в процессе механической обработки. В этом случае на чертеже отливки отверстия зачеркивают тонкими линиями.

Галтели – закругления внутреннего угла отливки в модели (рисунок 18.1 в) для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках. С помощью галтелей исключается осыпание формовочной смеси в углах модели при ее извлечении из формы. Нормативные материалы рекомендуют пользоваться нормальным рядом радиусов: 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 мм. Радиусы галтелей составляют 1/5-1/3 средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки.

Плоскость разъема формы и модели обозначают на чертежах буквами РМ и двумя стрелками с буквами В (верх) и Н (низ).

Литейный стержень – элемент литейной формы для образования отверстий, полости или иного сложного контура в отливке. Стержни бывают вертикальные и горизонтальные в зависимости от их положения при установке в форму. Конфигурацию и размеры стержней регламентирует ГОСТ 3606-80. Для правильной установки и крепления стержней в форме служат знаковые части стержня, которые у горизонтальных стержней делают прямыми, а у вертикальных с уклоном для удобства сборки формы. Длину знаков определяют в зависимости от длины стержня (таблицы 18.4 и 18.5).

Высоту верхнего знака принимают равной 60 % от высоты нижнего.

На чертеже стержни в разрезе штрихуют по контуру. Если стержней несколько, для каждого стержня применяют свою, отличающуюся от других штриховку.

Таблица 18.4 - Высота нижних вертикальных знаков стержня (мм)

| Диаметр стержня | Длина стержня, мм | | | |
|-----------------|-------------------|---------|----------|-------------|
| | до 150 | 151-500 | 501-1000 | 1001 и выше |
| До 100 | 20-30 | 50-70 | 100-120 | |
| 101-400 | 20-40 | 40-60 | 70-100 | 140-190 |
| 401-1000 | 40-50 | 40-50 | 60-100 | 110-180 |
| 1001 и выше | 60-100 | 60-110 | 60-110 | 80-150 |

Таблица 18.5 - Длина горизонтальных стержневых знаков (мм)

| Длина стержня, мм | Длина стержня, мм | | | | | |
|-------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| | до 50 | 51-150 | 151-300 | 301-500 | 501-750 | 750-1000 |
| До 25 | 15 | 25 | 40 | - | - | - |
| 25-50 | 20 | 30 | 45 | 60 | - | - |
| 51-100 | 25 | 35 | 50 | 70 | 90 | 110 |
| 101-200 | 30 | 40 | 55 | 80 | 100 | 120 |
| 201-300 | - | 50 | 80 | 90 | 110 | 130 |

Литейная модель – приспособление для получения в форме отпечатка, соответствующая конфигурации внешней поверхности отливки.

Чертеж модели составляют по наружным очертаниям детали с технологическими указаниями, причем все размеры увеличивают на коэффициент линейной усадки. В среднем коэффициент линейной усадки принимается: для серого чугуна – 1 %; для стали – 2 %; для цветных сплавов – 1 - 1,5 %.

На рисунке 18.1 в дан эскиз деревянной модели для ручной формовки.

Конструкция отливки должна иметь плавные переходы от больших сечений к меньшим (рёбра жесткости, окна) с целью равномерного охлаждения и предотвращения внутренних напряжений и трещин.

С целью повышения точности отливок и упрощения моделей и процесса формовки необходимо стремиться к неразъемным моделям.

Сборкой называется процесс соединения отдельных частей формы в одно целое и подготовка формы к заливке. Сборка формы состоит из следующих операций: установка и крепление стержней, установка верхней опоки, крепление опок, установка литниковой чаши, контроль правильности сборки. Форма в сборе должна быть показана на чертеже так, чтобы было видно положение стержней и литниковых каналов, выпоров, прибылей и способов крепления опок.

На рисунке 18.2 показана форма в сборе, а на рисунке 18.3 – готовая отливка.

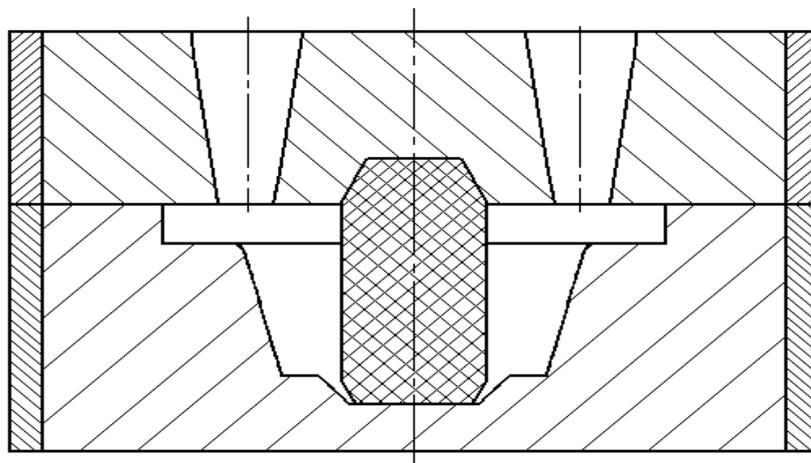


Рисунок 18.2 – Литейная форма в сборе

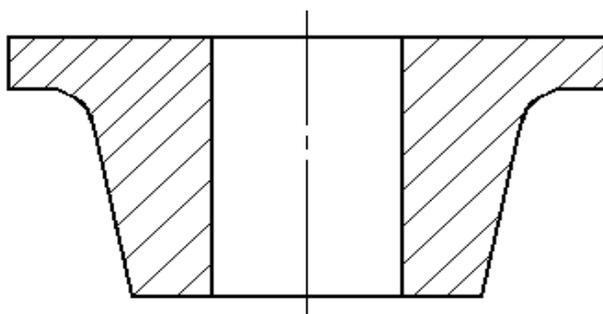


Рисунок 18.3 – Эскиз отливки

18.3 Порядок выполнения работы

- 18.3.1 Получить чертеж детали;
- 18.3.2 Определить линии разъема модели и формы, положение отливки в форме и выбрать способ формовки;
- 18.3.3 Определить количество стержней, их контуры, размеры знаков;
- 18.3.4 Указать, какие исправления внесены в чертеже отливки, чтобы она была технологична;
- 18.3.5 Определить припуски на механическую обработку;
- 18.3.6 Разработать чертеж отливки и нанести технологические указания на чертеж;
- 18.3.7 Определить размеры уклонов и галтелей;
- 18.3.8 Рассчитать размеры модели и стержня, вычертить их;
- 18.3.9 Разработать чертеж «форма в сборе».

18.4 Содержание отчёта

18.4.1 Чертеж литейной формы в сборе;

18.4.2 Чертеж детали с разработанной литейной технологией: указать разъем, величину уклонов, галтелей, припусков на механическую обработку, определить контур стержня и его границы;

18.4.3 Привести характеристику металла;

18.4.4 Эскиз модели и стержня с размерами;

18.4.5 Начертить эскиз «форма в сборе».

18.5 Контрольные вопросы

18.5.1 Что относится к модельному комплекту?

18.5.2 Назначение модели и требования, предъявляемые к ее изготовлению.

18.5.3 Назначение стержней и стержневых знаков.

18.5.4 В каких случаях назначаются припуски на механическую обработку и их определения?

18.5.5 Назначение формовочных уклонов и их определение.

18.5.6 Назначение галтелей и их определение.

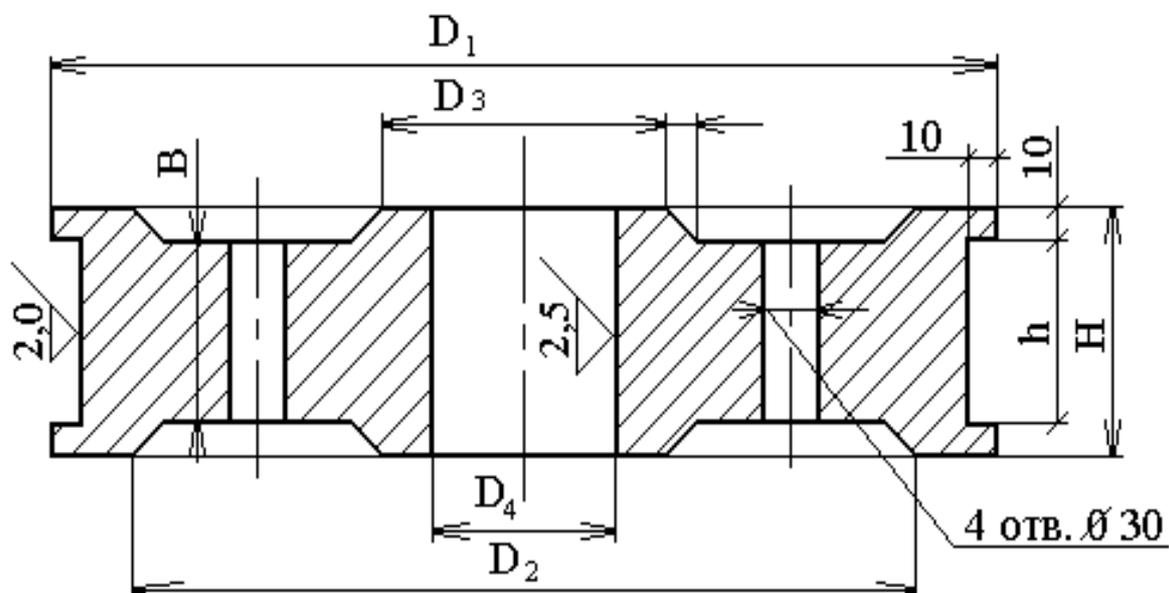
18.5.7 Как учитывается усадка металла при изготовлении моделей?

18.5.8 Чем размеры модели отличаются от размеров отливки?

18.5.9 Чем размеры отливки отличаются от размеров конструкторского чертежа?

**Приложение А
(обязательное)**

Вариант № 1

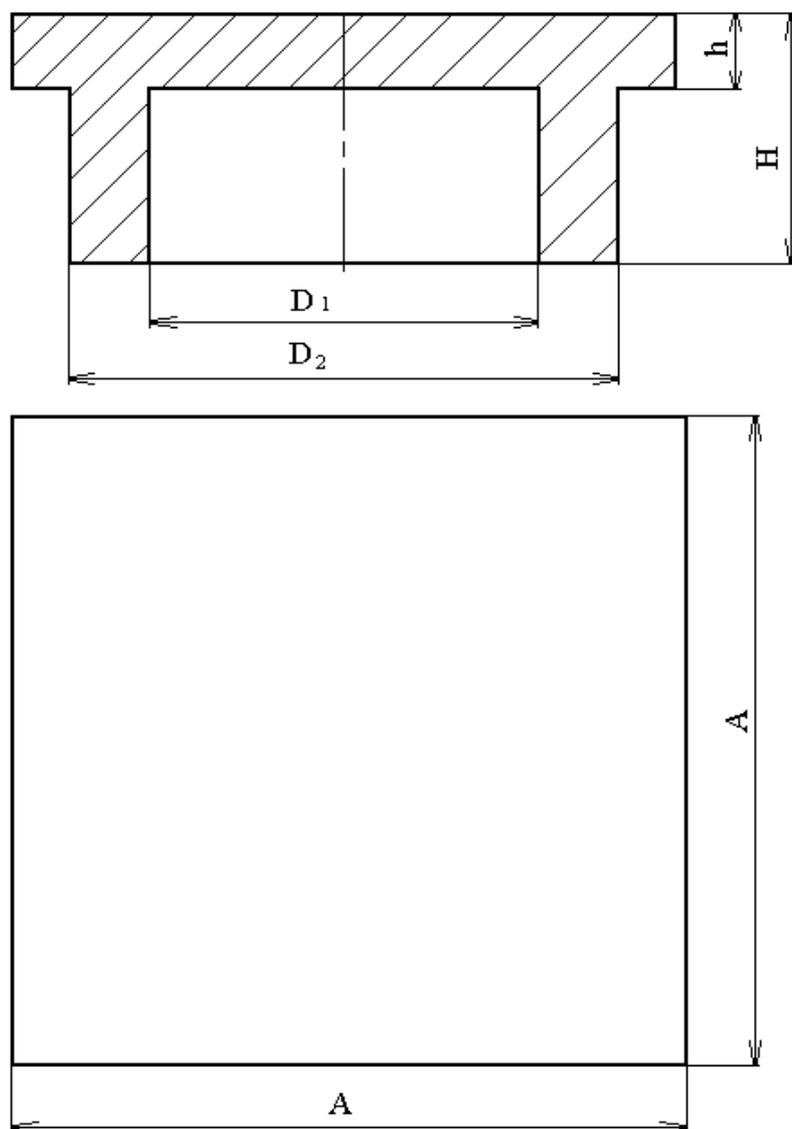


| D1 | D2 | D3 | D4 | H | B | Марка металла |
|-----|-----|-----|----|----|----|---------------|
| 190 | 140 | 50 | 20 | 60 | 25 | СЧ30 |
| 200 | 150 | 50 | 20 | 60 | 30 | СЧ45 |
| 220 | 160 | 60 | 30 | 80 | 35 | ВЧ 60 |
| 240 | 180 | 60 | 30 | 80 | 35 | БрОЦС 6-6-3 |
| 260 | 200 | 80 | 40 | 80 | 35 | БрО-30 |
| 300 | 240 | 80 | 40 | 90 | 35 | БрАЖН 11-6-6 |
| 380 | 300 | 100 | 50 | 90 | 40 | БрАМц 9 – 2 |

**Приложение Б
(обязательное)**

Вариант № 2

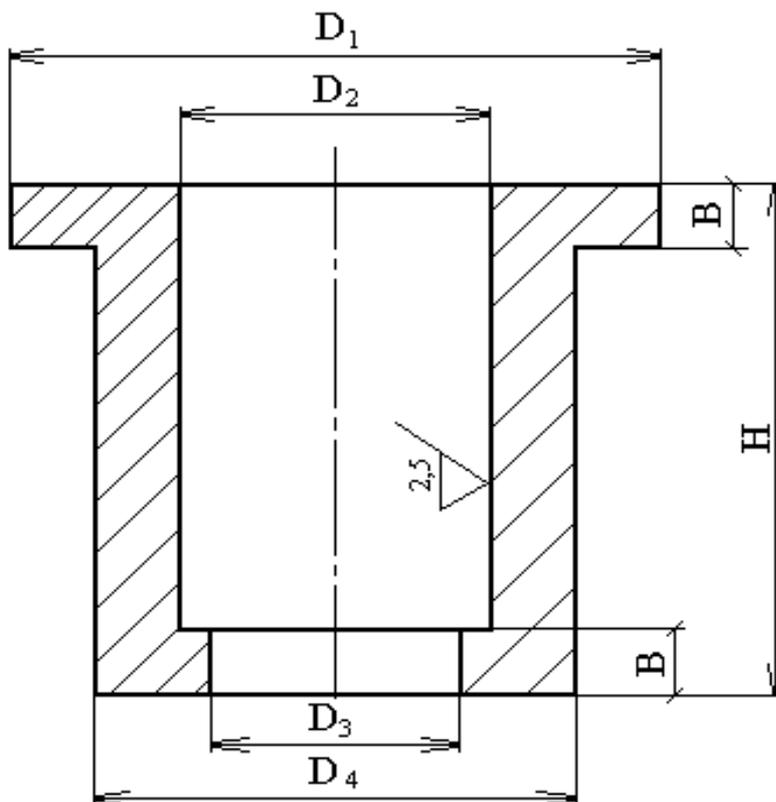
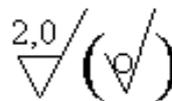
10/ (✓)



| A | D1 | D2 | H | h | Марка материала |
|-----|-----|-----|----|----|-----------------|
| 100 | 50 | 80 | 40 | 15 | СЧ20 |
| 120 | 70 | 100 | 50 | 15 | СЧ45 |
| 130 | 70 | 110 | 60 | 20 | 35Л |
| 140 | 80 | 120 | 70 | 20 | 20ХМЛ |
| 150 | 90 | 120 | 70 | 20 | 20ГСЛ |
| 170 | 100 | 140 | 80 | 20 | 35МГСЛ |

**Приложение В
(обязательное)**

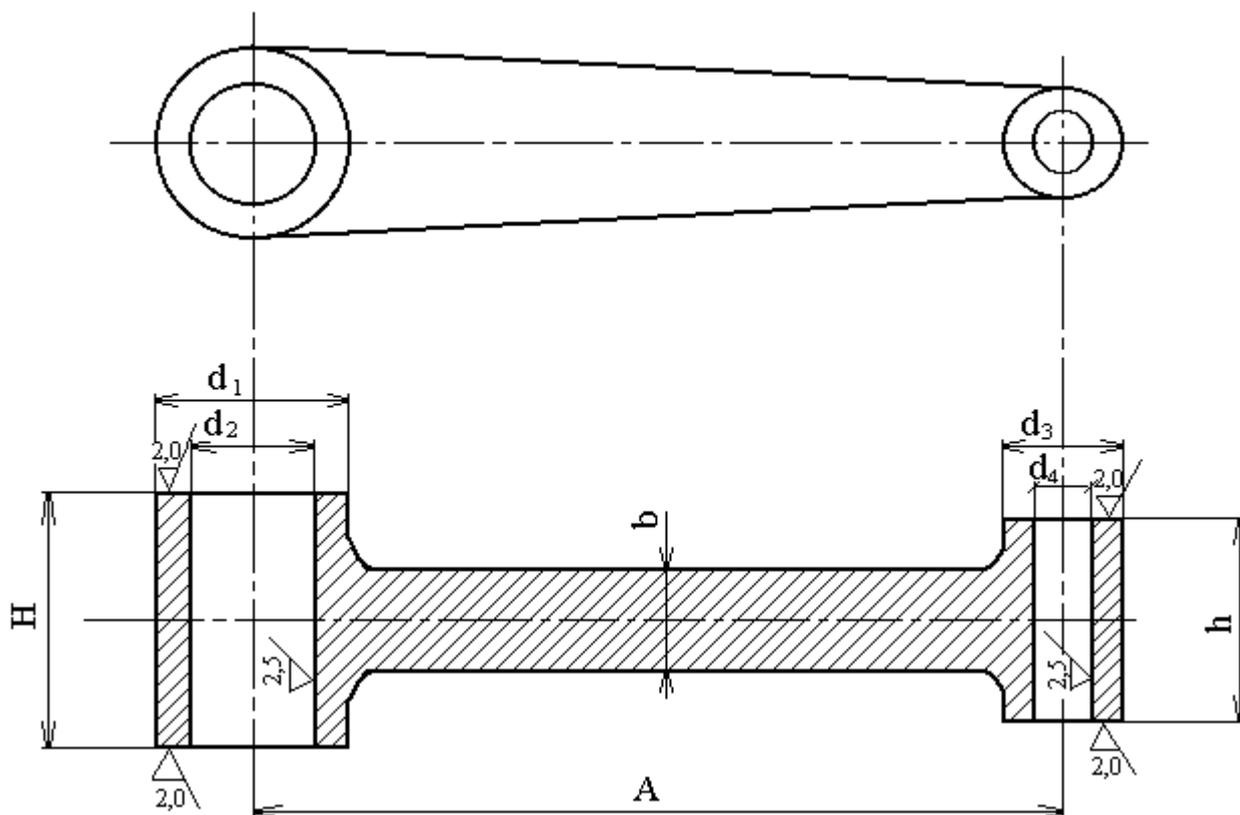
Вариант № 3



| D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | H | B | Марка материала |
|-------|-------|-------|-------|-----|----|-------------------|
| 200 | 120 | 100 | 160 | 180 | 20 | БрАМц9-2Л |
| 300 | 220 | 200 | 260 | 280 | 20 | БрАЖ9-4Л |
| 400 | 300 | 270 | 350 | 320 | 25 | БрОФ6,5-0,15 |
| 450 | 350 | 320 | 400 | 410 | 25 | БрС30 |
| 500 | 360 | 350 | 440 | 470 | 30 | БрСЦ60-25 |
| 550 | 430 | 400 | 490 | 500 | 30 | БрОЦС5-5-5 |

**Приложение Г
(обязательное)**

Вариант № 4



| d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | H | h | A | b | Марка материала |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|----|-----------------|
| 70 | 40 | 50 | 20 | 60 | 45 | 110 | 20 | СЧ10 |
| 90 | 50 | 60 | 20 | 80 | 70 | 150 | 25 | СЧ30 |
| 120 | 80 | 70 | 30 | 100 | 80 | 200 | 30 | ВЧ120-2 |
| 130 | 80 | 90 | 40 | 120 | 100 | 250 | 30 | 35Л |
| 140 | 90 | 120 | 70 | 150 | 130 | 300 | 35 | 35ХНЛ |
| 150 | 90 | 130 | 70 | 160 | 140 | 350 | 40 | 45ХМЛ |
| 180 | 110 | 160 | 90 | 200 | 170 | 400 | 40 | 30ГСЛ |

19 Лабораторная работа № 19

Изучение металлосберегающей технологии радиального обжатия и накатки

19.1 Цель работы

19.1.1 Изучить технологические возможности и область применения радиального обжатия и накатки;

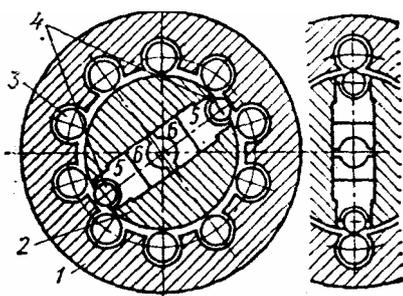
19.1.2 Ознакомиться с устройством и работой применяемого оборудования и инструмента.

19.2 Основные сведения

19.2.1 Радиальное обжатие

Сущность процесса радиального обжатия состоит в пластическом деформировании осесимметричной заготовки путем приложения пульсирующей нагрузки со стороны двух или более бойков, в результате чего площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а ее длина увеличивается. После каждого обжатия заготовку перемещают вдоль ее оси на определенную величину, называемую подачей.

В качестве оборудования применяют ротационно-обжимные и радиально-обжимные машины. На ротационно-обжимных машинах происходит вращение (ротация) бойков вокруг оси круглой заготовки (рисунок 19.1), а на радиально-обжимных бойки не вращаются (рисунок 19.2).

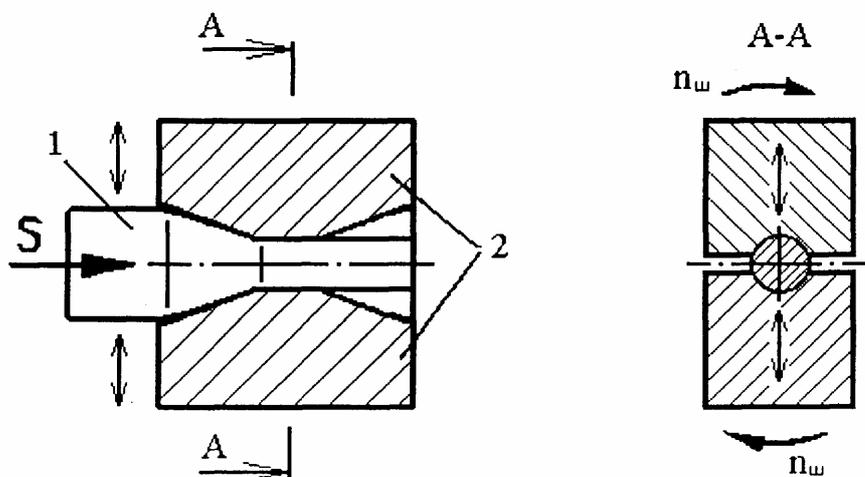


1 – обойма, 2 – шпиндель, 3 – ролики обоймы,
4 – ролики ползунов, 5 – ползуны, 6 – штампы

Рисунок 19.1 – Схема работы ротационно-ковочной машины

Радиальное обжатие осуществляют с нагревом или без нагрева заготовки. Характер деформирования близок к всестороннему сжатию, поэтому радиальному обжатию можно подвергать труднодеформируемые малопластич-

ные материалы (инструментальные стали). При относительно малой деформации от единичного обжатия заготовка не может иметь достаточно высокую суммарную степень деформации за весь цикл обжатия.



1 – заготовка; 2 – бойки

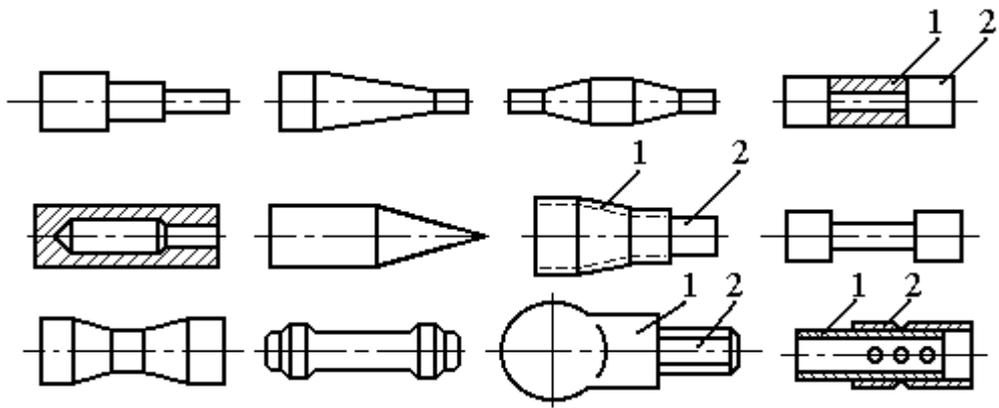
Рисунок 19.2 – Схема радиального обжатия

По сравнению с обработкой резанием метод радиального обжатия имеет следующие преимущества: более высокая (в 3 - 10 раз) производительность, существенная (до 30 – 60 %) экономия металлов, высокая точность обработки (7 - 9 качества) и низкая шероховатость поверхности ($Ra = 1,25 - 0,63 \text{ мкм}$).

Как недостаток следует отметить высокий уровень производственного шума при работе ротационно-обжимных машин. Указанный недостаток устранён у радиально-обжимных машин. Холодное обжатие на ротационно-обжимных машинах применяют для обработки прутков диаметром до 60 мм и полых заготовок диаметром до 150 мм. На небольших машинах обрабатывают такие миниатюрные детали, как например, швейные иглы диаметром 0,3 мм, а на крупных – стальные трубы диаметром до 320 мм и сплошные ступенчатые валы диаметров до 250 мм.

Таким образом, радиальное обжатие является прогрессивным металлосберегающим способом серийного изготовления ступенчатых валов, получения шлицев, резьбы, деталей со сложной конфигурацией полости, выполнения некоторых сборочных операций (закрепление троса в наконечнике, соединение трубок и т.д.). Типовые детали, полученные обжатием, изображены на рисунке 19.3.

В комплект инструмента обжимных машин входят бойки и применяемые для получения полых изделий оправки. Материалом для изготовления бойков и оправок служат инструментальные стали (У10, ХВГ, Х12Ф1) и твердые сплавы (ВК15, ВК20).



1, 2 – соединяемые детали

Рисунок 19.3 – Типовые детали, получаемые радиальным обжатием

Для определения режима обработки на ротационно-обжимных машинах рассчитывают следующие параметры процесса:

1) Частоту обжатия заготовки m , об/мин, определяют по формуле

$$m = k_c \cdot n_{ш} \cdot n_p,$$

(19.1)

где $k_c = 0,4 \dots 0,5$ – коэффициент, учитывающий вращение сепаратора;

$n_{ш}$ – частота вращения шпинделя, об/мин;

n_p – число роликов в сепараторе.

У машины В-203 $n_{ш} = 550$ об/мин, $n_p = 12$.

2) Абсолютное обжатие Δd заготовки определяют по формуле

$$\Delta d = d_0 - d.$$

(19.2)

Для определения относительного обжатия заготовки ε , %, применяют формулу

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100.$$

(19.3)

3) Коэффициент вытяжки K_B определяют из соотношения

$$K_B = \frac{l}{l_0},$$

(19.4)

где l - длина обжатого участка поковки (задается чертежом),
 l_0 - длина обжимного участка исходной заготовки.

19.2.2 Накатка

Накаткой называется непрерывная обработка заготовки поверхностным пластическим деформированием для образования резьбы, рифлений, шлицев, зубьев и других профилей при помощи плоского или круглого накатного инструмента. В современном машиностроении и других отраслях промышленности соединения деталей в большинстве случаев выполняют разъёмными с помощью резьбы.

Сущность метода накатки резьбы заключается в том, что она образуется в результате пластической деформации вращающейся вокруг своей оси цилиндрической заготовки при ее радиальном обжатии резьбонакатными инструментами, имеющими негативный профиль резьбы.

Процесс накатки резьбы имеет ряд преимуществ по сравнению с изготовлением ее резанием: а) при резьбонарезании волокна металла неизбежно перерезаются, а при накатке они изгибаются, повторяя контур профиля резьбы, обеспечивают оптимальную макроструктуру (рисунок 19.4); б) образующийся при накатке наклеп поверхностного слоя в сочетании с волокнистой макроструктурой обеспечивает более высокую (на 24 – 40 %) прочность резьбы на срез и повышение в 1,5 - 3 раза усталостной прочности деталей с накатанной резьбой; повышенную прочность и износостойкость.

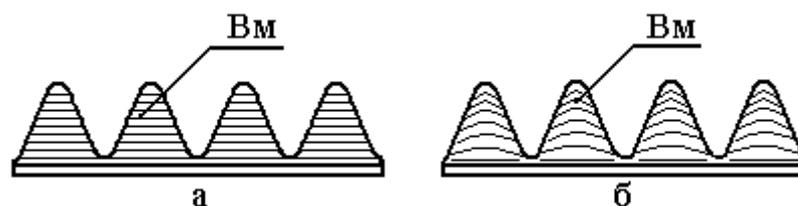


Рисунок 19.4 – Характер расположения волокон металла (ВМ) при нарезании (а) и накатке (б) резьбы

Качество накатанной резьбы во многом определяется правильным выбором марки материала и диаметра заготовки, необходимой шероховатости ее поверхности. При накатке резьбы треугольного профиля номинальный диаметр заготовки d_0 можно определять по формуле

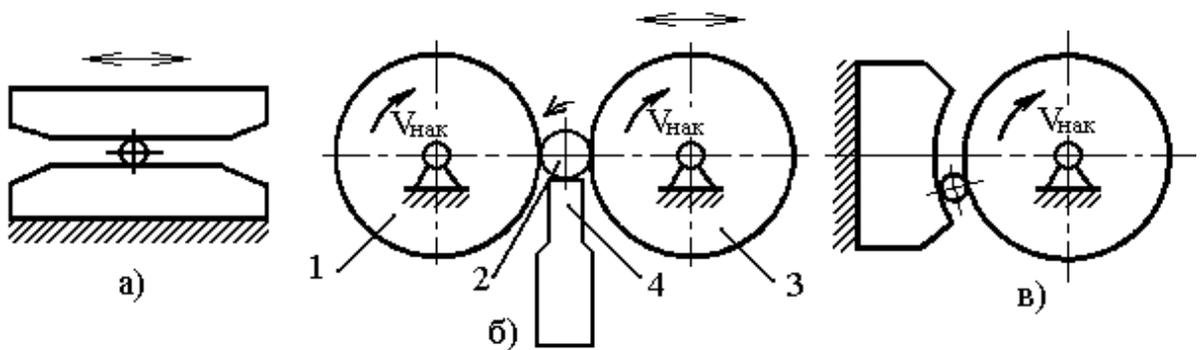
$$(19.5) \quad d_0 = d_2 = (d - 0,7 \cdot p)$$

где p – шаг резьбы, мм;

d, d_2 – соответственно наружный и средний диаметры резьбы, мм.

Наиболее пригодными при накатке резьбы материалами являются углеродистые стали марок 25, 40, 45, низколегированные стали 40Х, 40ХН, нержавеющие стали и цветные металлы.

Наибольшее распространение получила схема накатки резьб двумя приводными роликами при радиальной подаче одного из них (рисунок 19.5). Схему применяют для получения метрической резьбы повышенной точности диаметром 3 - 68 мм с шагом 0,5 - 6,0 мм и длиной 100 - 120 мм.



а – плоскими плашками; б – двумя роликами;

в – роликом и сегментной плашкой

1 и 3 – накатные ролики; 2 – заготовка; 4 – ножевая опора

Рисунок 19.5 – Схема накатки резьбы

Заготовка 2 перед накаткой устанавливается на ножевой опоре 4. Ролики 1 и 3 имеют равный диаметр и принудительно вращаются в одном направлении, причем ролик 3 при своем вращении получает радиальную подачу и прижимает заготовку к ролику 1. Оси накатных роликов и заготовки параллельны и лежат в одной плоскости. Резьба накатных роликов вдавливается в заготовку и оставляет на ней негативный отпечаток.

Резьба роликов: для правых резьб – левая многозаходная, для левых резьб – правая многозаходная. При достижении требуемой глубины резьбового отпечатка ролик 3 после небольшой выдержки быстро отводится в первоначальное положение. Готовая деталь удаляется и вводится следующая заготовка.

Резьбонакатные ролики изготовляют из стали марок Х12М, Х6ВФ и др. Число заходов резьбы роликов составляет $K_p = 2 - 52$; большее число заходов соответствует меньшим диаметрам резьб и меньшим шагам.

Наружный диаметр роликов D_n для метрических резьб рекомендуется рассчитывать по формуле

$$D_n = K_p (d - 0,7p) \quad (19.6)$$

Частоту вращения роликов n_p определяют по формуле

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_{\text{нак}}}{\pi \cdot D_n}, \text{ мин}^{-1},$$

где скорость накатки $v_{\text{нак}}$ в зависимости от материала заготовки составляет, м/с: для латуни 1,7 – 2 (100 – 120 м/мин), стали средней твердости 0,7 – 1 (40 – 60 м/мин).

19.3 Описание лабораторного оборудования

19.3.1 Ротационно-обжимная машина модели В-203

Основными сборочными единицами машины являются рабочая головка с механизмом обжатия, чугунный корпус (станина) и привод. Механизм обжатия имеет пустотелый шпиндель с направляющим пазом для двух бойков и двух ползунов. Головка шпинделя охватывается соосным с ним сепаратором, в гнездах которого установлены 12 штук цилиндрических роликов. Для предохранения бойков от выпадения механизм обжатия закрывается водоохлаждаемой заслонкой, удерживаемой во время работы защелкой. Сепаратор, ползуны, ролики, бойки и заготовка омываются и охлаждаются машинным маслом, подаваемым от шестеренного насоса через шпиндель.

Техническая характеристика ротационно-обжимной машины модели В-203:

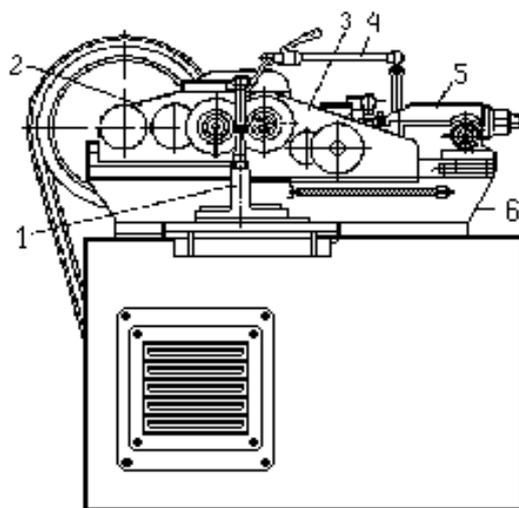
| | |
|---|-----------------------|
| продольные размеры диаметра | |
| исходной заготовки | 7,3 - 17,5мм |
| число бойков..... | 2 шт |
| ход бойков..... | 1 мм |
| частота вращения шпинделя..... | 550 мин ⁻¹ |
| установленная мощность электропривода | 1 х 2,8 кВт |

19.3.2 Резьбонакатный полуавтомат модели РНП – 1

В соответствии с технологией накатки резьбы полуавтомат состоит из двух органов: механизма, обеспечивающего вращение накатных роликов в одном направлении, и копирного устройства, создающего усилие накатки, необходимое для пластической деформации заготовки и образования на ней резьбы (рисунок 19.6).

Технические характеристики полуавтомата РНП-1:

| | |
|---|--------------|
| диаметр накатываемой резьбы | 5 - 33 мм |
| шаг накатываемой резьбы | 0,5 - 3,5 мм |
| наибольшая длина резьбы: | |
| при диаметре 33 мм..... | 20 мм |
| при диаметре 5 мм | 32 мм |
| наибольший ход подвижной головки | 20 мм |
| предельные значения скорости накатки...0,7 - 2 м/с (40 – 120 м/мин) | |
| мощность электродвигателя..... | 1 х 2,8 кВт |



1 – ножевая опора; 2 – неподвижная бабка; 3 – подвижная бабка; 4 – подвод СОЖ; 5 – ролик бабки упора; 6 – станина

Рисунок 19.6 - Резьбонакатной полуавтомат РНП – 1

Вращение к накатному ролику (рисунок 19.7) сообщается от электродвигателя М через клиноремённую передачу 100/375, сменные зубчатые колёса а/б, зубчатую передачу 18/55.

Уравнение кинематического баланса

$$1420 \cdot \frac{100}{375} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{18}{55} = n_p$$

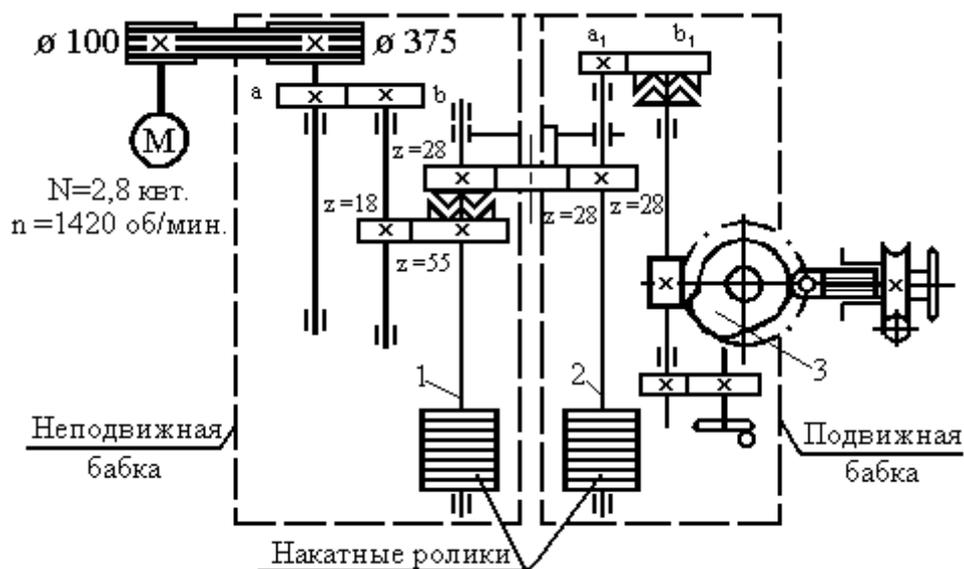


Рисунок 19.7 - Кинематическая схема резьбонакатного полуавтомата

Набором сменных колёс a/b можно регулировать частоту вращения накатного ролика в пределах: $39 - 265 \text{ мин}^{-1}$. От шпинделя 1 накатного ролика неподвижной бабки через зубчатые колёса с $z = 28$ передаётся вращение шпинделю 2 накатного ролика подвижной бабки с такой же частотой вращения. Поперечное перемещение подвижной бабки осуществляется от кулачка 3. Вращение кулачку сообщается от шпинделя 2 через сменные зубчатые колёса a_1/b_1 , в зависимости от времени накатывания резьбы.

19.4 Порядок выполнения работы

19.4.1 Изучите на рабочем месте устройство и принцип действия оборудования.

19.4.2 Произведите холодное обжатие заготовки; измерьте длину и диаметр поковки, визуально оцените ее качество.

19.4.3 На полуавтомате РНП-1 произведите накатку резьбы, хронометрируя продолжительность цикла; оцените качество полученной резьбы.

19.5 Содержание отчёта

19.5.1 Цель работы.

19.5.2 Описание сущности, достоинств, недостатков и области применения технологии радиального обжатия и накатки (с иллюстрациями, приведенными в руководстве).

19.5.3 Заполнить таблицу основных результатов эксперимента

Таблица - Основные технологические параметры радиального обжатия

Заготовка: $d_0 = \dots\dots\dots$ мм, $l_0 = \dots\dots\dots$ мм

| d, мм | ℓ, мм | K_c | m, обж/мин | ε, % | K_v |
|----------|----------|-------|---------------|------|-------|
| | | | | | |

19.5.4 Выводы.

19.6 Контрольные вопросы

19.6.1 В чем сущность радиального обжата?

19.6.2 Каковы достоинства и недостатки метода радиального обжата?

19.6.3 Расскажите о принципе работы ротационно-обжимной машины.

19.6.4 Какими преимуществами обладает резьба, полученная методом накатки?

19.6.5 Нарисуйте и объясните схему накатки резьбы двумя приведенными роликами.

19.6.6 Как определить диаметр заготовки для накатки резьбы М12?

20 Лабораторная работа № 20

Исследование процесса осадки

20.1 Цель работы

Изучить характер пластического формоизменения и влияние трения при осадке цилиндрических заготовок, рассчитать энергосиловые параметры процесса и оценить точность экспериментально-расчетного метода исследования.

20.2 Основные сведения

Осадкой называется процесс обработки металла давлением, в результате которого уменьшается высота заготовки и одновременно увеличиваются ее поперечные размеры (рисунок 20.1).

Осадка является одной из основных операций технологического процессаковки и одним из важнейших этапов процесса объемной штамповки. Эту операцию применяют в следующих случаях: для получения поковок с относительно большими поперечными размерами из заготовок меньшего поперечного сечения (поковки фланцев, дисков шестерен и т.п.); как предварительную операцию перед прошивкой для выравнивания торцов и увеличения диаметра при изготовлении поковок типа колец, барабанов, муфт; при объемной штамповке в заготовительном ручье – осадка в торец; для улучшения механических свойств и обеспечения благоприятной макроструктуры деформируемого металла.

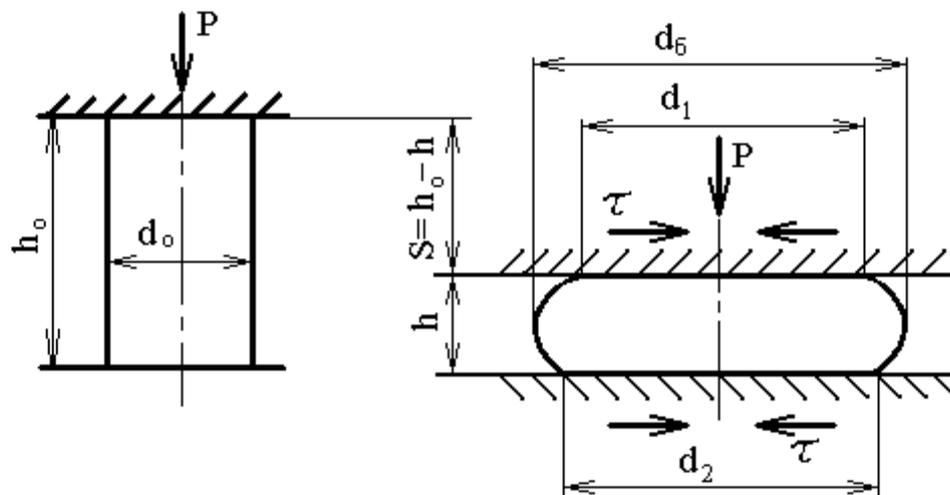


Рисунок 20.1 – Схема осадки

По схеме деформации осадка представляет собой сжатие – компонент деформации в направлении приложения усилия отрицателен, а два других компонента положительны. В частных случаях возможно равенство послед-

них между собой (простое сжатие) или равенство одного из них нулю (плоская деформация). В идеальном случае при отсутствии сил трения на поверхности контакта заготовки и рабочего инструмента схема главных напряжений при осадке соответствовала бы линейному сжатию. Однако в реальных условиях вследствие сил контактного трения схема главных напряжений при осадке соответствует схеме всестороннего неравномерного сжатия. Степень деформации при осадке (степень осадки) определяется соотношением (20.1)

$$\varepsilon = 1 - \frac{h}{h_0}, \quad (20.1)$$

где h и h_0 – соответственно высота поковки и заготовки.

На величину коэффициента контактного трения при осадке влияет состояние контактирующих поверхностей инструмента и заготовки, химический состав деформируемого металла, температурно-скоростной режим обработки и характер приложения нагрузки. Отрицательная роль контактного трения состоит в том, что оно вызывает неравномерность деформации: первоначально цилиндрическая заготовка приобретает при осадке бочкообразную форму, а развитие бочкообразности может вызвать продольные трещины на боковой поверхности заготовки. В результате неравномерности деформации получается различная по объёму поковки степень упрочнения и величина зерна, неравномерное распределение механических свойств металла.

Кроме того, контактное трение снижает стойкость инструмента, как в результате непосредственного износа контактной поверхности, так и вследствие дополнительного нагрева поверхности и увеличения напряжений в связи с ростом деформирующего усилия.

Деформирующее усилие – это активное усилие, которое должно развиваться кузнечно-штамповочным оборудованием на инструменте по направлению его перемещения. Знание деформирующего усилия, необходимого для осуществления операции осадки, позволяет правильно выбрать соответствующее оборудование. Для определения величины деформирующего усилия при осадке необходимо знать величину и распределение напряжений на поверхности контакта заготовки и инструмента, а также площадь контактной поверхности. Однако для практических расчетов используют понятие об удельном усилии q (среднем давлении) деформирования

$$P_p = qF \cdot 10^{-3}, \quad (20.2)$$

где P_p – расчетное значение деформирующего усилия, кН;

q – удельное усилие (среднее давление) деформирования, МПа;

F – площадь контактной поверхности, мм².

Определение удельного усилия деформирования связано с интегрированием дифференциальных уравнений равновесия совместно с так называемым условием пластичности деформируемого металла, что подробно рассматривается в теории обработки металлов давлением.

Для определения удельного усилия при осадке цилиндрической заготовки рекомендуются формулы, предложенные Е.П. Унксовым.

Для случая $\frac{d}{h} \leq 2$

$$q = \sigma_s \left(1 + \frac{f}{4} \cdot \frac{d}{h} \right);$$

для случая $\frac{d}{h} > 2$

$$q = \sigma_s \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{d}{h} - \frac{1}{3} \cdot \frac{h^2}{d^2} \right);$$

где d, h – соответственно диаметр и высота поковки, мм;

σ_s – истинное сопротивление деформации (напряжение текучести) металла, МПа;

f - коэффициент контактного трения при осадке.

Для осадки свинцовой заготовки при комнатной температуре, что моделирует условия горячей осадки стальных заготовок, можно принимать

$$\sigma_s = 30 \text{ МПа}; \quad f = 0,5 - 0,4.$$

Определение деформирующего усилия имеет существенное значение для практики и основной задачей силового анализа процессов обработки металлов давлением. Вместе с тем, при выборе кузнечно-штамповочного оборудования необходимо знать также работу деформирования. Для рассматриваемого случая практически приемлемой является приближенная формула М.В. Сторожева.

$$A_p = 10^{-3} \sigma_s \cdot V \cdot \left[\ln \frac{h_0}{h} + \frac{1}{9} \left(\frac{d}{h} - \frac{d_0}{h_0} \right) \right],$$

где A_p – расчетное значение работы деформирования при осадке, Н·м;

V – объем исходной заготовки, мм³;

d_0, h_0 – соответственно диаметр и высота исходной заготовки, мм.

20.3 Порядок выполнения работы

20.3.1 Подготовьте указанную в разделе 20.4 форму таблицы результатов измерений и расчетов;

20.3.2 Не включая оборудование, изучите на рабочем месте устройство и принцип действия испытательной машины или прессы; подготовьте приспособление и заготовки;

20.3.3 Измерьте диаметр и высоту каждой исходной заготовки;

20.3.4 Произведите осадку заготовки при усилиях 10, 25, 40 кН

$$q_n = \frac{100 \cdot P}{F_n},$$

где q_n – давление по манометру, кгс/см²;

P – заданное деформирующее усилие при поэтапной осадке, кН;

F_n – площадь поперечного сечения рабочего поршня гидравлического прессы, см².

20.3.5 Выключите оборудование, уберите на место приспособление, инструменты;

20.3.6 Обработайте результаты эксперимента, проведите необходимые расчеты, используя формулы и соотношения

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + d_\sigma}{3},$$

где d_{cp} – средний диаметр поковки, мм;

$$F = \frac{\pi \cdot d_{cp}^2}{4};$$

Относительную погрешность $\overline{\Delta P}$ определения деформирующего усилия рассчитайте по формуле

$$\overline{\Delta P} = \frac{P_p - P}{P} \cdot 100 \%;$$

20.3.7 Постройте графики (см. рисунок 20.2) зависимости

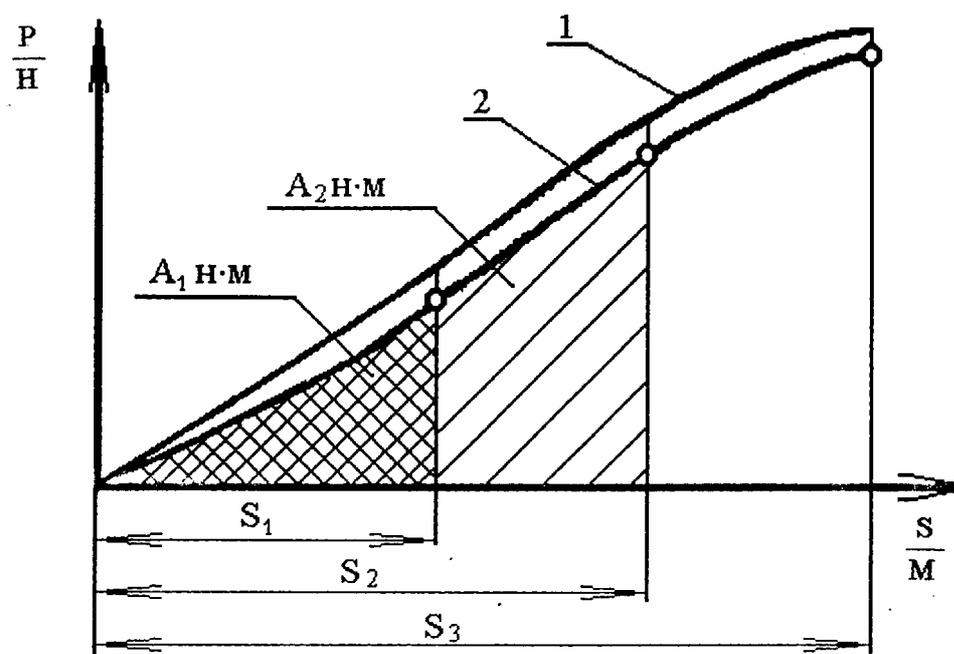
$$P_p = f(S); \quad P = f(S),$$

где путь осадки S , м, представляет собой разность

$$S = 10^{-3} (h_0 - h).$$

20.3.8 Для каждого этапа осадки определите фактическую работу деформирования A , как площадь (с нарастающим итогом) под кривой 2 (см. рисунок 20.2), рассчитайте относительную погрешность $\overline{\Delta A}$, % по формуле

$$\overline{\Delta A} = \frac{A_p - A}{A} \cdot 100 \%$$



1 – расчётный; 2 – фактический (экспериментальный)

Рисунок 20.2 – Энергосилового график процесса осадки

20.4 Содержание отчёта

20.4.1 Цель работы.

20.4.2 Эскизы исходной заготовки и поковки (см. рисунок 20.1) и графики 1 и 2 процесса осадки (см. рисунок 20.2).

20.4.3 Описание сущности и области применения операции осадки.

20.4.4 Результаты измерений и расчетов (в форме прилагаемой таблицы), а также расчетные формулы с расшифровкой параметров.

Таблица для занесения результатов работы

Результаты измерения и расчетов.

Исходная заготовка: $d_0 = \dots$ мм, $h_0 = \dots$ мм.

| тапы осад- ки | Размеры поковки, | | | | Па | , м ² | , | р ^н Н | , | Н | ,% | р ^н ·М | , | ·М | ,% |
|---------------------|---------------------|---|---|----|----|------------------|---|---------------------|---|---|----|----------------------|---|----|----|
| | мм | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | б | ср | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

20.4.5 Выводы.

20.5 Контрольные вопросы

20.5.1 Что называется осадкой?

20.5.2 Объясните, почему при осадке наблюдается бочкообразование.
Как предотвратить это явление?

20.5.3 Как строится энергосиловой график процесса осадки?

20.5.4 Как рассчитывают степень деформации при осадке?

20.5.5 Как рассчитывают величину деформирующего усилия при осадке?

20.5.6 Расскажите об устройстве и принципе работы прессы (испытательной машины) для осадки заготовок.

21 Лабораторная работа № 21

Устройство и работа гидравлического пресса

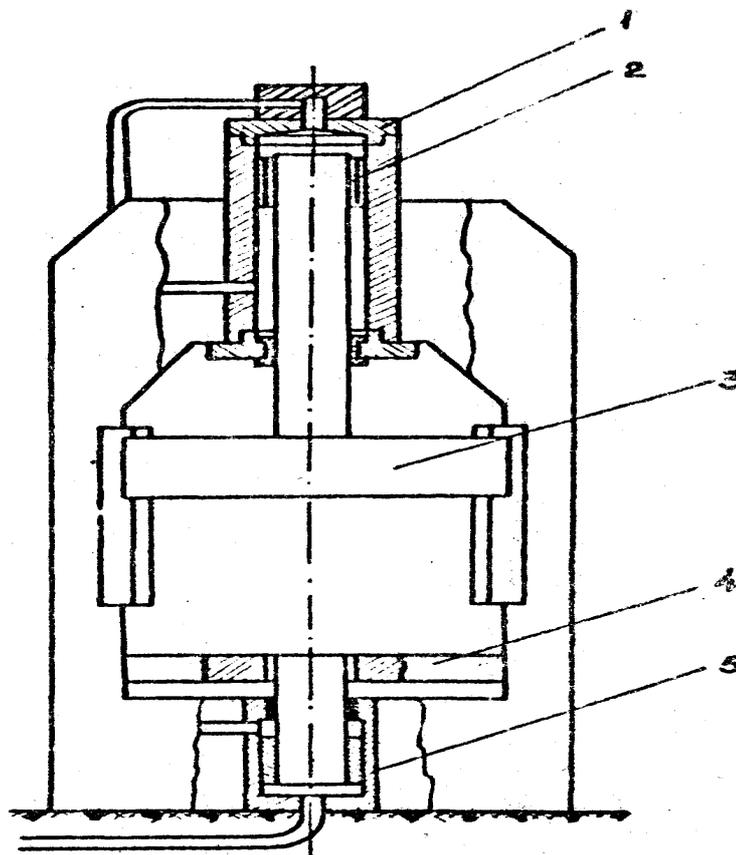
21.1 Цель работы

21.1.1 Ознакомление с устройством и работой гидравлического пресса на примере пресса 1Д2037.

21.1.2 Освоение методики расчёта усилия прессования при заданном удельном усилии.

21.2 Общие сведения

Действие гидравлических прессов основано на законе гидравлического давления Паскаля. Схема пресса показана на рисунке 21.1.



1 – главный цилиндр; 2 – поршень;
3 – ползун; 4 – стол; 5 – выталкиватель

Рисунок 21.1- Схема гидравлического пресса

В верхнюю (поршневую) полость главного цилиндра 1 пресса (рису-

нок 21.1) подается рабочая жидкость (масло) высокого давления, которая давит на поршень 2 и перемещает его вместе со штоком и ползуном 3 вниз. В нижней части ползуна крепится прессовый инструмент (пуансоны, верхние половины пресс-форм, верхние части штампов и т.д.). Вторая часть инструмента (матрицы, нижние половины пресс-форм, нижние части штампов) крепится к столу пресса. Обратный подъем ползуна совершается путем подачи рабочей жидкости в нижнюю (штоковую) часть главного цилиндра. Извлечение готового изделия из пресс-формы производится с помощью выталкивателя 5, установленного в нижней части пресса.

Гидравлические прессы используют для прессования профильных изделий, глубокой втяжки металла, листовой штамповки, изготовления деталей из металлических порошков, получения пластмассовых изделий и т.д. Кафедра МТМ располагает гидравлическими прессами с номинальными усилиями от 0,1 до 4 МН. Среди них 1Д2037, ПЛ474, П6320 и др.

Данная лабораторная работа посвящена изучению устройства и работы гидравлических прессов на примере пресса 1Д2037. Расчёт усилия пресса для достижения заданного удельного усилия производится по формуле

$$P = \frac{p}{F},$$

где P – усилие, создаваемое прессом в направлении, нормальном к рассматриваемому сечению заготовки, МН;

p – удельное усилие прессования,ковки, штамповки и т.д., МПа;

F – площадь поперечного сечения заготовки, м².

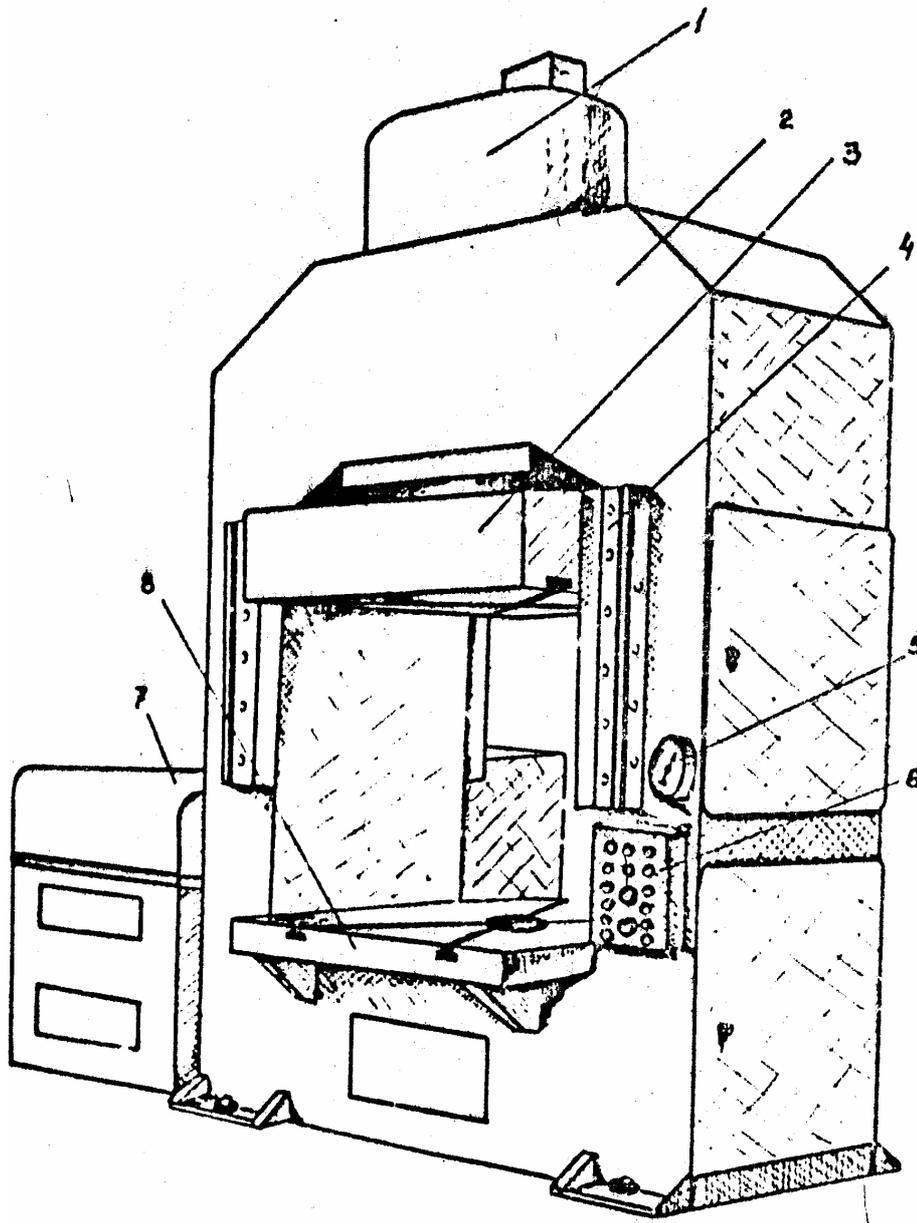
21.3 Гидравлический пресс 1Д2037

Основные технические характеристики гидравлического пресса 1Д2037:

| | |
|--|-----------|
| - номинальное усилие пресса, т | 4 |
| - наибольший ход ползуна, мм | 720 |
| - открытая высота пресса (расстояние между столом и поднятым ползуном), мм | 1200 |
| - расстояние к свету (между стойками), мм..... | 1100 |
| - размеры рабочей поверхности ползуна, мм | 1250x1000 |
| - размеры рабочей поверхности стола, мм | 1250x1000 |

Основные сборочные единицы пресса смонтированы на станине 2 (рисунк 21.2), представляющей собой сварную конструкцию коробчатой формы. В верхней части станины установлен главный цилиндр 1, в нижней – цилиндр выталкивателя.

В левой нише станины расположены трубопроводы, а в правой – панели электрооборудования пресса. Массивная плита 8 с центральным отверсти-



1 - главный цилиндр; 2- станина; 3- ползун; 4- направляющие; 5- манометр; 6- пульт управления; 7- гидропривод; 8- стол

Рисунок 21.2 - Общий вид гидравлического пресса 1Д2037

ем и «Т» - образными пазами является стол пресса. На столе закрепляют пресс-формы, штампы или иной прессовый инструмент. На горизонтальных листах расположены регулируемые призматические направляющие 4, по которым перемещается ползун 3.

Ползун пресса представляет собой пустотелую, открытую сверху, чугунную отливку коробчатой формы, усиленную ребрами жесткости. На рабочей плоскости ползуна имеются центральное отверстие и «Т» - образные пазы, предназначенные для крепления подвижных частей прессовой оснастки.

На верхней центральной части ползуна расположено присоединительное место для крепления к штоку главного цилиндра 1.

На прессе установлен главный цилиндр поршневого типа. В стальном корпусе, закрытом сверху крышками, находится поршень, насаженный на шток. Уплотнение крышек и штока достигается резиновыми манжетами, поршня – чугунными поршневыми кольцами. Подвод рабочего масла в поршневую полость осуществляется через торец крышки, а в штоковую – через штуцер.

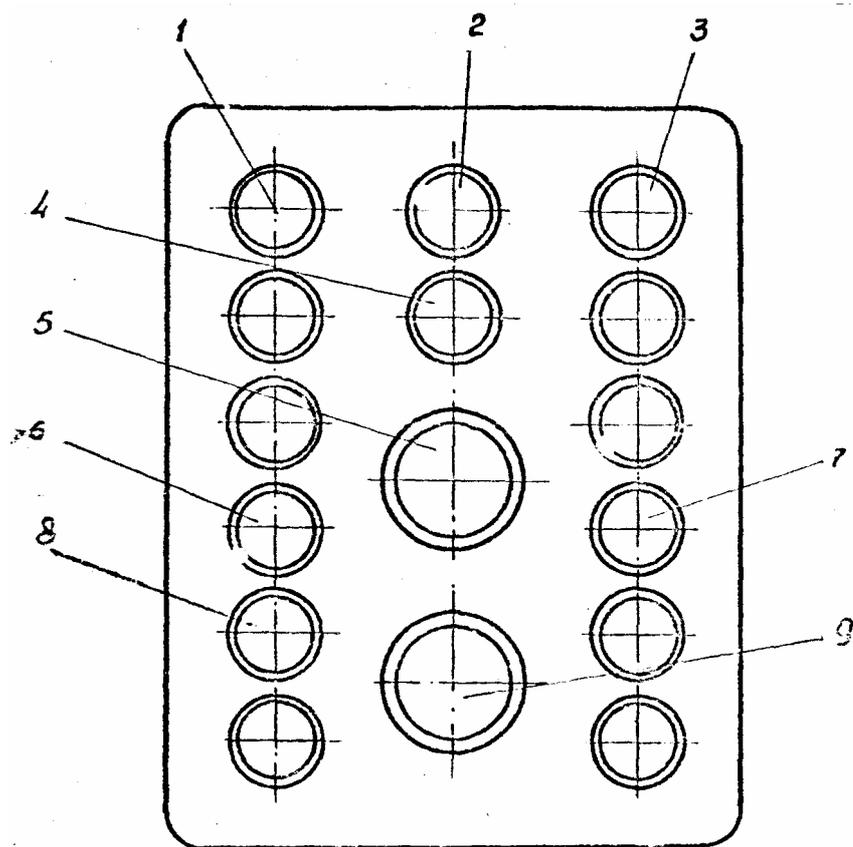
Выталкиватель по конструкции и принципу действия сходен с главным цилиндром пресса.

В качестве гидравлического привода пресса служит гидроагрегат, представляющий собой самостоятельную установку. Помимо гидроагрегата в систему привода пресса входит станция гидропривода, являющаяся дополнением к гидроагрегату и позволяющая обеспечивать высокие рабочие скорости главного цилиндра и выталкивателя. Станция гидропривода состоит из бака с маслоохладителем, гидропанели и насосной установки, обеспечивающей наряду с насосами гидроагрегата, высокое давление жидкости. Гидропанель представляет собой устройство с системой клапанов и золотников, обеспечивающих направление масла в ту или иную полость цилиндров. Гидропанель соединена системой трубопроводов с насосами, главным цилиндром и цилиндром выталкивателя. Станция гидропривода соединена с гидроагрегатом специальной трубой.

Управление работой пресса осуществляется нажатием кнопок на пульте управления 6, расположенном на правой стойке станины пресса. Масло поступает в соответствующую полость цилиндра до тех пор, пока нажата кнопка. При включении кнопки 1 «двигатель пуск» (рисунок 21.3.) начинают работать двигатели пресса, приводящие в действие насосы гидропривода. После нажатия кнопки 3 «ползун вниз» включается электромагнит Э2 (рисунок 21.4.); золотник 1 смещается вправо, и масло от лопастного насоса направляется в поршневую полость главного цилиндра. Туда же направляется масло от насоса гидроагрегата.

Жидкость из штоковой полости через поддерживающий и обратный клапаны объединяется в золотнике реверса с основным потоком от насосов и направляется в поршневую полость главного цилиндра, т.е. осуществляется перелив масла из штоковой полости в поршневую. Ползун идет вниз.

После достижения заданного давления (давление контролируется по показаниям манометра 5, пересчет показаний манометра и усилия пресса представлен в таблице 21.1.) кнопку «ползун вниз» отпускают и после выдержки при давлении нажимают кнопку 3 «Ползун вверх» (рисунок 21.3), при этом электромагнит Э2 (рисунок 21.4.) обесточивается, и включаются электромагниты Э1 и Э3. Золотник 1 смещается влево, и масло от лопастного насоса поступает в штоковую полость главного цилиндра. Из поршневой полости жидкость через золотник реверса направляется в бак. Поршень вместе с ползуном поднимается вверх.

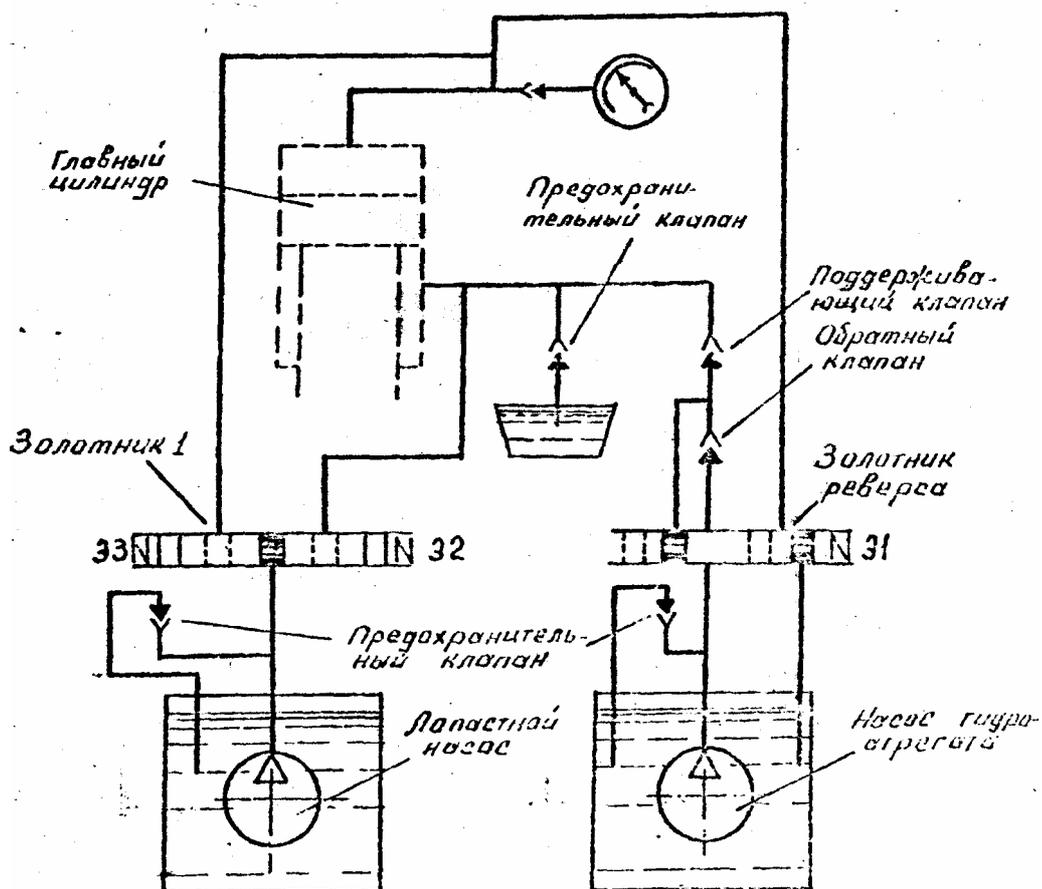


1 – кнопка включения двигателя; 2 – кнопка выключения двигателя; 3 – кнопка «Ползун вниз»; 4 – сигнальная лампа «Сеть»; 5 – рукоятка наладки; 6 – тумблер «выдержка с двигателем»; 7 – тумблер «Работа с подпрессовкой»; 8 – кнопка «Ползун вверх»; 9 – аварийный разъем (общий «Стоп»).

Рисунок 21.3 - Пульт управления

Таблица 21.1 - Усилия пресса 1Д2037

| Показания манометра, кг/см ² | Усилие пресса, МН | Показания манометра, кг/см ² | Усилие пресса, МН |
|---|-------------------|---|-------------------|
| 0,0 | 0,0 | | |
| 31,1 | 0,5 | 155,7 | 2,5 |
| 62,2 | 1,0 | 186,6 | 3,0 |
| 93,6 | 1,5 | 217,5 | 3,5 |
| 124,3 | 2,0 | 248,1 | 4,0 |



1 – золотник; 2 – главный цилиндр; 3 – предохранительный клапан;
 4 – поддерживающий клапан; 5 – обратный клапан; 6 – золотник реверса;
 7 – предохранительный клапан; 8 – лопастной насос;
 9 – насос гидроагрегата, Э1, Э2 и Э3 – электромагниты

Рисунок 21.4 - Гидравлическая схема пресса 1Д2037

Для обеспечения безопасной работы на многих прессах предусмотрено двуручное управление. Суть такого управления состоит в том, что во избежание попадания рук в зону действия пресса последний может быть включен только одновременным нажатием двух кнопок, находящихся на пульте управления на таком расстоянии друг от друга, что дотянуться до них одновременно пальцами одной руки невозможно. Поэтому включение производится только двумя руками.

На прессе 1Д2037 безопасная работа достигается тем, что зона действия пресса ограждена специальными створками (на рисунке 21.2 ограждение не показано). При закрывании створок срабатывают конечные выключатели, обеспечивающие возможность запуска двигателей пресса. Если створки раздвинуты, то электрическая цепь двигателей разомкнута и запустить их в работу нельзя.

21.4 Порядок выполнения работы

21.4.1 Ознакомьтесь с принципом работы гидравлических прессов, а также с устройством и работой пресса 1Д2037.

21.4.2 Руководствуясь таблицей 21.1 и разделом 21.2, рассчитайте показания манометра пресса для достижения заданного удельного усилия при обработке конкретной заготовки определенной формы и размеров (задание выдается преподавателем).

21.4.3 Под наблюдением лаборанта или преподавателя включите пресс. Для этого:

- а) закройте с обеих сторон пресса ограждающие створки;
- б) нажмите на пульте управления кнопку «Двигатель пуск»;
- в) нажмите кнопку «Ползун вниз». После опускания ползуна на 100-200 мм отпустите кнопку (это задание по указанию преподавателя может быть видоизменено. Если на прессе закреплены части штампа или пресс-формы, то студенты могут опустить ползун до соприкосновения верхней и нижней частей прессового инструмента и, наблюдая за показаниями манометра, достичь заданного усилия).
- г) нажмите кнопку «Ползун вверх». Отпустите кнопку.
- д) нажмите кнопку «Двигатель стоп».

21.5 Содержание отчёта

21.5.1 Цель работы.

21.5.2 Принцип действия гидравлических прессов и их назначение.

21.5.3 Схема гидравлического пресса.

21.5.4 Расчет усилия прессования (штамповки) заданного изделия при данном удельном усилии.

21.6 Контрольные вопросы

21.6.1 На каком принципе основано действие гидравлических прессов?

21.6.2 Каковы области применения гидравлических прессов?

21.6.3 Какие основные сборочные единицы входят в конструкции гидравлического пресса?

21.6.4 Как обеспечивается безопасная работа на гидравлических прессах?

21.6.5 По какой формуле производится расчет усилия прессования?

22 Лабораторная работа № 22

Изучение устройства и принципа действия кривошипного пресса

22.1 Цель работы

Ознакомление с устройством, принципом действия и назначением кривошипного пресса и приемами его паспортизации.

22.2 Общие сведения

Каждая кузнечно-штамповочная машина в своей структуре содержит три главных механизма: двигательный (двигатель), передаточный и исполнительный.

Воспринимая энергию носителя, двигатель превращает ее в кинетическую энергию передаточного и исполнительного механизмов или в потенциальную энергию передаточного рабочего тела.

Носителем энергии, или рабочим телом, в двигательных механизмах современных кузнечно-штамповочных машин является пар, газ, жидкость или электричество.

Привод по типу может быть индивидуальным или групповым.

Основная характеристика передаточного механизма определяется способом осуществления связи исполнительного органа с двигателем. Различают жесткую механическую связь, или связь через упругий элемент конструкции машины, и нежесткую связь, осуществляемую рабочим телом (пар, газ, жидкость, электромагнитное поле). В некоторых типах машин в период рабочего хода эта связь прерывается.

Преобразование кинетической энергии или потенциальной в механическую работу пластической деформации осуществляется при помощи движения рабочих органов, которыми в кузнечно-прессовых машинах могут быть: ползун, коромысло, траверса, баба, валки, ролики и т. п., в кривошипном прессе это ползун и исполнительные механизмы штампов.

Воздействие исполнительного механизма на обрабатываемый металл имеет периодический или непрерывный характер, а отдача накопленной энергии обрабатываемому металлу осуществляется нажимом или ударом.

Рабочие органы кузнечно-штамповочных машин могут совершать:

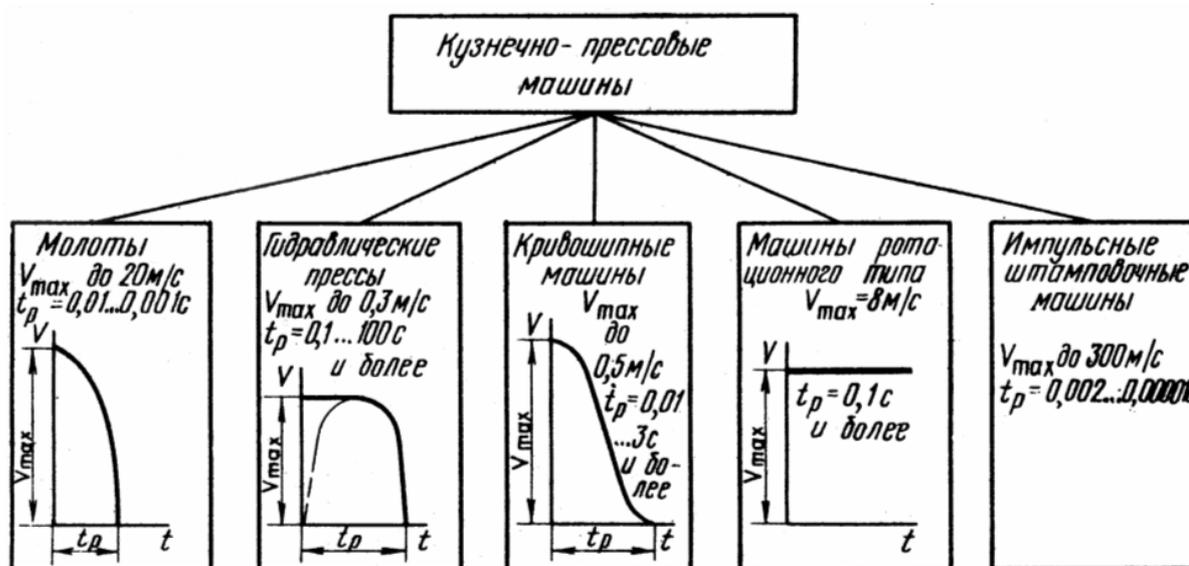
- а) возвратно-поступательное прямолинейное или криволинейное движение;
- б) качательное движение;
- в) вращательное движение.

В зависимости от связей в передачах изменение скорости рабочего органа в период рабочего хода может быть заданным в условиях жестких механических связей, или произвольным, зависящим от субъективных факторов, при нежестких связях.

22.3 Характеристика кузнечно-прессовых машин

Современное кузнечно-штамповочное производство (КШП) оснащается новым оборудованием, представляющим собой автоматизированные и роботизированные комплексы, автоматы, уникальные кузнечно-прессовые машины, специальное оборудование, но основным оборудованием КШП остаются молоты и прессы.

Все кузнечно-штамповочные машины по характеру изменения скорости движения деформирующего инструмента в интервале рабочего хода могут быть разделены на пять групп (рисунок 22.1).



V_{max} - максимальная скорость движения подвижных частей;
 t_p - время рабочего хода подвижных (рабочих) частей

Рисунок 22.1 – Классификация кузнечно-прессовых машин по кинематике рабочего хода

К первой группе относят молоты. Они являются машинами ударного действия и имеют нежесткую характеристику изменения скорости движения деформирующего инструмента. Время рабочего хода изменяется в зависимости от сопротивления материала заготовки деформированию, а скорость инструмента изменяется от v_{max} до 0.

Ко второй группе относят гидравлические прессы и машины, имеющие нежесткую характеристику изменения скорости деформирующего инструмента. Рабочий ход этих машин может начинаться со скорости, равной нулю, или со скорости близкой, к максимальной скорости. Это машины статического действия.

К третьей группе относят кривошипные машины с жесткой характеристикой изменения скорости движения деформирующего инструмента (от \max до 0). Характеристика изменения скорости зависит от кинематики кривошипно-шатунного механизма машины.

К четвертой группе относят машины ротационного типа (ковочные вальцы и ротационно-ковочные машины), частота вращения деформирующего инструмента у этих машин постоянна.

К пятой группе относят импульсные штамповочные машины и машины для гидравлической, пневматической и вакуумной штамповки. Они также имеют нежесткую характеристику изменения скорости движения деформирующего инструмента за очень короткое время.

Время одного рабочего цикла машин складывается из трех величин времени хода деформирующего инструмента из крайнего положения до момента соприкосновения с обрабатываемой заготовкой (t_1), времени рабочего хода (t_p) и времени возвратного хода инструмента в исходное положение (t_2):

$$t_{ц} = t_1 + t_p + t_2,$$

где $t_{ц}$ - время рабочего цикла машины;

t_1 - время хода деформирующего инструмента из крайнего положения до момента соприкосновения с обрабатываемой заготовкой;

t_p - время рабочего хода деформирующего инструмента;

t_2 - время возвратного хода инструмента в исходное положение.

В свою очередь, машины в каждой группе классифицируются по технологическому, конструктивному и другим признакам и характеризуются следующими основными параметрами и размерами.

- молоты – массой падающих частей, величиной хода ударных частей, энергией удара и размерами штампового пространства;

- гидравлические прессы – номинальным усилием, давлением рабочей жидкости, наибольшим ходом ползуна прессы;

- кривошипные машины – номинальным усилием, ходом ползуна, соответствующим этому усилию, полным ходом ползуна, числом ходов ползуна в минуту, размерами штампового пространства и др;

- машины ротационного типа - частотой вращения деформирующего инструмента. Ковочные вальцы характеризуются также расстоянием между валками и их диаметром. Ротационно-ковочные машины – максимальным диаметром обрабатываемой заготовки, числом ударов бойков в минуту.

Все кузнечно-штамповочные машины характеризуются размерными, линейными, скоростными, энергетическими и массовыми параметрами.

Главные размерные параметры: основные технологические линейные параметры, число ходов, масса и в случае необходимости энергетические параметры составляют содержание стандартов «Основные размеры и параметры» и, следовательно, являются основой установления технических характеристик для различных типов машин.

22.4 Кривошипные прессы

На прессах в отличие от молотов обрабатывают заготовку безударным давлением. Прессы применяют для прессования, гибки, правки, резки, выдавливания и вытягивания листового металла, а также соединения деталей под большим давлением. Кривошипные прессы составляют большую часть кузнечно-прессового оборудования и их подразделяют на прессы для горячей (кривошипные горячештамповочные прессы КГШП) и для холодной штамповки.

22.4.1 Кривошипные горячештамповочные прессы

В крупносерийном и массовом производстве все большее предпочтение отдается штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), как наиболее прогрессивному способу получения поковок. Поэтому современные штамповочные цехи машиностроительных заводов оснащены главным образом кривошипными горячештамповочными прессами (КГШП). Применение этих прессов по сравнению с молотами дает такие важные преимущества, как отсутствие вибраций и сотрясение почвы, меньшие фундаменты. Более высокий эксплуатационный коэффициент полезного действия, большую от 30 до 50 % производительность и точность поковки (до 0,2 мм), меньшие штамповочные уклоны около 2° . Допустима более низкая квалификация штамповщика. И самое важное, большие возможности механизации и автоматизации штамповочных работ и улучшение условий труда рабочих.

Условия деформации на прессах отличаются от условий деформации на молоте.

Во-первых, отличается большой разницей в скорости деформирующего инструмента (у КГШП она составляет до 0,5 м/с, у молота - до 20 м/с, что до 40 раз меньше скорости инструмента в момент удара на молотах) и это, по существу, указывает на неударный характер работы пресса.

Во-вторых, вследствие наличия у прессов строго фиксированной величины хода ползуна.

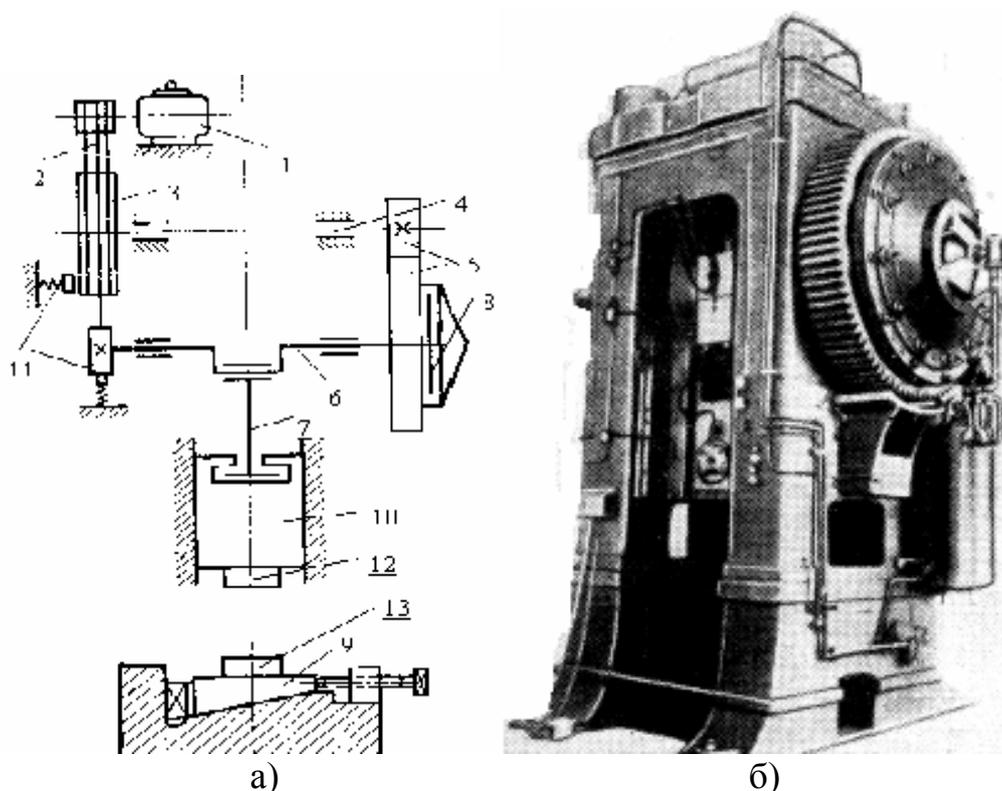
Горячая штамповка на кривошипных прессах выполняется в открытых, с образованием в плоскости разъема штампа заусенца, и в закрытых штампах. Вместе с тем на этих прессах выполняют штамповку выдавливанием, штамповку прошивкой и различные комбинированные операции.

Наличие в обеих частях штампа выталкивателей обеспечивает уменьшенные штамповочные уклоны до 1° , против уклонов от 7° до 10° для молотовых штампов позволяют снижать припуски на механическую обработку и повышать коэффициент использования металла.

Кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП) выпускают усилием от 6,3 до 100 МН. Они успешно заменяют паровоздушные штамповочные молоты.

КГШП имеет массивную сварную или литую станину, так как усилие штамповки передается на нее и для предотвращения деформаций станина должна быть и массивной и прочной.

Кинематическая схема и общий вид КГШП показана на рисунке 22.2.



- а - кинематическая схема; б - общий вид
 1 – электродвигатель; 2 - клиноременная передача; 3 – маховик;
 4 – промежуточный вал; 5 – малая и большая шестерни;
 6 – кривошипный вал; 7 – шатун; 8 – муфта; 9 – клин стола;
 10 – ползун; 11 – тормоз кривошипа и маховика;
 12 – верхняя часть штампа; 13 – нижняя часть штампа

Рисунок 22.2 – Кривошипный горячештамповочный пресс
 усилием 16 МН

От электродвигателя 1 посредством клиноременной передачи 2 вращается маховик 3 и промежуточный вал 4. Посредством малой и большой шестерен 5 и муфты 8 с вала 4 вращение передается на кривошипный вал 6, а посредством шатуна 7 ползун 10 совершает возвратно-поступательное движение. Верхняя (подвижная) часть штампа 12 прикреплена к ползуну 10, а нижняя (неподвижная) часть штампа 13 – к столу 9.

Стол 9 пресса имеет специальное клиновое устройство для регулировки расстояния между штампами 12 и 13 в крайнем нижнем положении ползуна 10 пресса (закрытой высоты). В ползуне и в столе пресса помещаются вытал-

киватели, приводящиеся в действие от кривошипного вала и служащие для удаления поковки из штампа.

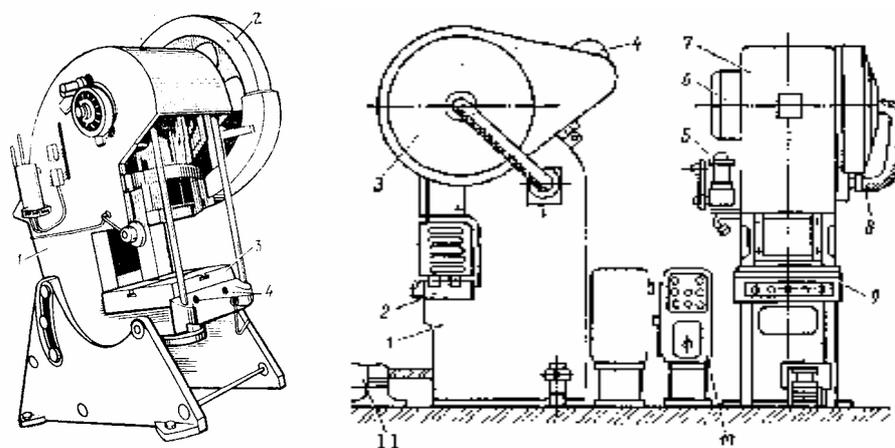
Характерным для КГШП является то что движение ползуна подчинено определенному закону – каждому углу поворота кривошипного вала соответствует вполне определенная скорость и положение ползуна по высоте. Следовательно, ползун пресса имеет постоянную величину хода и определенное нижнее и верхнее положение. Это обеспечивает более точные размеры изделия по высоте, чем при штамповке на молоте, но в то же время штамповку в каждом ручье производят только за один ход ползуна пресса.

Включение и выключение кривошипно-шатунного механизма осуществляется пневматической многодисковой фрикционной муфтой 8, а остановка – при помощи тормозов 11. Управление прессом кнопочное и педальное.

22.4.2 Кривошипные прессы для листовой штамповки

Для листовой штамповки находят широкое применение механические прессы меньшего усилия. Они подразделены на два класса. Прессы с параллельным и перпендикулярным к фронту пресса расположением вала.

Прессы первого класса по схеме близки к КГШП и их представители показаны на рисунке 22.3 (с механической и пневматической фрикционной муфтой).

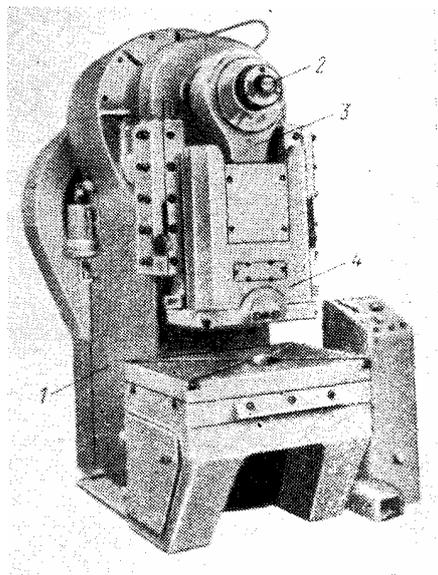


1 – станина; 2 - стол; 3 - маховик; 4 - электродвигатель; 5 - насос смазки; 6 – аппарат управления; 7 - ползун; 8 - воздухопровод; 9 - пульт с кнопками включения; 10 - шкаф; 11 - педаль управления

Рисунок 22.3 - Вид кривошипного пресса номинальным усилием 160 кН марки КД2122Е с наклоняемой (1 – станина; 2— маховик; 3 – стол; 4 - кнопки управления) и ненаклоняемой станиной

22.4.3 Эксцентрикoвый пресс

В эксцентрикoвом прессе другая, нежели у КГШП конструкция. Станина выполнена из чугуна и имеет жесткую коробчатую форму. В ее верхней части выполнены отверстия, в которых помещены буксы с запрессованными в них бронзовыми втулками, служащими подшипниками эксцентрикoвого вала. Вид такого пресса показан на рисунке 22.4.



1 – станина; 2 - кривошипный вал; 3 – шатун; 4 – ползун

Рисунок 22.4 - Вид кривошипного эксцентрикoвого пресса

Спереди на специально обработанных поверхностях станины крепятся призматические направляющие, по ним перемещается ползун, являющийся рабочим органом, к которому крепится верхняя часть штампа. Ползун соединен с эксцентрикoвым валом с помощью разъемного шатуна. В пазу ползуна имеется планка выталкивателя. Крышка шатуна крепится шпильками.

В шатун снизу ввернут регулировочный винт, шаровая головка которого находится между опорой (подпятником) и вкладышем. Опорой подпятника служит предохранительная шайба, рассчитанная на разрушение при перегрузке пресса. Меняя радиальное положение эксцентрикoвой втулки на валу, можно менять длину хода соединенного с шатуном ползуна в пределах от 5 до 55 мм. При регулировании эксцентрикoвая втулка выводится из зубчатого зацепления вращением гайки (при этом во избежание смещения шатуна между ним и буксой станины вкладывается деревянная опора). Вращая эксцентрикoвую втулку, устанавливают необходимую длину хода ползуна.

Штамп крепится к ползуну за хвостовик прижимом, с помощью двух шпилек с гайками. Размер штампового пространства регулируют винтом и фиксируют стопорными втулками.

Привод эксцентрикового вала пресса осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу, маховик, смонтированный на правом конце вала. В маховик вмонтированы муфта-тормоз, являющиеся важным элементом пресса, обеспечивающим синхронность перемещения и остановку ползуна пресса строго в верхней мертвой точке. Нижний предел регулирования штампового пространства ограничивается фиксатором.

После регулирования длины хода ползуна и штампового пространства фиксируют верхнюю мертвую точку ползуна.

Прессы могут осуществлять одиночные ходы, толчковые, применяющиеся при наладке штампов, и непрерывные, необходимые при автоматизации процесса штамповки. Число непрерывных ходов, совершаемое ползуном в минуту, зависит от усилия пресса и колеблется от 140 до 35, уменьшаясь с возрастанием усилия пресса.

Для правильного и наиболее полного использования **кузнечно-штамповочного** оборудования необходимо иметь четкое представление о технологических возможностях этого оборудования. Документом, где содержатся такие исчерпывающие данные, является паспорт **кузнечно-штамповочной** машины. Паспорт машины служит основой при разработке технологического процесса и определения производительности при выполнении заданной операции; он используется также конструктором, проектирующим **штамповую** оснастку. Кроме того, сведения по конструкции машины (принципиальная кинематическая или гидравлическая схемы, спецификация зубчатых колес, данные о приводе, типе и конструкции предохранительных устройств и т. д.) используются при обслуживании и ремонте. Паспорт содержит данные об основных размерах машины, допустимых усилиях и допускаемой работе деформации, об удобстве обслуживания.

22.5 Порядок выполнения работы

22.5.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия кривошипного пресса.

22.5.2 Определить три главных механизма структуры изучаемого пресса. Составить его техническую характеристику.

22.5.3 Снять штамп с пресса и определить установочные размеры и произвести расчеты.

22.5.4 Составить кинематическую схему пресса и отчет по работе.

22.6 Содержание отчета

В отчете необходимо указать цель работы, дать полное наименование машины и ее модели, техническую характеристику машины, кинематическую схему машины, краткое описание принципа действия и устройства машины, указать двигательный, передаточный и исполнительный механизмы машины.

Заполнить разделы паспорта, пользуясь при этом «Указаниями по заполнению паспорта».

22.6.1 Указания по заполнению паспорта

Таблица 22.1. Паспорт прессы кривошипного.

1. Тип: указывается тип кривошипного прессы.
2. Завод-изготовитель: для отечественных прессов указывается завод и город, для иностранных - фирма и страна.
3. Модель: проставляется марка в соответствии с принятой системой условного маркирования.
4. Год выпуска: устанавливается по документам к прессу.
5. Время пуска в эксплуатацию: указывается дата.
6. Назначение прессы: формулируется по видам работ, для которых предназначен пресс.
7. Габариты: проставляются данные фактических замеров и масса прессы.
8. Общий вид прессы: дается общий вид с простановкой основных размеров.
9. Основные данные прессы - является обобщающей.
10. Номинальное усилие прессы: определяется расчетом.
11. Ход ползуна: проставляются данные замера между крайними верхним и нижним положениями ползуна.
12. Число ходов ползуна в минуту: определяется числом двойных ходов непосредственным подсчетом или по формуле

$$n = 0,98 n_n i_{\text{зуб}} i_{\text{рем}},$$

где n_n - номинальное число оборотов электродвигателя;
 $i_{\text{зуб.}}$, $i_{\text{рем}}$ - соответственно передаточные отношения зубчатой и ременной передачи;
0,98 - коэффициент скольжения ремня.

При отсутствии зубчатой или ременной передачи опускается соответствующий множитель в формуле.

13. Наибольшая площадь среза: в одной из строк записывается наибольшая площадь среза при напряжении 50 кН/м^2 , рассчитанная по формуле

$$F_{\text{ср}50} = P_b / y_{\sigma},$$

где P_b — номинальное усилие прессы, Н.
 y_{σ} — предел прочности.

14. Регулировка длины шатуна. Указывается разность между наибольшей и наименьшей длинами шатуна.

15. Расстояние от стола до ползуна в его нижнем положении при наименьшей длине шатуна: проставляются результаты замера.

16. Выталкиватель: указывается месторасположение и величина хода выталкивающего устройства.

17. Наибольшее расстояние от стола до направляющих: указывается расстояние от нижнего края направляющих до поверхности стола в его крайнем верхнем положении.

18. Расстояние от оси ползуна до станины: размер проставляется только для прессов открытого типа.

19. Высота стола над уровнем пола: проставляются результаты замера.

20. Размеры ползуна: указываются размеры рабочей поверхности ползуна.

21. Расстояние между стойками станины в свету: размер проставляется только для двухстоечных прессов.

22. Спецификация рукояток и кнопок управления: дается спецификация рукояток и кнопок с указанием их назначения.

Таблица 22.1

| ПАСПОРТ ПРЕССА КРИВОШИПНОГО | | | | |
|--|--|--|-----------------------|------------------|
| Министерство промышленности. Бюро технической информации | 1 Тип | | 4 Год выпуска | |
| | 2 Завод изготовитель | | 5 Пуск в эксплуатацию | |
| | 3 Модель | | 6 Назначение пресса | |
| | 7 Габарит! Слева-направо; спереди-назад выс. мм и масса | | | |
| | 8 Общий вид пресса | 9 Основные данные пресса | | |
| | 10 Номинальное усилие, Н | | | |
| | 11 Ход ползуна, мм | а) наибольший | | |
| | | б) наименьший | | |
| | | в) промежуточный | | |
| | 12 Число ходов ползуна в мин. | | | |
| | 13 Наиболь. площадь среза, мм ² | при == Н/мм ² | | |
| | | при == Н/мм ² | | |
| | | при == Н/мм ² | | |
| | Регулировка межштампового пр. | 14 Регулировка шагуна, мм | | |
| | | 15 Расстояние от стола до ползуна в его нижнем положении, мм | | При ходе ползуна |
| | | а) при нижнем, мм | | большем |
| | | б) при верхнем, мм | | меньшем |
| | 16 Выталькватель | а) тип | | в столе |
| | | б) ход, мм | | в ползуне |
| | 17 Наибольшее расстояние от стола до направляющих, мм | | | |
| | 18 Расстояние от оси ползуна до станины (для одностоечного пресса) | | | |
| | 19 Высота стола над уровнем пола | | | |
| 20 Размеры ползуна, мм | | | | |
| 21 Расстояние между стойками станины в свету | | | | |
| 22 Спецификация кнопок управления | | | | |

22.7 Контрольные вопросы

22.7.1 Что характеризует двигательный, передаточный и исполнительный механизмы в кузнечно-штамповочном оборудовании?

22.7.2 Какими параметрами характеризуется кузнечно-штамповочное оборудование?

22.7.3 Какие данные содержит паспорт кузнечно-штамповочной машины и для каких целей он предназначен?

22.7.4 Какова последовательность составления паспорта кривошипного пресса?

23 Лабораторная работа № 23

Изучение технологии изготовления деталей методом порошковой металлургии

23.1 Цель работы

Ознакомиться с технологией изготовления изделий из порошковых материалов на основе железа и меди, маркировкой, свойствами и применением.

23.2 Общие сведения

23.2.1 Основные понятия

Порошковой металлургией называются отрасли, охватывающие производство металлических порошков, а также изделий из них или их смесей с неметаллическими материалами, при этом основной компонент не доводится до расплавления.

Преимущества порошковой металлургии по сравнению с другими методами изготовления деталей машин и приборов состоят в следующем: получение изделий, которые невозможно изготовить никакими другими методами (фильтры, пористые подшипники, контакты из псевдосплавов на основе тугоплавких металлов и др.); экономия материалов, возможность получения исходных материалов из отходов металлургической и машиностроительной промышленности (например, стружки, окалины и т.п.), получение изделий без дальнейшей механической обработки, что приводит к значительному снижению себестоимости материалов и готовой продукции.

Метод порошковой металлургии включает следующие технологические операции: 1) получение порошков; 2) приготовление шихты (смешивание); 3) формообразование (прессование или прокатка) заготовок; 4) спекание; 5) дополнительная обработка (механическая, химико-термическая и др.).

При производстве порошковых деталей необходимо учитывать сложность конфигурации изделия (приложение А). Иногда рентабельным производство становится уже при годовом выпуске в несколько тысяч изделий (например, в случае VII группы сложности), а иногда – только при выпуске 100-300 тыс. изделий некоторых типов I-III групп сложности.

Недостатки метода порошковой металлургии: нестабильность свойств, трудность изготовления крупногабаритных и сложных по форме изделий и другие.

Порошки металлов являются основными исходными материалами для изготовления порошковых изделий. Промышленностью выпускаются металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый, ниобиевый, циркониевый и другие.

Основные методы получения порошков можно разделить на физико-химические и механические.

Металлические порошки характеризуются физическими и технологическими свойствами, химическим составом. К физическим свойствам металлических порошков относятся: форма и размер частиц порошка, гранулометрический состав, удельная поверхность частиц порошка и т.д. Форма частиц может быть сферической, осколочной, дендритной, волокнистой и другой в зависимости от химической природы металла и способа получения.

Гранулометрический состав порошка – это соотношение частиц разных размеров (фракций), выраженное в процентах. От гранулометрического состава в сочетании с другими свойствами зависят плотность, текучесть, прессуемость, усадка при спекании и физико-механические свойства готовых изделий.

Под удельной поверхностью частиц порошка понимают суммарную поверхность всех частиц порошка, взятого в количестве единицы объема или массы.

Технологические свойства порошков характеризуются насыпной плотностью, текучестью, прессуемостью. Насыпная плотность (γ , кг/м³) – это плотность единицы объема свободно насыпанного порошка. Относительная плотность (θ , %) – отношение насыпной плотности к удельной плотности компактного материала.

Текучесть характеризует способность порошка заполнять собой определенную форму. Определение текучести порошка основано на регистрации скорости истечения навески порошка (50 г) через калиброванное отверстие. Измеряется в граммах в секунду.

Прессуемость порошка характеризуется двумя факторами: формуемостью и уплотняемостью. Хорошая уплотняемость порошков облегчает прессование, так как при этом требуется меньшее давление для достижения заданной плотности, а при хорошей формуемости получаются более прочные и неосыпающиеся заготовки. Существенное влияние на прессуемость оказывают размеры и форма частиц порошка.

23.2.2 Технология прессования порошковых материалов

Подготовка порошков к прессованию является ответственным этапом при изготовлении порошковых изделий, так как качество смеси отражается на свойствах готовых изделий. Приготовление шихты связано с дозировкой порошков заданного химического и гранулометрического составов с последующим смешиванием. Иногда вместе с основными компонентами в шихту вводят технологические присадки – пластификаторы, облегчающие процесс прессования (стеарат цинка, парафин и др.)

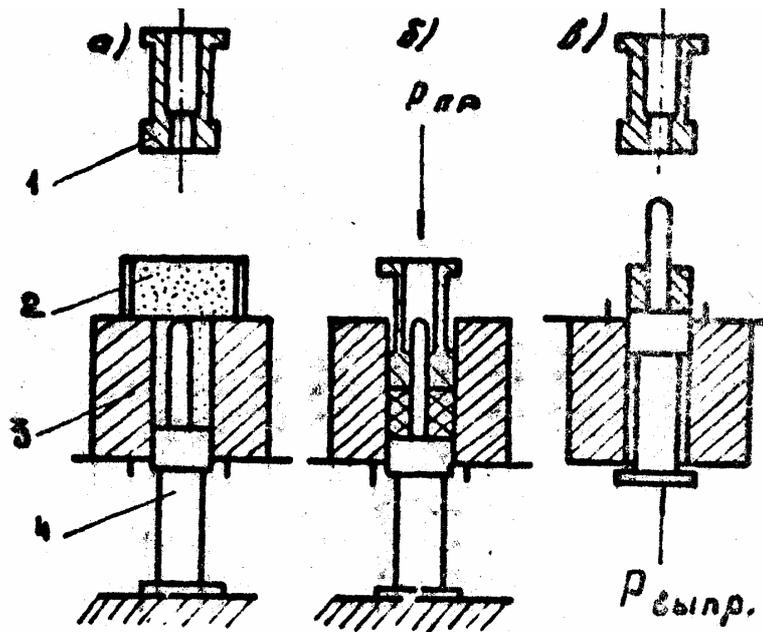
В зависимости от свойств исходных порошков-компонентов смешивание может быть сухое и мокрое (в последнем случае в смеситель вместе с исходными компонентами добавляется спирт, бензин, глицерин и т.п.). Сме-

шивание производится в специальных агрегатах-смесителях в течении 1-5ч.

Прессование (формование) заготовок может осуществляться одним из следующих основных методов: холодное прессование в пресс-формах; горячее прессование, гидростатическое прессование; прокатка порошков и др.

Применение того или иного метода зависит от прессуемости данного состава шихт, формы и размеров получаемого изделия. При прессовании получают относительно прочные полуфабрикаты или заготовки, имеющие форму и размеры готовых изделий с учетом изменения размеров при спекании, а также припусков, связанных с необходимостью последующей обработки заготовок. Процесс деформирования порошков сопровождается уменьшением первоначального объема, причем существенно отличается от процесса деформирования компактного материала, при котором его объем остается постоянным, изменяется только форма. При прессовании порошков наблюдается почти трехкратная степень обжатия, то есть высота изготавливаемой прессовки составляет третью часть высоты заполняемой смесью полости матрицы.

Наибольшее применение получил метод холодного прессования в закрытых пресс-формах (рисунок 23.1).



- а – засыпка порошка в матрицу; б – прессование;
- в – выпрессовка заготовки
- 1 – верхний пунсон; 2 – питатель с шихтой;
- 3 – матрица; 4 – нижний пуансон со стержнем

Рисунок 23.1 – Схема одностороннего прессования

В установленную на плиту пресса пресс-форму засыпается порция шихты, через пуансон прикладывается заданное давление, после выдержки

нагрузку снимают, затем производится выпрессовка заготовок из пресс-формы. Прессование в закрытых пресс-формах может быть односторонним и двусторонним. Одностороннее применяется при изготовлении изделий простой формы, у которых отношение длины или высоты к диаметру или толщине не превышает трех.

23.2.3 Основные закономерности прессования

Усилие прессования определяется зависимостью

$$P = p \cdot F,$$

где p – давление прессования, МПа;

F – площадь поперечного сечения.

Под давлением (при одноосном сжатии) порошок, засыпанный в пресс-форму, растекается в стороны, в результате чего возникает боковое давление $P_{бок}$, кН/м², действующее на стенки пресс-формы

$$P_{бок} = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot P,$$

где μ – коэффициент Пуассона металлического порошка.

Или $P_{бок} = \varepsilon \cdot P$, где ε – коэффициент бокового давления.

$$\varepsilon = \frac{\mu}{1 - \mu},$$

Свойства некоторых порошковых материалов и значения коэффициентов бокового давления приведены в таблице 23.1.

Таблица 23.1 – Свойства порошков

| Материал | Насыпная плотность, г/см ³ | Плотность компактного материала, г/см ³ | Твёрдость НВ | Коэффициент Пуассона | Коэффициент бокового давления |
|----------|---------------------------------------|--|--------------|----------------------|-------------------------------|
| Вольфрам | 2,4-4,0 | 19,3 | 400 | 0,17 | 0,21 |
| Железо | 1,8-3,0 | 7,8-7,85 | 126-133 | 0,28 | 0,39 |
| Медь | 1,5-2,5 | 8,3-8,9 | 92-109 | 0,35 | 0,54 |

Величина бокового давления не является постоянной по высоте прессуемых изделий, а уменьшается (при одностороннем прессовании) от верха прессформы, т.е. места приложения давления к нижней части пресс-формы.

Понижение бокового давления объясняется падением общего давления прессования по высоте заготовки, вызываемого трением частиц друг о друга и о стенки матрицы. Вследствие снижения давления прессования по высоте прессуемого изделия возникает неравномерная плотность спрессованной заготовки по её объему.

После выпрессовки изделий из пресс-формы размеры их под действием внутренних напряжений увеличиваются. Это явление называется упругим последействием. Обычно упругое последействие сильнее проявляется по направлению прессования, чем перпендикулярно ему. Если по направлению прессования $\delta_n = 5-6 \%$, то перпендикулярно ему $\delta_d = 2-3 \%$.

Величина упругого последействия определяется по формулам

$$\delta_n = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \cdot 100, \quad \delta_d = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \cdot 100,$$

где D_0 ; h_0 – диаметр и высота брикета, находящегося в пресс-форме под действием давления прессования;

D_1 ; h_1 – после выпрессовки из матрицы.

Объемная величина упругого последействия (%) определяется по аналогичной зависимости

$$\delta_v = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100.$$

Установление величины упругого последействия имеет большое значение при проектировании пресс-формы для учета возможного изменения размеров изделия после выпрессовки.

Для получения достаточно прочных заготовок при холодном прессовании применяются значительные давления, которые в зависимости от требуемой плотности и свойств порошковой шихты могут колебаться от 50 до 150 МПа для твердосплавных смесей с пластификатором и от 500 МПа до 800-1000 МПа для железных и стальных порошков.

23.2.4 Спекание порошковых заготовок

Холодное прессование не обеспечивает механической прочности прессовок. Для повышения механических свойств и придания порошковым изделиям необходимых физико-химических свойств заготовки подвергают спеканию. Спекание производится при температуре 0,7-0,9 от абсолютной температуры плавления основного компонента в многокомпонентной порошковой смеси.

В процессе спекания за счет качественного и количественного изменения контактов, связанных с большой подвижностью атомов при повышенных

температурах, увеличивается поверхность зацепления частиц, повышаются плотность и прочность изделия, достигаются необходимые физико-химические свойства.

Спекание производится в вакууме или контролируемой атмосфере (восстановительной – водород, диссоциированный аммиак, конвертированный газ, нейтральной – аргон, гелий и др.) Длительность выдержки при температуре спекания в зависимости от состава шихты может быть до нескольких часов (таблица 23.2).

В результате спекания прочностные свойства σ_B ; σ_T железного графита увеличиваются от 100 МПа до 300 МПа (в зависимости от материала, режимов процесса, пористости), твердость увеличивается от 60 НВ до 100 НВ. Плотность изделий возрастает с повышением температуры спекания и давления прессования. Для получения порошковых беспористых или малопористых изделий применяют многократное прессование и спекание или горячее прессование.

Точность размеров изделий после спекания соответствует 12-14 качеству, шероховатость поверхности 10-5 мкм. Калибровка повышает точность до 8-11 качества, снижает шероховатость до 5 -2,5 мкм.

Таблица 23.2 - Ориентировочные режимы прессования и спекания порошковых антифрикционных материалов

| Порошковый материал | Давление прессования, МПа | Режим спекания | | |
|---|---------------------------|-----------------|---------------|--|
| | | температура, °С | выдержка, мин | защитная среда |
| Железографит (0,8 - 3 %)С; железографит, легированный медью | 400-800 | 1050-1150 | 60-180 | Конвертированный эндогаз |
| Бронза пористая и бронзографит (1 - 4 % С) | 200-400 | 720-850 | 30-120 | Водород, диссоциированный аммиак, конвертированный газ |

23.2.5 Классификация порошковых материалов

Марки порошковых сталей обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы СП указывают, что сталь получена методом порошковой металлургии. Число после буквы П показывает среднее содержание общего углерода в сотых долях процента, содержание свободного углерода при этом не превышает 0,2 %. Следующие за этим числом буквы обозначают легирующие элементы (обозначение как в легированных сталях: А - азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – ни-

кель, П – фосфор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий).

Цифра после дефиса указывает подгруппу плотности материала:

1 – пористость 25-16 %, плотность $\gamma = 6,0-6,6$ г/см³;

2 – пористость 15-10 %, $\gamma = 6,7-7,1$ г/см³;

3 – пористость 9-2 %;

4 – пористость не более 2 %.

В таблице 23.3 приведена классификация порошковых изделий и область их применения.

Таблица 23.3 – Классификация порошковых материалов, состав и области применения

| Тип порошкового материала | Некоторые марки материалов | Исходные материалы | Назначение |
|---------------------------|---|--|--|
| Антифрикционные | ЖГр1,5; ЖГр2; ЖГр3; ЖГрЛД3 | Порошки железа и графита, легирующие добавки | Подшипники скольжения |
| Фрикционные | МК5 | 4 % Fe; 7 % C; 8 % Pb; 9 % Sn; 0-2 % Ni, ост. Cu | Применяется в тормозных дисках |
| Плотные конструкционные | СП70-2; СП45Х2Н3-2 | Порошки железа, хрома, никеля и др. | Детали машин |
| Пористые проницаемые | 1Х18Н9; Х20Н80 | Порошки нержавеющей стали, бронзы, сплавов титана и др. | Фильтры |
| Тугоплавкие | W; Mo | Порошки вольфрама, молибдена, ванадия, титана, тантала | Проволока, электроды ламп, детали приборов, детали машин |
| Электротехнические | Магнитотвердые ММК-1 (12 % Al; 29 % Ni; ост. Fe) | Порошки меди, алюминия, железа, серебра, золота, кремния, кобальта, окислов металлов | Контакты, сердечники эл. машин, магниты |
| Твердые сплавы | ВК6; ВК8; Т15К6 | Карбиды вольфрама, карбиды титана, связка кобальт, никель | Режущий инструмент, волоки, буры. |

Среди перечисленных в таблице 23.3 материалов наибольшее распространение получили изделия из порошков на основе железа и меди. Некоторые из свойств приведены в таблице 23.4.

Таблица 23.4 - Составы и свойства некоторых порошковых конструкционных материалов

| Обозначение материала | Хим.соста в, % | | Предел прочности при растяж. σ_b , МПа не менее | Относительное удлинение, % | Твердость НВ | Ударная вязкость, кДж/м ² , не менее |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--|-------------------------------|-----------------|---|
| | углерод | другие элементы | | | | |
| Материалы на основе железа | | | | | | |
| СП10-2 | 0,2 | - | 120 | 8 | 70-80 | 200 |
| СП10-4 | 0,2 | - | 150 | 18 | 90-130 | 700 |
| СП70-2 | 0,5-0,8 | - | 200 | 8 | 70-90 | 300 |
| СП70-4 | 0,5-0,6 | - | 360 | 16 | 110-150 | 600 |
| СП70Д3-2 | 0,3-0,6 | 2-3Cu | 260 | 3 | 80-100 | 200 |
| СП70Д3-4 | 0,3-0,6 | 2-3Cu | 450 | 8 | 120-160 | 450 |
| Материалы на основе меди | | | | | | |
| БрПО10-2 | | 9,5-10,5 Sn | 100 | 8 | 60-80 | 80 |
| БрПО10-3 | | 9,5-10,5 Sn | 200 | 12 | 80-90 | 120 |
| БрЛП68-2 | | 31-33 Zn | 80 | 8 | 40-50 | 150 |

23.3 Порядок выполнения работы

23.3.1 Спрессовать на гидравлическом прессе образцы из железного и медного порошков при удельных давлениях прессования 150, 300, 500, 700 МПа по 3 образца.

23.3.2 Определить объёмную величину и массу упругого последействия. Посчитать их относительную плотность (θ , %) и пористость (Π , %) образцов $\Pi = 100 - \theta$.

Относительная плотность определяется отношением плотности спрессованного или спеченного порошкового изделия к плотности компактного металла или сплава

$$\theta = \frac{\gamma}{\gamma_k} \cdot 100 ,$$

где γ – плотность спрессованного или спеченного изделия.

γ_k – плотность того же изделия в беспористом состоянии (плотность компактного).

23.3.3 Построить диаграмму уплотняемости железного порошка.

23.3.4 Произвести спекание образцов.

23.3.5 Определить твердость спеченных образцов.

23.3.6 Выводы.

23.4 Содержание отчёта

23.4.1 Цель работы.

23.4.2 Краткая характеристика основных процессов порошковой металлургии.

23.4.3 Описание экспериментальной работы с построением диаграммы уплотняемости, заполнить таблицу.

| Характеристика порошка | Масса навески, кг | Площадь сечения образца, $F, \text{м}^2$ | Усилие прессования, кН | Давление прессования, МПа | Высота прессовки, м | Плотность прессовки, $\text{кг}/\text{м}^3$ | Величина упругого последствия, % | | Боковое давление, $P_{\text{бок}}$, $\text{кН} \cdot \text{м}^2$ |
|------------------------|-------------------|--|------------------------|---------------------------|---------------------|---|----------------------------------|---------------------|---|
| | | | | | | | $\delta_{\text{н}}$ | $\delta_{\text{д}}$ | |

23.4.4 Выводы.

23.5 Контрольные вопросы

23.5.1 Что такое порошковая металлургия?

23.5.2 Каковы достоинства и недостатки порошковой металлургии? Какие вы знаете порошковые антифрикционные и фрикционные материалы?

23.5.3 Какие бывают порошковые материалы?

23.5.4 Маркировка порошковых конструкционных материалов.

23.5.5 Что такое пористость?

23.5.6 Как влияет пористость на механические свойства?

23.5.7 В чем отличие в деформации компактной стали и порошкового материала?

23.5.8 Что такое упругое последствие?

23.5.9 С чем связано боковое давление?

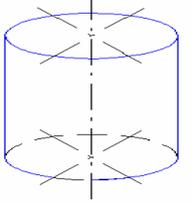
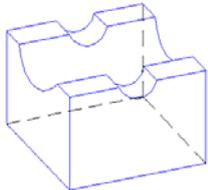
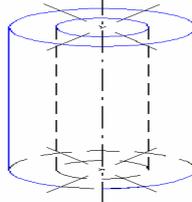
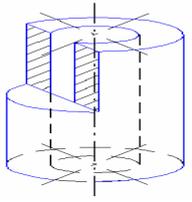
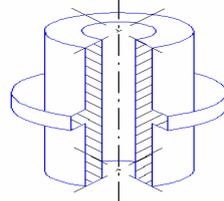
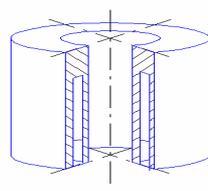
23.5.10 Для чего применяют спекание?

23.5.11 Какие дополнительные процессы проводят после спекания порошковых заготовок?

23.5.12 Опишите свойства, технологию обработки и применения конструкционных порошковых материалов.

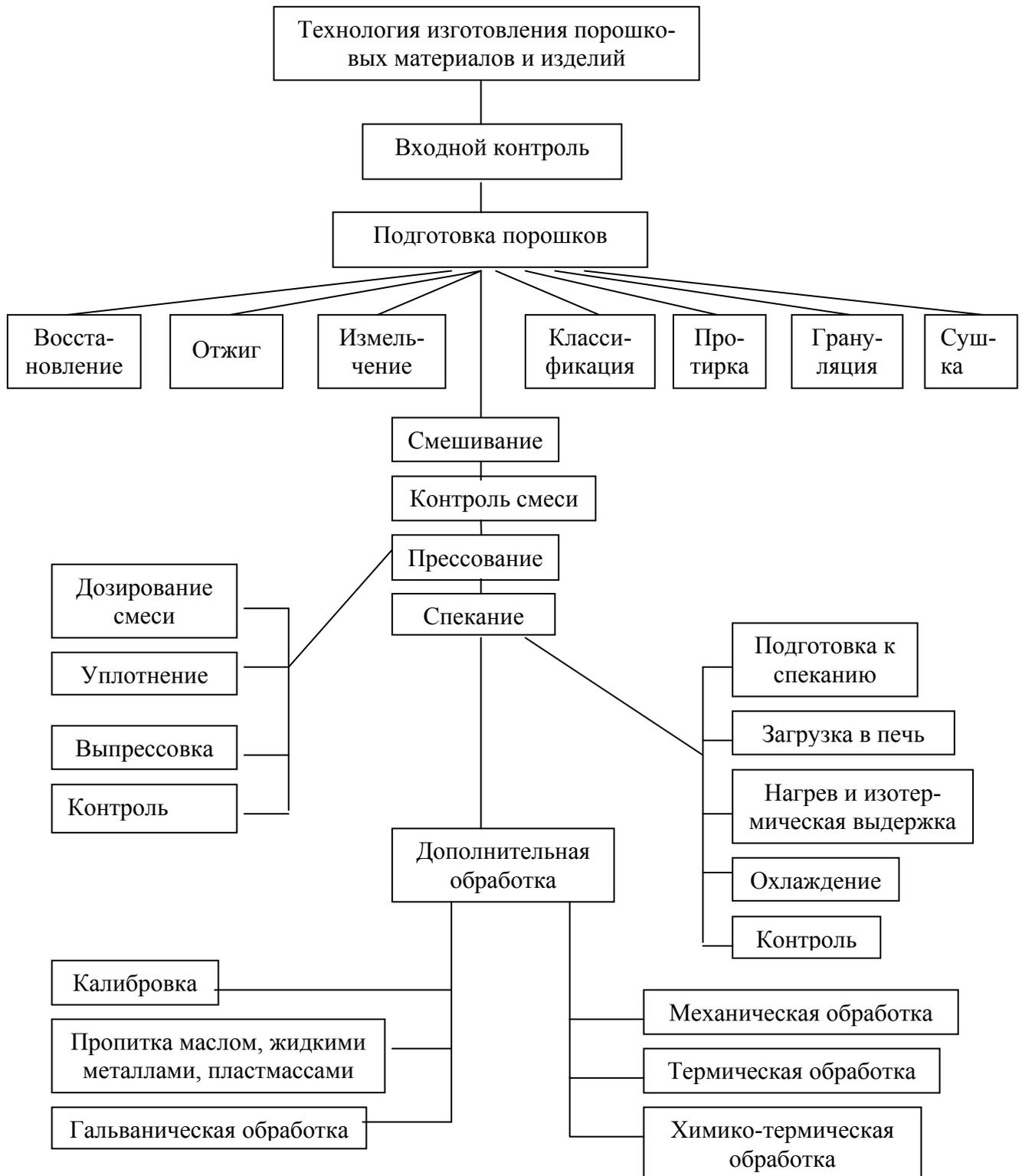
Приложение А

Характеристика групп сложности печённых изделий

| Группа сложности | Характеристика основных признаков деталей | Детали | Вид печённых деталей |
|------------------|---|--|---|
| I | Детали достаточно простой геометрической формы с постоянным сечением по высоте | Цилиндры, плоские крышки и другие |  |
| I | Детали, форма которых аналогична деталям группы I, но имеющие одно или несколько отверстий или пазов при отношении высоты детали к минимальной толщине стенки не более 10 | Втулки, кольца, гайки |  |
| I | Детали группы II, но при отношении высоты детали к минимальной толщине стенки более 10 | То же |  |
| I | Детали группы III, но с переходами по сечению (срезы, кольцевые выемки, глухие отверстия и др.) | Втулки с буртиками, фланцы и другие |  |
| V | Детали группы IV, но при отношении высоты детали к минимальной толщине стенки более 8 | Удлиненные втулки с буртиками, рычаги |  |
| I | Детали с несколькими переходами по высоте или сечению, а также ограниченные непараллельными плоскостями или криволинейными поверхностями | Шестерни, звёздочки с буртиком, детали с выступами |  |

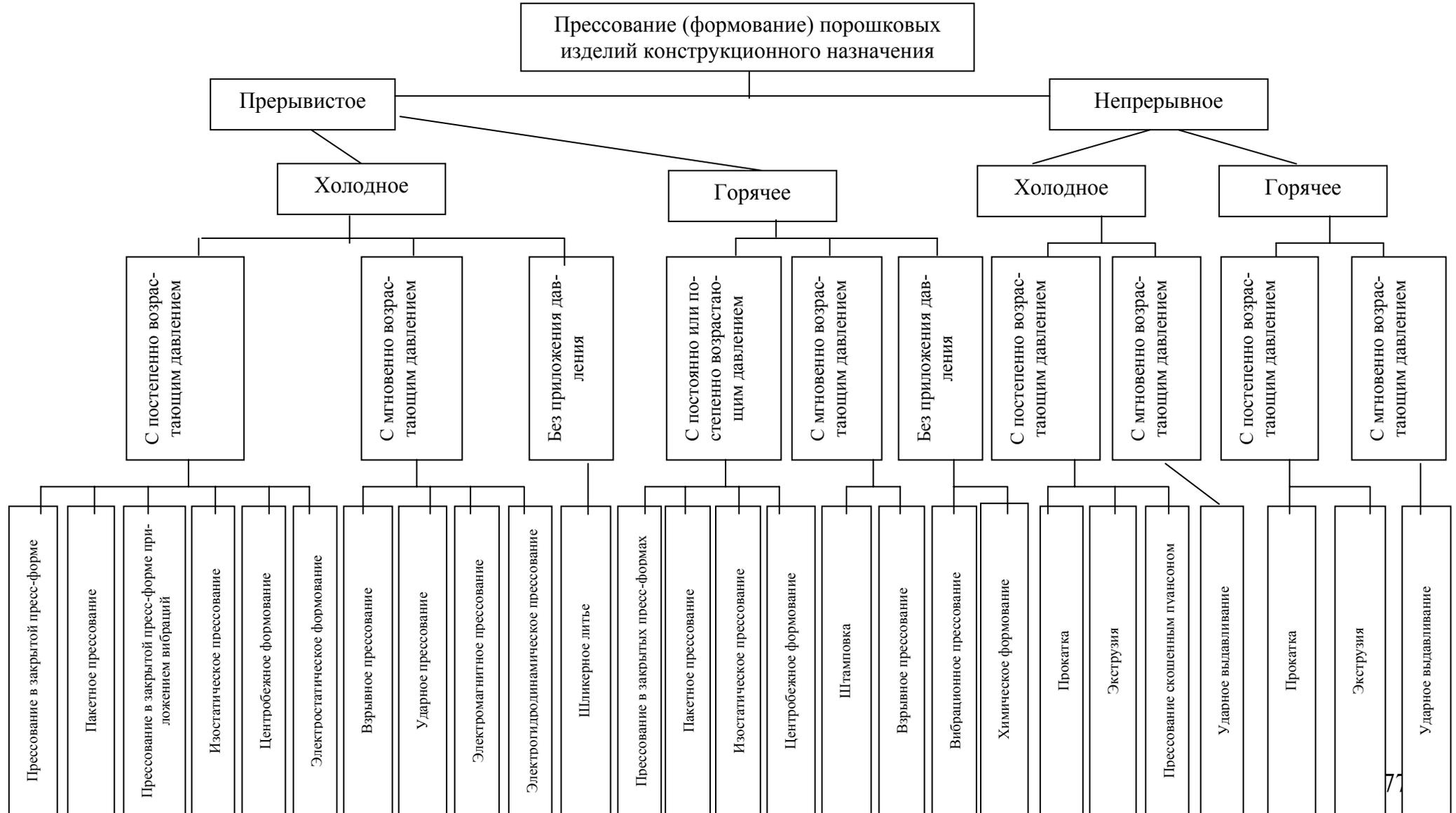
Приложение Б

Поэтапная технологическая схема изготовления порошковых конструктивных деталей путем прессования в закрытых пресс-формах.



Приложение В

Технологические методы прессования порошковых конструктивных деталей



24 Лабораторная работа № 24

Изучение технологии изготовления изделий из пластмасс методом прессования

24.1 Цель работы

Изучить один из наиболее распространенных в промышленности способов изготовления изделий из пластмасс, ознакомиться с конструкцией пресс-формы и особенностями ее эксплуатации.

24.2 Основные сведения

Пластические массы (пластмассы) - это материалы на основе природных или синтетических высокомолекулярных соединений (полимеров), способные под влиянием нагревания и давления формоваться в изделия сложной конфигурации, а затем устойчиво сохранять приданную форму. Пластмассы являются важнейшим конструкционным материалом современной техники. Изделия из пластмасс характеризуются малой плотностью, относительно высокой механической прочностью, устойчивостью к атмосферным воздействиям, стойкостью к агрессивным средам, к резким сменам температур, высокими диэлектрическими и хорошими теплоизоляционными свойствами.

В зависимости от поведения при нагревании различают термопластичные (термопласты) и термореактивные пластмассы (реактопласты).

Термопласты (полиэтилен, капрон, винипласт, полистирол, фторопласт, органическое стекло и др.) при нагревании размягчаются, переходят в вязкотекучее состояние, а при охлаждении вновь затвердевают.

Переход термопластов в вязкотекучее состояние и обратно может происходить неоднократно без изменения их химического состава, что и определяет выбор способа переработки термопластов.

Реактопласты (текстолиты, фенопласты, пресс-материалы, стеклопластики и др.) при нагревании легко переходят в вязкотекучее состояние, но с увеличением продолжительности действия повышенных температур в результате химической реакции переходят в твердое состояние. При повторном нагреве отвердевшие реактопласты теряют способность перехода в вязкотекучее состояние.

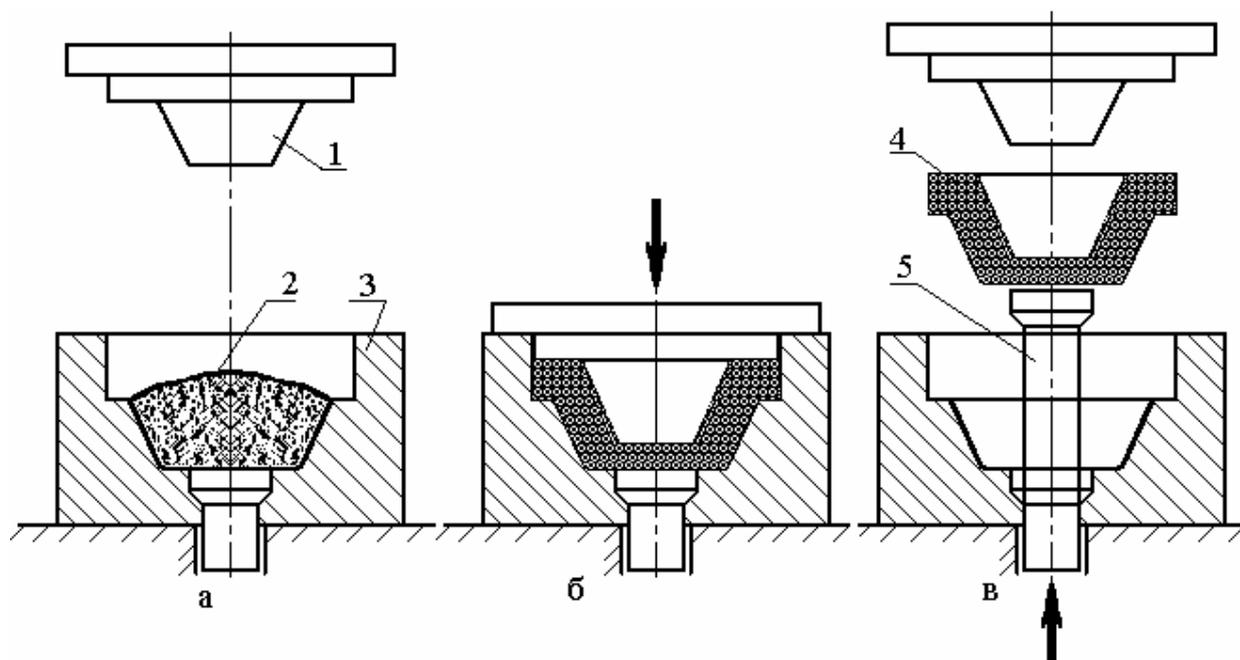
В зависимости от числа компонентов все пластмассы подразделяют на простые и композиционные. Простые (полиэтилен, полистирол, полиуретан, фторопласт и др.) состоят из одного компонента - синтетической смолы; композиционные (фенопласты, аминопласты и др.) - из нескольких составляющих, каждая из которых выполняет определенную функциональную роль. Так, смола является связующим звеном для других составляющих. Содержание связующего в пластмассах достигает 30 - 70 %. К другим состав-

ляющим относятся наполнители (ткань, бумага, графит, асбест и т.д.); пластификаторы (дибутилфталат, камфара, касторовое масло и т.д.); катализаторы (известь, магнезия, уротропин и т.д.); смазывающие вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.); красители (сурик, муминигрозин и др.).

Пластмассы перерабатывают в детали, как в твердом состоянии (разделительная штамповка, обработка резанием, сварка, склеивание), так и в высокоэластичном (пневмо- и вакуумформовка, штамповка и др.) и вязкотекучем состояниях.

При переработке в высокоэластичном и вязкотекучем состоянии необходимо совместное действие тепла и давления. Наибольшее распространение получили такие методы переработки пластмасс в вязкотекучем состоянии, как прессование, литье под давлением, экструзия и др. Различают следующие технологические схемы прессования: прямое (компрессионное), литьевое, пакетное (многоярусное) и профильное прессование.

Прямое (компрессионное) прессование заключается в непосредственном приложении к пресс-материалу, находящемуся в нагретой пресс-форме, внешнего давления (рисунок 24.1).



а – загрузка сырья; б – прессование; в – извлечение детали
1 – пуансон; 2 – сырьё; 3 – матрица пресс-формы;
4 – деталь; 5 – выталкиватель;

Рисунок 24.1 – Схема прямого (компрессионного) прессования

При этой схеме прессования сырьё 2 закладывается в полость матрицы пресс-формы 3, при замыкании которой усилие от пресса передается материалу через пуансон 1. Под действием давления и тепла материал переходит

в вязкотекучее состояние и заполняет формообразующую полость пресс-формы. В процессе выдержки при температуре отверждения отформованный материал переходит в твердое неплавкое состояние, после чего пресс-форма раскрывается и деталь 4 извлекается из нее с помощью выталкивателя 5.

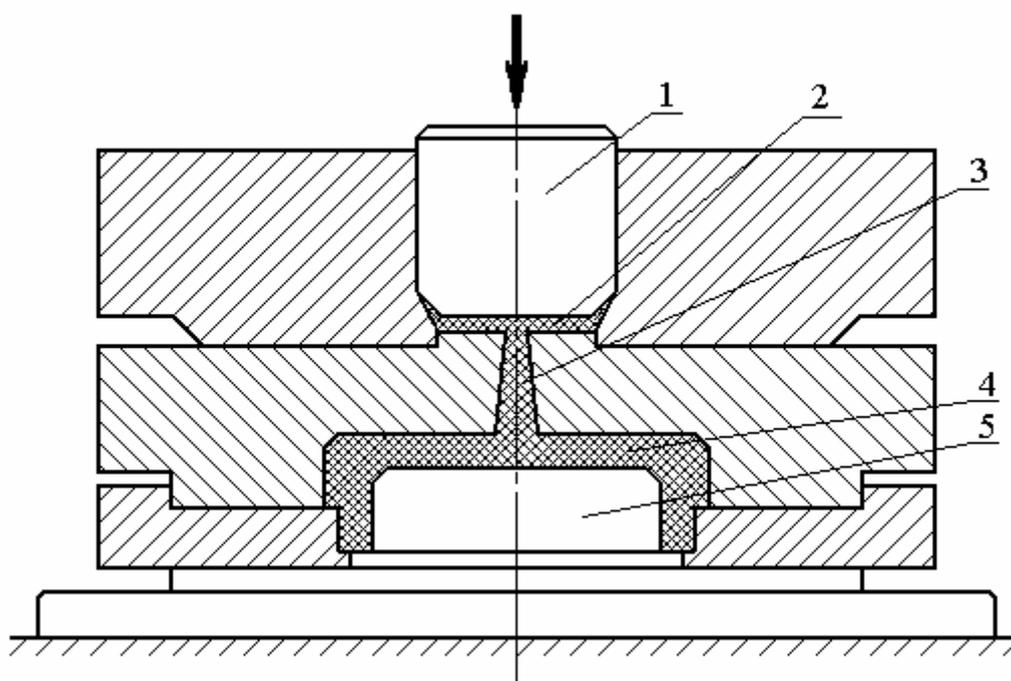
Время выдержки под прессом зависит от вида сырья и толщины изготавливаемого изделия и выбирают из расчета 100 – 200 с на 1 мм толщины стенки. Это время, идущее в основном на подогрев материала для перехода его в вязкотекучее состояние, может быть на 40 – 60 % сокращено путем предварительного подогрева пресс-материала до 90 – 120 °С, например, в термошкафе. Отверждение является результатом реакции поликонденсации реактопласта, сопровождающейся выделением летучих составляющих полимера и паров влаги. Поэтому для удаления газов выполняют операцию подпрессовки, т.е. после определенной выдержки пресс переключают на обратный ход, обеспечивая подъем пуансона на 5 - 10 мм и выдержку его в таком положении в течение 2 - 3 секунд. После этого пресс-форма снова смыкается и процесс формообразования завершается. При изготовлении крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку осуществляют дважды. Технологические параметры прессования (давление, температура нагрева, время выдержки и др.) зависят от вида перерабатываемого материала.

Для переработки реактопластов рекомендуется задавать давление прессования $p = 15 - 80$ МПа, а температуру пресс-формы $t = 135 - 175$ °С в зависимости от рецептуры перерабатываемого материала и геометрии прессуемого изделия. Схема прямого (компрессионного) прессования применяется для изготовления изделий несложной конфигурации из реактопластов с волокнистым или порошковым наполнителем, а также из некоторых термопластов, дозирование загружаемого в пресс-форму сырья осуществляется по объему, массе или поштучно (числом таблеток).

Для изготовления деталей сложной конфигурации с тонкими стенками, углублениями и глубокими отверстиями, оформляемыми с помощью стержней, вставок и знаков, применяют схему литьевого прессования. Эта схема позволяет устанавливать тонкую и сложную арматуру, остающуюся в теле изделия. В отличие от прямого прессования литьевое имеет более высокую производительность.

Основным отличием схемы литьевого прессования (рисунок 24.2) является то, что сырье загружается не в формообразующую часть пресс-формы, а в отдельную литьевую камеру 2, в которой под действием теплоты становится вязкотекучим и с помощью литьевого плунжера 1 через литниковый канал 3 выдавливается в оформляющую кольцевую полость 4 пресс-формы, образованную стержнем 5 и её цилиндрической поверхностью. По завершении процесса отверждения готовая деталь (не имеющая облоя) извлекается из пресс-формы.

Недостатком литьевого прессования являются существенные (до 40 %) отходы материала, неизбежно остающиеся в литьевой камере.



1 – литевой плунжер; 2 – литевая камера; 3 – литниковый канал;
4 – деталь в полости (матрице) пресс-формы; 5 – стержень (пуансон)

Рисунок 24.2 – Схема литьевого прессования

Режим прессования:

- для фенопластов $p = 90 - 100$ МПа, $t_{п.ф.} = 195 - 225$ °С, $t_{л.к.} = 135 - 155$ °С;

- для аминопластов $p = 70 - 160$ МПа, $t_{п.ф.} = 195 - 215$ °С, $t_{л.к.} = 95 - 120$ °С,

где p - давление прессования,

$t_{п.ф.}$ и $t_{л.к.}$ - температура соответственно в пресс-форме и литевой камере.

Таким образом, давление при литевом прессовании значительно выше, чем при прямом; температура в пресс-форме на $60 - 90$ °С выше, чем в зоне впрыска полимера в пресс-форму. В качестве оборудования применяют не только прессы, но и одноцилиндровые литевые машины.

Пресс-формы обогреваются с помощью электрических элементов или пара. В мелкосерийном производстве пресс-формы выполняют съёмными (отсутствуют крепление к прессам и нет собственных нагревателей); в серийном и крупносерийном – полустационарными и стационарными, закрепляемыми на прессах и снабженными собственными нагревателями.

Кроме того, различают пресс-формы закрытого и открытого типов (аналогично штампам при горячей объемной штамповке металла), одногнездовые для изготовления одной детали и многогнездовые.

По схеме пакетного (многоярусного) прессования получают листы и плиты из гетинакса, стеклотекстолита и других реактопластов. Заготовки ма-

териала (из стеклоткани и др.) пропитывают смолой, укладывают между горячими плитами многоэтажных прессов и подвергают давлению в течение определенного времени.

Профильным прессованием получают трубы, прутки круглого и фасонного сечений из реактопластов. Схема профильного прессования аналогична применяемой на металлургических заводах схеме прямого прессования металла. В последнее время профильное прессование заменяют более прогрессивной схемой непрерывного выдавливания (экструзии) на специальных машинах.

24.3 Порядок выполнения работы

24.3.1 В нагретую до необходимой температуры пресс-форму загрузите навеску пресс-материала и с помощью пуансона вручную проведите предварительную подпрессовку;

24.3.2 Установите пресс-форму на плиту гидравлического пресса или испытательной машины, создайте необходимое давление прямого прессования и выдержите в течение расчетного времени;

Таблица - Режим прессования

| Наименование и марка материала | Температура прессования, °С | Давление прессования р, МПа | Время выдержки на 1 мм толщины изделия T_s , с |
|---|-----------------------------|-----------------------------|--|
| Пресс-материал АГ-4В, АГ-4с, ГОСТ 20437-89 | 160±5 | $\frac{40 \pm 5}{60 - 80}$ | 100 - 200 |
| Примечание - В числителе – давление прямого прессования, в знаменателе – давление литьевого прессования. | | | |

24.3.3 Снимите давление, под выталкиватель пресс-формы подложите дополнительные подставки и, удалив пуансон, создайте необходимое давление для извлечения изделия;

24.3.4 После извлечения изделия и охлаждения его на воздухе произведите визуальный контроль качества;

24.3.5 Аналогично проведите литьевое прессование с использованием другой пресс-формы.

24.4 Содержание отчёта

24.4.1 Тема и цель лабораторной работы.

24.4.2 Краткая характеристика методов получения изделий из пластмасс.

24.4.3 Описание схемы и режима прямого и литьевого прессования (с необходимыми иллюстрациями).

24.4.4 Оценка качества полученных изделий и выводы из выполненной работы.

24.5 Контрольные вопросы

24.5.1 Что понимается под режимом прессования и порядком его выбора?

24.5.2 Какие вы знаете методы переработки пластмасс?

24.5.3 Чем определяется время выдержки при прессовании?

24.5.4 При какой схеме прессования давление выше?

24.5.5 Расскажите об особенностях устройства пресс-форм для прямого и литьевого прессования.

24.5.6 Каким методом получают сложные детали из пластмасс с установкой арматуры?

24.5.7 Чем характеризуются пресс-формы для мелкосерийного производства?

25 Лабораторная работа № 25

Изучение конструкций и исследование характеристик сварочных трансформаторов

25.1 Цель работы

25.1.1 Изучение конструкции, работы, электрических схем сварочных трансформаторов.

25.1.2 Исследование внешних характеристик сварочных трансформаторов и определение пределов регулирования сварочного тока.

25.2 Общие сведения

25.2.1 Назначение и классификация источников питания для дуговой сварки

Электрическая энергия подается в сварочную дугу от специальных устройств - источников питания. Конструкция и параметры источников зависят от их технологического назначения. Источники могут быть предназначены для одного из следующих способов:

- 1) ручной сварки покрытым электродом,
- 2) механизированной сварки под слоем флюса,
- 3) механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе,
- 4) ручной и автоматической сварки в защитном газе неплавящимся электродом постоянным током,
- 5) ручной и автоматической сварки в защитном газе неплавящимся электродом переменным током.

В зависимости от рода тока источники питания классифицируют на трансформаторы и специализированные установки на их основе для сварки на переменном токе и выпрямители, преобразователи, специализированные источники (установки) на базе выпрямителей для сварки на постоянном и переменном токе.

Принята единая система обозначения электрического оборудования буквенно-цифровым кодом, в котором первая буква обозначает тип изделия (Т – трансформатор, В – выпрямитель, Г – генератор, П – преобразователь, А – агрегат, У – установка).

Вторая буква – вид сварки (Д – дуговая, П – плазменная).

Третья буква – способ сварки (Ф – под флюсом, Г – в защитных газах, У – универсальный источник, М – механическое регулирование). Отсутствие буквы соответствует ручной сварке покрытыми электродами.

Четвертая буква дает пояснение назначения источника (М – многопостовой).

Одна или две последующие цифры означают величину номинального сварочного тока (в сотнях Ампер).

Последующие две цифры означают регистрационный номер изделия.

Следующая затем буква означает климатическое исполнение (У – для умеренного климата, УХЛ – умеренный и холодный, Т – для сварки в тропическом климате).

Последняя цифра соответствует категории размещения источника (1 – для работы на открытом воздухе, 2 – в неотапливаемых помещениях, 3 – в закрытых отапливаемых помещениях, 4 – в помещениях с искусственным регулированием климатических условий, 5 – в помещениях с повышенной влажностью).

Пример, ВДГМ – 16002У3 – выпрямитель для дуговой сварки в защитных газах, многоступенчатый с номинальным током 1600 А, порядковый номер модели 2, предназначен для работы в странах с умеренным климатом в закрытых отапливаемых помещениях.

Возможны и другие обозначения, принятые предприятием-изготовителем.

25.2.2 Требования к источникам питания сварочной дуги

Источник питания сварочной дуги должен удовлетворять определенным требованиям:

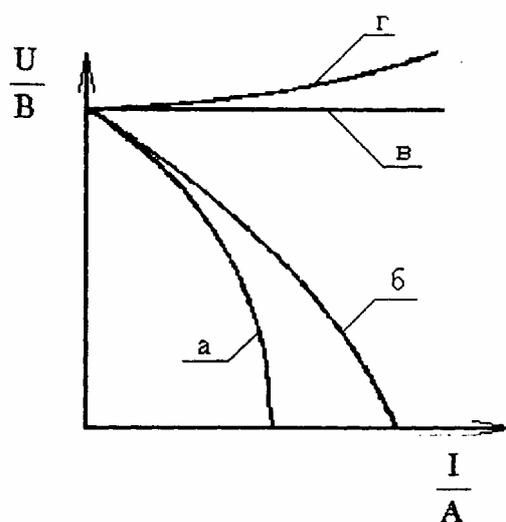
- обеспечивать надежное возбуждение сварочной дуги;
- поддерживать устойчивое горение дуги в процессе сварки;
- способствовать благоприятному переносу электродного металла (при сварке плавящимся электродом) и формированию сварного шва;
- обеспечивать возможность настройки требуемого режима сварки;
- выдерживать длительные и частые короткие замыкания или обеспечить быстрое расплавление электрода при коротком замыкании.

Для обеспечения надежного возбуждения дуги источник питания должен быть достаточно высоким напряжением холостого хода (не ниже 40 В). Первоначальное возбуждение дуги чаще всего производится первоначальным касанием электрода. При касании происходит короткое замыкание сварочной цепи, ток которого расплавляет и испаряет металл контактных поверхностей. При последующем отрыве электрода от изделия в пространстве, заполненном ионизированными парами и газами, под действием напряжения источника возбуждается сварочная дуга. Чем выше напряжение холостого хода источника, тем легче возбуждается дуга. По условиям безопасности напряжение холостого хода ограничено для источников переменного тока 80 В, источников постоянного тока 90 В.

Оценка устойчивости горения дуги производится по ее разрывной длине. Чем больше разрывная длина, тем выше ее устойчивость. Устойчивое горение дуги обеспечивается статическими и динамическими свойствами источника питания. Основной статической характеристикой источника питания

сварочной дуги является их внешняя характеристика. Зависимость напряжения на выходе источника от силы тока в сварочной цепи называется внешней характеристикой источника питания.

В зависимости от способа сварки и плотности тока на электроде для обеспечения устойчивого горения дуги внешняя характеристика источника должна иметь определенную форму (рисунок 25.1): крутопадающую (а), пологопадающую (б), жесткую (в), возрастающую (г). При ручной дуговой сварке покрытыми электродами на средних плотностях тока (до 100 А/мм²) (когда вольтамперная характеристика дуги жесткая) устойчивое горение дуги обеспечивается крутопадающей внешней характеристикой.



а – крутопадающая, б – пологопадающая,
в – жесткая, г - возрастающая

Рисунок 25.1 – Внешняя характеристика источников питания сварочной дуги

При изменениях длины дуги и ее напряжения величина тока изменяется незначительно. Таким образом, обеспечивается стабильность режима сварки и высокая устойчивость (эластичность) дуги при колебаниях ее длины в процессе сварки.

Внешняя характеристика источника питания считается крутопадающей, если

$$1,25 < \frac{I_{к.з.}}{I_p} < 2, \quad (25.1)$$

где $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания, А;

I_p – рабочий ток, А.

При сварке под флюсом с постоянной скоростью подачи сварочной проволоки используются источники с пологопадающей внешней характери-

стикой. Такая характеристика обеспечивает саморегулирование дуги. Свойство саморегулирования дуги заключается в том, что при небольшом диаметре электрода в дуге самопроизвольно устанавливается такой ток, при котором скорость плавления проволоки равна скорости ее подачи. При внезапном удлинении длины дуги сварочный ток уменьшается, уменьшается и скорость плавления проволоки. Длина дуги постепенно уменьшается, и система возвращается в исходное состояние.

При сварке в среде углекислого газа при высокой плотности тока используются источники с жесткой и возрастающей внешней характеристикой для повышения быстродействия процесса саморегулирования.

При сварке неплавящимся электродом, когда процесс саморегулирования отсутствует, внешняя характеристика источника должна быть крутопадающей.

Устойчивое горение дуги, благоприятный перенос электродного металла и хорошее формирование сварного шва обеспечивается так же динамическими характеристиками источника питания, т.е. оптимальной скоростью нарастания сварочного тока при скачкообразном изменении длины дуги и коротком замыкании.

Скачкообразное изменение длины дуги наблюдается при сварке плавящимся электродом, когда образовавшаяся капля расплавленного металла на конце электрода уменьшает длину дуги или совсем закорачивает межэлектродное пространство (сварка с коротким замыканием). В этом случае источник питания должен обладать высокими динамическими свойствами, т.е. обеспечивать оптимальную скорость нарастания тока при коротком замыкании. Слишком большая скорость нарастания тока приводит к перегреву и взрыву образовавшейся перемычки и выбрасыванию расплавленного металла за пределы сварного шва.

При слишком малой скорости увеличения тока в момент замыкания дугового промежутка между каплей и электродом не успевает образоваться шейка, и капля не отрывается. Происходит разогрев электрода на большом участке, который затем со взрывом разрушается. Возникающая при этом дуга отрывается, так как образовавшийся промежуток между электродом и изделием чрезмерно велик. Последующее возбуждение дуги возможно только после короткого замыкания электрода с расплавленным металлом. Оптимальная скорость увеличения тока короткого замыкания зависит от способа сварки и составляет 10-20 А/с, при установившемся токе короткого замыкания 350-500 А. Оптимальные динамические свойства источников питания достигаются конструкцией источника питания путем правильной подборки индуктивности сварочной цепи.

Регулирование сварочного тока и настройка на режим осуществляется с помощью источника питания двумя способами: изменением напряжения холостого хода или внутреннего сопротивления источника. Применяются и комбинированные способы.

Изменением напряжения холостого хода, сдвигается его внешняя характеристика (рисунок 25.2) и рабочая точка (пересечение внешней характеристики источника питания и статической характеристики дуги 1) занимает новое положение, соответствующее выбранному сварочному току.

При изменении сопротивления источника изменяется количество энергии, отдаваемое дуге (рисунок 25.3) ток дуги изменяется в соответствии с законами электрической цепи.

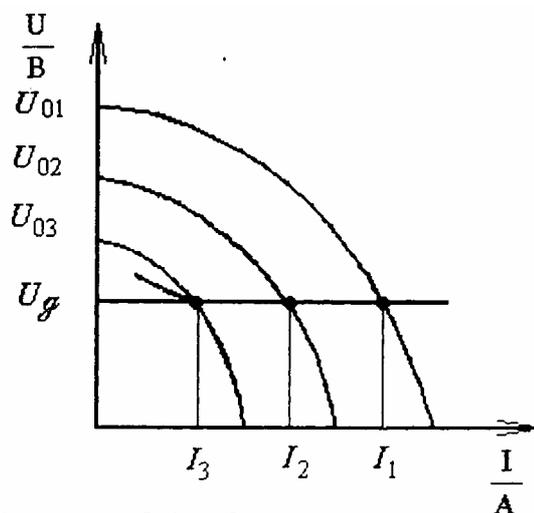


Рисунок 25.2 – Зависимость сварочного тока от изменения напряжения

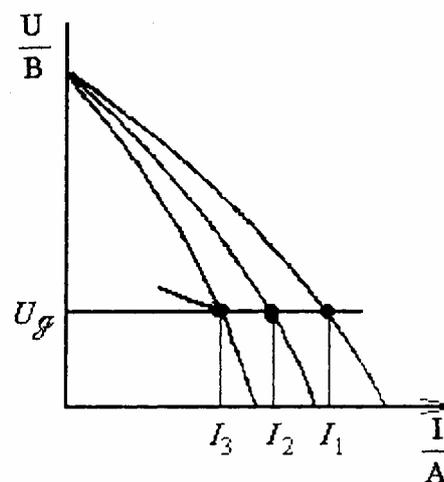


Рисунок 25.3 – Зависимость сварочного тока от изменения внутреннего сопротивления источника

Номинальный сварочный ток – это максимально допустимый ток для данного источника питания, при работе на котором при определенном режиме работы источник не перегревается. Например для ВД2016УЗ номинальный ток 200 А.

Источники питания для ручной сварки изготавливают на токи 125 - 500 А, для полуавтоматической - на токи 315-1000 А, для автоматической - на токи 900-2000 А, многопостовые источники имеют номинальный ток 1000-5000 А.

В технической документации кроме номинального сварочного тока и режима работы указывается также напряжение питающей сети, номинальная мощность, коэффициент полезного действия, габаритные размеры и масса источника питания.

25.2.3 Назначение, типы и принципиальные схемы трансформаторов

В настоящее время для дуговой сварки плавящимся электродом на переменном токе выпускают однопостовые передвижные или переносные сва-

ручные трансформаторы повышенного магнитного рассеяния с подвижными обмотками или с неподвижными шунтами с управляющими обмотками.

Наличие повышенного регулируемого индуктивного сопротивления (повышенного рассеяния) трансформаторов обеспечивает возможность получения их падающих характеристик, регулирования силы сварочного тока и повышения устойчивости горения дуги за счет сдвига фазы между током и напряжением. Для ручной дуговой сварки применяют трансформаторы с подвижными обмотками ТД-300, ТД-500, ТД-502 в передвижном исполнении и ТД-306, ТД-102 в переносном исполнении. Для автоматической сварки под слоем флюса с автоматическим регулированием скорости подачи электродной проволоки выпускают стабилизированные трансформаторы типов ТДФ-1001 и ТДФ-1601 с неподвижными шунтами и управляющими обмотками.

25.2.4 Сварочный трансформатор типа ТД-500

Однопостовой передвижной повышенного рассеяния предназначен для питания электрической дуги при ручной дуговой сварке и резке металлов переменным током, имеет падающую внешнюю характеристику. Трансформатор однофазный, стержневого типа. Сердечник трансформатора собран из листов электротехнической стали. Обмотки трансформатора имеют по две катушки, расположенные попарно на общих стержнях магнитопровода. Катушки первичной обмотки неподвижные, вторичной – подвижные.

Принципиальная упрощенная схема трансформатора показана на рисунке 25.4.

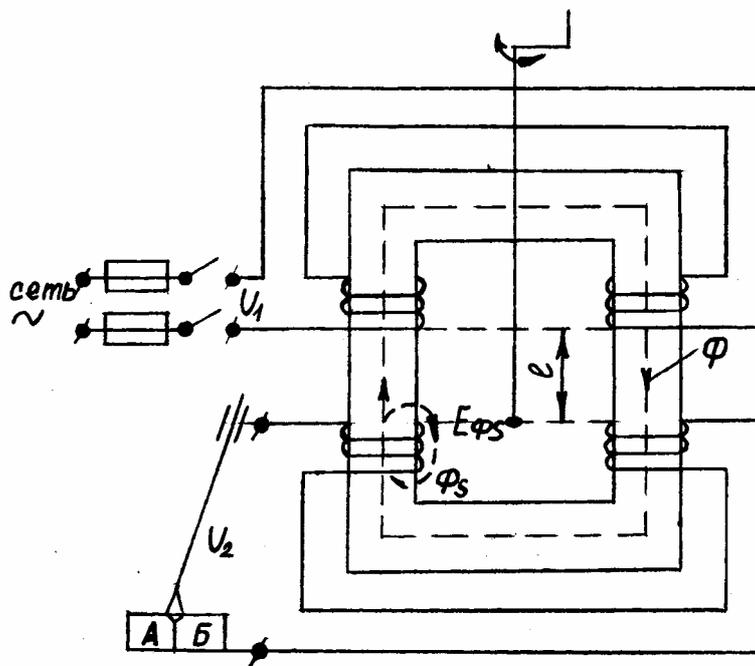


Рисунок 25.4 – Упрощённая принципиальная схема трансформатора ТД-500 с подвижными обмотками

На схеме показано по одной катушке первичной и вторичной обмоток. Для этого типа трансформаторов напряжение на дуге может быть определено из уравнения внешней характеристики трансформатора

$$U_d = U_2 = E_2 - E_{\phi,s}, \quad (25.2)$$

где U_2 – напряжение на зажимах вторичной обмотки,
 E_2 – комплексное действующее значение ЭДС вторичной обмотки,
 $E_{\phi,s} = I_2 \cdot Z_2$ – ЭДС потока рассеяния вторичной обмотки,
 I_2 – ток во вторичной цепи,
 $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ – полное сопротивление вторичной цепи,
 R_2 – активное сопротивление вторичной цепи,
 X_2 – индуктивное сопротивление вторичной цепи.

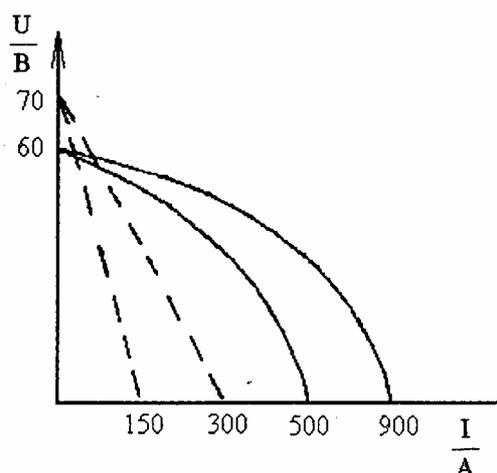
Пренебрегая активным сопротивлением вторичной цепи ($R_2 \ll X_2$), получим

$$U_d = U_2 = E_2 - I_2 \cdot X_2, \quad (25.3)$$

При холостом ходе, когда $I_2 = 0$, напряжение холостого хода максимально и равно

$$U_{x,x} = E_2 \quad (25.4)$$

При увеличении сварочного тока I_2 , растут потоки рассеяния Φ_s и их ЭДС, $E_{\phi,s}$, что приводит к снижению напряжения на дуге – U_d . Внешняя характеристика трансформатора (рисунок 25.5) – падает. Плавное регулирование



Сплошные линии - диапазон больших токов,
 пунктирные – малых токов

Рисунок 25.5 – Внешние характеристики трансформатора

сварочного тока осуществляется перемещением обмоток. При увеличении расстояния ℓ между обмотками растет индуктивное сопротивление трансформатора, что приводит к уменьшению напряжения на дуге и сварочного тока. При уменьшении расстояния ℓ сварочный ток растет.

Наиболее круто характеристики падают при раздвинутых катушках $\ell = \max$.

25.2.5 Сварочные трансформаторы ТДФ – 1001 и ТДФ – 1601

Трансформаторы предназначены для питания переменным током при автоматической сварке под слоем флюса с автоматическим регулированием скорости подачи электродной проволоки. Имеют крутопадающие характеристики и обеспечивают двухступенчатое плавное регулирование сварочного тока.

Трансформаторы стержневого типа с повышенным магнитным рассеянием, создаваемым специальным расположением обмоток и неподвижным подмагничиваемым шунтом.

Упрощенная принципиальная схема показана на рисунке 25.6.

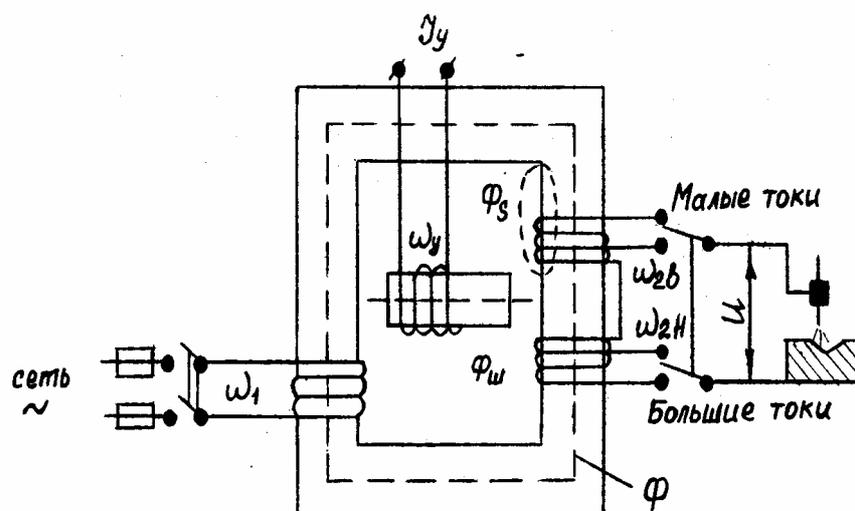


Рисунок 25.6 – Упрощённая схема трансформатора типа ТДФ

Трансформаторы типа ТДФ имеют первичную обмотку ω_1 ; две последовательно включенных вторичных обмотки: основную (верхнюю) – $\omega_{2в}$, дополнительную (нижнюю) – $\omega_{2н}$, и шунт с обмоткой управления $\omega_у$.

Вторичные обмотки секционированы и могут переключаться на малые «М» и большие «Б» токи. Плавное регулирование сварочного тока осуществляется путем изменения тока управления в обмотке шунта по заданной программе от блока управления через теристорный регулятор. Напряжение на дуге у такого трансформатора определяется суммой электродвижущих сил верхней и нижней вторичных обмоток.

$$\dot{U}_D = \dot{U}_2 = \dot{E}_{2H} + \dot{E}_{2B} \quad (25.5)$$

Нижняя часть вторичной обмотки намотана на первичную, поэтому ее потоки рассеяния практически отсутствуют. Электродвижущая сила этой обмотки определяется основным потоком

$$E_{2H} = f(\Phi) = U_1 \cdot k = U_1 \cdot \frac{\omega_{2H}}{\omega_1}, \quad (25.6)$$

где U_1 - первичное напряжение,

ω_1 - число витков первичной обмотки,

ω_{2H} - число витков нижней вторичной обмотки.

Она практически постоянна по величине. Верхняя часть вторичной обмотки вынесена на значительное расстояние от первичной и расположена по другую сторону от шунта. Её ЭДС создается основным потоком « Φ », потоком рассеяния « Φ_s » и потоком, замыкающимся через шунт « $\Phi_{ш}$ ».

$$E_{2B} = \psi(\Phi - \Phi_s - \Phi_{ш}). \quad (25.7)$$

С увеличением сварочного тока ЭДС этой части вторичной обмотки падает, что обеспечивает получение крутопадающей внешней характеристики трансформатора.

Регулирование сварочного тока осуществляется ступенчато путем переключения секции верхней и нижней части вторичной обмотки переключателем диапазонов.

На диапазоне малых токов «М» включается вся обмотка «2В» и часть обмотки «2Н», на диапазоне больших токов «Б» - часть обмотки «2В» и вся обмотка «2Н».

Плавное регулирование сварочного тока производится путем изменения тока « I_y » в обмотке управления с помощью электронного блока управления. Увеличение тока управления приводит к насыщению шунта, повышению его магнитного сопротивления, уменьшению потока « $\Phi_{ш}$ » и росту сварочного тока.

При уменьшении тока управления сварочный ток уменьшается.

25.3 Порядок выполнения работы

25.3.1 Изучить конструкции, электрические схемы, способы регулирования сварочных трансформаторов типов «ТД» (трансформаторы для ручной дуговой сварки) и ТДФ (трансформаторы для дуговой сварки под слоем флюса) по материалам методического пособия и рекомендуемой литературе. При подготовке к работе изучаемые материалы законспектировать.

25.3.2 Ознакомиться с методикой и провести исследования внешней характеристики трансформатора ТД-500. К выполнению работы приступить

только после инструктажа по технике безопасности на рабочем месте.

25.3.3 Построить внешние характеристики трансформатора ТД-500 для четырех предельных положений регулировочных устройств, установить типы характеристик и пригодность трансформатора для питания дуги при ручной дуговой сварке.

25.3.4 В процессе выполнения экспериментальных работ по исследованию внешних характеристик трансформатора определить пределы регулирования сварочного тока.

25.4 Методические указания по исследованию внешних характеристик трансформатора ТД –500

Для исследования внешних характеристик трансформатора ТД -500 и определения возможных пределов сварочного тока необходимо:

25.4.1 Установить в приспособление для крепления электродов два графитовых электрода (стержень диаметром 15-20 мм и графитовый столбик) и подключить к ним сварочные провода от трансформатора.

25.4.2 Установить минимальный ток трансформатора в режиме малых токов, для чего переключатель диапазонов установить в положение «Малые токи», а подвижную обмотку трансформатора вращением рукоятки поднять в верхнее крайнее положение.

25.4.3 Включить трансформатор нажатием кнопки «Пуск» и записать напряжение холостого хода.

25.4.4 Выключить трансформатор нажатием кнопки «Стоп». Установить зазор между электродами порядка 2-3 мм; включив трансформатор, возбудить дугу с помощью графитового стержня. Записать показания приборов при рабочем режиме и выключить трансформатор.

25.4.5 Снять электродержатель с приспособления, закрепить в нем медный электрод и замкнуть сварочную цепь на металлическую пластину, установленную на столе. Включить трансформатор на 2-3 секунды и по показаниям амперметра записать ток короткого замыкания. Выключить трансформатор.

25.4.6 Повторить опыты в соответствии с пунктами 3-5 для минимальных токов в режиме больших токов, для чего установить переключатель диапазонов в положение «Большие токи».

25.4.7 Повторить опыты в соответствии с пунктами 3-5 для максимальных токов в режимах больших и малых токов.

25.4.8 При определении тока короткого замыкания на максимальных токах в режиме больших токов тумблером, расположенным на приборной доске, включить амперметр со шкалой 0-800 А, а в остальных случаях пользоваться амперметром со шкалой 0-500 А.

25.4.9 Полученные результаты исследований внести в таблицу 25.1.

Таблица 25.1 - Результаты исследований внешних характеристик трансформатора ТД –500

| Положение вторичной обмотки | Положение переключателя диапазонов | Холо- стой ход | Рабочий режим | | Короткое замыкание |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------|-------|--------------------|
| | | U_{xx} | I_p | U_p | $I_{кз}$ |
| Верхнее | Малые токи Большие токи | | | | |
| Нижнее | Малые токи Большие токи | | | | |

25.4.10 По результатам исследований построить внешние характеристики трансформатора и определить пределы регулирования сварочного тока.

25.4.11 Сделать выводы о пригодности трансформатора для ручной дуговой сварки.

25.5 Содержание отчета по выполненной работе

25.5.1 Цель работы.

25.5.2 Назначение трансформаторов ТД-500 и ТДФ – 1001.

25.5.3 Электрические схемы трансформаторов ТД-500 и ТДФ – 1001.

25.5.4 Результаты исследований внешних характеристик трансформатора ТД -500 по форме таблицы.

25.5.5 Внешние характеристики трансформатора ТД -500, построенные по результатам исследований в форме графика паспортных характеристик (рисунок 25.5) с указанием режимов сварки на минимальных и максимальных токах.

25.5.6 Заключение о соответствии построенных внешних характеристик паспортных данных трансформатора ТД – 500 (рисунок 25.5) и его пригодности для питания дуги при ручной дуговой сварке.

25.5.7 Результаты определения пределов регулирования сварочного тока трансформатора ТД - 500.

25.5.8 Выводы.

25.6 Контрольные вопросы

25.6.1 Как классифицируют источники питания по роду тока?

25.6.2 Какая принята система обозначения сварочного электрического оборудования?

25.6.3 Что называется внешней характеристикой источника питания? Их формы.

25.6.4 Какие способы регулирования сварочного тока применяются в источниках питания сварочной дуги?

25.6.5 В чем сущность автоматического саморегулирования дуги при сварке под флюсом с постоянной скоростью подачи сварочной проволоки?

25.6.6 Какое напряжение холостого хода источников питания и почему?

25.6.7 Какая внешняя характеристика источника питания считается крутопадающей?

25.6.8 Какой сварочный ток считается номинальным?

26 Лабораторная работа № 26

Изучение источников питания сварочной дуги постоянного тока

26.1 Цель работы

26.1.1 Изучить устройство, конструкцию и принцип действия сварочных преобразователей.

26.1.2 Исследовать внешнюю характеристику сварочного генератора ПСО – 300.

26.1.3 Ознакомиться с конструкцией сварочных выпрямителей.

26.2 Основные сведения

26.2.1 Сварочные преобразователи

Сварочные преобразователи подразделяют на следующие группы: по количеству одновременно подключенных постов – однопостовые, многопостовые; по способу установки – стационарные, передвижные; по роду двигателей, приводящих генератор во вращение – машины с электрическим приводом, машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновые – САК и дизельные – САД); по способу выполнения – однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус; отдельные, в которых генератор и двигатель установлены в единой рамке, а привод осуществляется через специальную соединительную муфту.

Сварочные преобразователи обладают следующими преимуществами по сравнению с источниками переменного тока:

1) дуга постоянного тока горит более устойчиво из-за отсутствия затуханий, связанных с изменениями полярности переменного тока.

2) ввиду высокой стабильности дуги постоянного тока обеспечивается высокое качество сварки (отсутствие непроваров, включений и других дефектов);

3) при сварке постоянным током возможно применение всех выпускаемых промышленностью марок электродов;

4) источник питания постоянного тока менее чувствителен к колебаниям напряжения в сети, чем трансформатор;

5) сварочные генераторы удобны для использования в комплекте с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) при монтажных работах в местах, где отсутствует электроэнергия.

Сварочные преобразователи состоят из приводного асинхронного электродвигателя трехфазного тока и сварочного генератора, расположенных в общем корпусе. Преобразователи предназначены для работы в помещениях и на открытом воздухе.

Основным механизмом преобразователя является источник питания дуги – сварочный генератор. Наиболее распространены коллекторные генераторы, в которых выпрямление электрического переменного тока, вырабатываемого генератором, осуществляется путем снятия его с коллектора посредством угольных щеток. В настоящее время используются коллекторные генераторы с независимым возбуждением или самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой.

На рисунке 26.1 показаны электрические схемы генераторов этой серии. На подвижном корпусе генератора (рисунок 26.1 а) укреплены электромагнитные полюсы N и S (основные и дополнительные), а на общем валу с электродвигателем находится якорь генератора «Я» с коллектором. При вращении вала по коллектору скользят токосъемные щетки: основные «а» и «в» (рисунок 26.1). В генераторе с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой (рисунок 26.1 а) независимая обмотка возбуждения НО питается постоянным током от самостоятельного источника. Последовательная обмотка РО питается постоянным током от щеток «а» и «в». При пуске двигателя обмотка НО вызывает магнитный поток « Φ_n », который образует в обмотке якоря электродвижущую силу положительной полярности со стороны полюсов «N» и отрицательной – со стороны полюсов «S». К этим местам на коллекторе якоря подводятся токосъемные угольные щетки «а» и «в». Таким образом, происходит выпрямление переменного тока, вырабатываемого генератором.

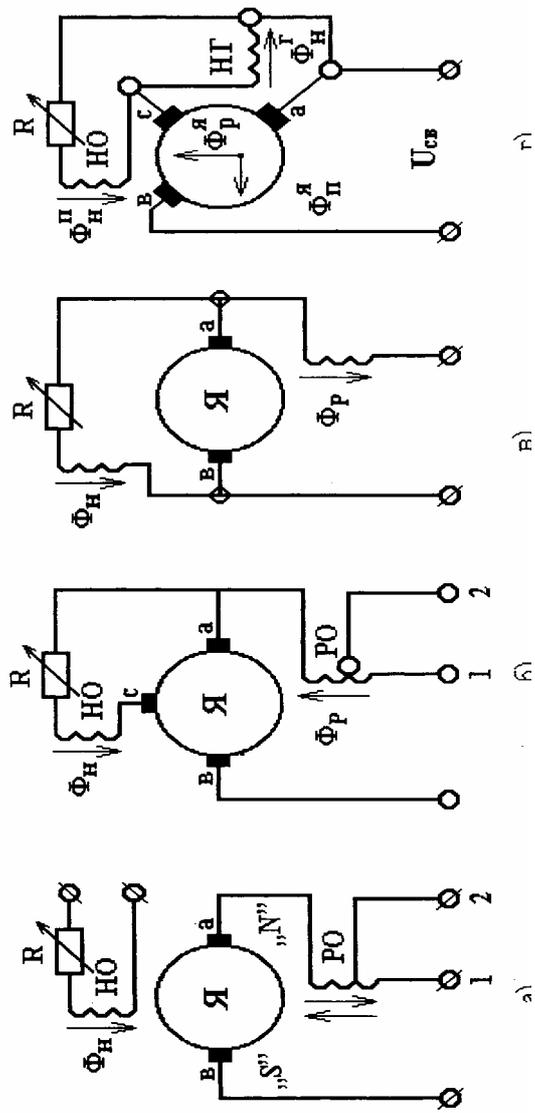
При холостом ходе напряжение на зажимах генератора, согласно ГОСТ 304-82, по условиям безопасности сварщика, не должно быть больше 100 В, что соблюдается в конструкциях отечественных коллекторных генераторов.

После зажигания дуги ток цепи якоря в последовательной обмотке возбуждения РО вызовет в полюсах генератора магнитный поток Φ_p , который будет направлен против магнитного потока Φ_n независимой обмотки «НО». Суммарный магнитный поток и ЭДС с увеличением тока будет уменьшаться на зажимах генератора, получится крутопадающая внешняя характеристика.

Плавное регулирование тока производится сопротивлением (реостат) «R», изменяющим ток «НО». При работе на диапазоне малых токов сварочный кабель подсоединяют к зажиму 1 (см. рисунок 26.1 а), при работе на диапазоне больших токов – к зажиму 2.

Принципиальная схема сварочного генератора с самовозбуждением и параллельной обмоткой показана на рисунке 26.1 б, в.

Параллельная обмотка самовозбуждения «НО» питается током от основной «а» и дополнительной «с» щеток токосъемника якоря. При вращении якоря в его обмотке индуцируется ЭДС за счет остаточного магнетизма главных полюсов, и через щетки «а» и «с» в обмотку самовозбуждения начинает поступать ток, образуя магнитный поток « Φ_n », который дополнительно индуцирует ЭДС в обмотке якоря, создавая через щетки «а» и «в» напряжение холостого хода на выходных зажимах генератора. При сварке в обмотке «РО» появится электрический ток, который образует размагничивающий



- а) генератор с независимым возбуждением и последовательно размагничивающейся обмоткой;
- б) сварочный генератор с возбуждением и параллельной обмоткой;
- в) сварочный генератор с самовозбуждением;
- г) генератор с самовозбуждением и с расщеплёнными полюсами.

Рисунок 26.1 - Принципиальные схемы сварочных генераторов

магнитный поток « Φ_p », направленный против потока « Φ_n » и уменьшающий ЭДС генератора и напряжение на дуге. Совместные действия магнитных потоков « Φ_n » и « Φ_p » обеспечивают падающую внешнюю характеристику генератора. Регулировка сварочного тока осуществляется реостатом R в больших и малых диапазонах.

Для получения жесткой характеристики магнитный поток « Φ_p » направляют в сторону потока « Φ_n », и напряжение генератора не меняется при нагрузке. На рисунке (26.1 в) показана схема генератора с самовозбуждением. Обмотка возбуждения питается током от якоря. Ток возбуждения и в нагрузке регулируется резистором R .

Разновидностью генератора с самовозбуждением является генератор с расщепленными полюсами.

Генератор (рисунок 26.1 г) имеет по два полюса одинаковой полярности, расположенные один за другим по окружности, но одноименные полюса расщеплены. Главные горизонтальные полюса « S_r » и « N_r » имеют вырезы, поэтому работают при полном магнитном насыщении. Каждая пара одноименных полюсов имеет параллельные намагничивающие обмотки «НГ» и «НП». При вращении якоря в его обмотке индуктируется ток за счет остаточного магнетизма полюсов и через щетки «а» и «с» поступает в обмотки «НГ» и «НП», увеличивая магнитный поток « Φ_r » и « Φ_n ».

При возникновении дуги ток резко возрастает, увеличивая магнитный поток самого якоря и реакции якоря $\Phi_{ян}$ и $\Phi_{яр}$. Подмагничивающее действие реакции якоря на усиление магнитного потока Φ_n^2 главных полюсов мало сказывается вследствие магнитного насыщения, поэтому напряжение на щетках «а-с», питающих обмотки возбуждения, практически изменяется мало. Размагничивающее действие реакции якоря Φ_p^s будет сильно сказываться на магнитном потоке « Φ_n^s » в воздушном зазоре под поперечными полюсами.

При увеличении сварочный ток поменяет свой знак, размагничивая поток главных полюсов и уменьшая напряжение до нуля при коротком замыкании. Таким образом, создается падающая внешняя характеристика. Размагничивающая реакция якоря выполняет функцию последовательной размагничивающей обмотки. Регулирование сварочного тока осуществляется реостатом. Применяется также ступенчатое регулирование тока путем смещения щеток в двух или трех фиксированных положениях.

26.2.2 Сварочные выпрямители

Сварочные выпрямители – это статические преобразователи энергии трехфазной сети переменного тока в энергию выпрямленного (пульсирующего) постоянного тока.

В настоящее время разработаны и выпускаются сварочные выпрямители: для ручной или механизированной дуговой сварки под флюсом, сварки в защитной среде и другие. Их основные преимущества – высокий КПД и от-

носителю небольшие потери холостого хода; отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе; равномерность нагрузки фаз; небольшая масса; возможность замены медных проводов на алюминиевые. Однако продолжительные короткие замыкания представляют большую опасность, так как могут вывести из строя диоды. Кроме того, они чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

По основным технико-экономическим показателям сварочные выпрямители являются более прогрессивными по сравнению со сварочными преобразователями.

Сварочные выпрямители состоят из двух основных блоков: понижающего трехфазного трансформатора с устройством для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующие и защитные устройства, обеспечивающие нормальную их эксплуатацию.

Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме, состоящей из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили, выпрямляющие оба полупериода переменного тока в трех фазах (рисунок 26.2)

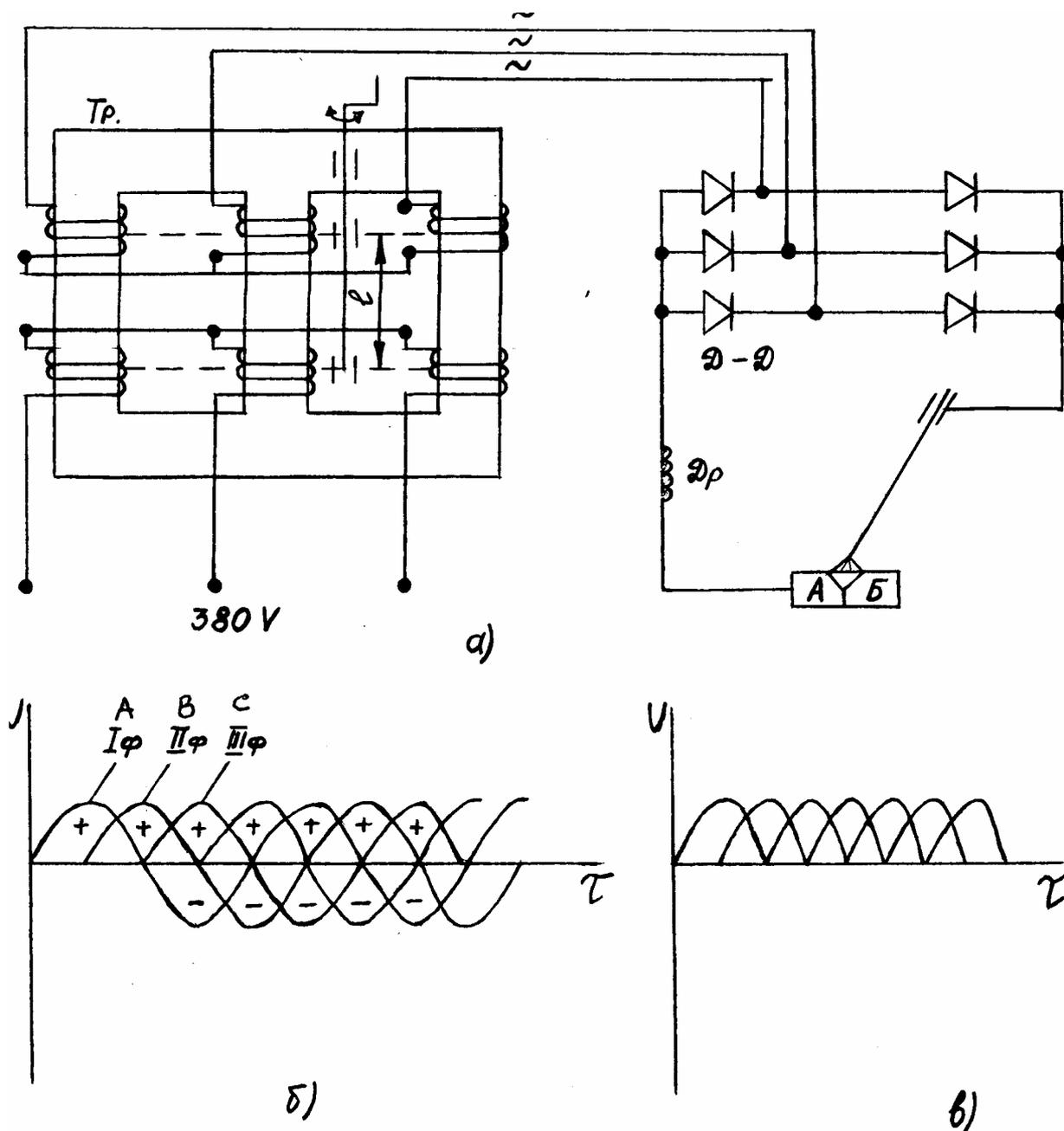
В каждый момент времени ток проходит через два вентиля и, таким образом, в течение одного периода происходит шесть пульсаций выпрямленного тока, что соответствует частоте пульсации 300 Гц.

Сварочные выпрямители подразделяются на однопостовые с падающими, жесткими, пологопадающими и универсальными характеристиками и многопостовые с жесткими характеристиками.

Падающая характеристика в выпрямителе создается включением в сварочную цепь реактивной катушки или применением трансформатора с усиленным магнитным рассеиванием, или балластным реостатом. Применяется при ручной сварке.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяются при сварке плавящимся электродом в углекислом газе, под флюсом, порошковой проволокой.

Сварочные выпрямители типов ВСУ и ВДУ являются универсальными источниками питания дуги. Они предназначены для питания дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, а также при ручной сварке. Выпрямители ВСУ, кроме обычного трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока, имеют дроссель насыщения с четырьмя обмотками. Переключением этих обмоток можно получать жесткую, пологопадающую внешние характеристики. Выпрямители ВДУ основаны на использовании в выпрямляющих обмотках тиристоров. Схема управления тиристорами позволяет получать необходимый для сварки вид внешней характеристики, обеспечивает широкий диапазон регулирования сварочного тока и стабилизацию режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети.



а - упрощённая схема; б - осциллограмма трёхфазного напряжения;
 в - осциллограмма трёхфазного выпрямленного напряжения

Рисунок 26.2 – Схема трёхфазного выпрямителя

26.2.3 Инверторные установки

Это сварочные установки на сварочные токи от 5 до 450 А:

T1 σ / W1 σ - дуговая сварка вольфрамовым электродом (W – электрод) в среде инертного газа (T1 σ);

T1 σ / DC – способ T1 σ на постоянном токе;

T1 σ / AC – способ T1 σ на переменном токе;

T1 σ / pulser – способ T1 σ пульсирующим током;

T1 σ /HF - способ T1 σ с системой бесконтактного возбуждения дуги высоковольтным и высокочастотным разрядом;

T1 σ /contact – способ T1 σ с контактным возбуждением дуги касанием об изделие.

Некоторые модели оснащаются процессорной системой управления, которая рассчитывает и контролирует все необходимые для оптимальной дуги параметры. Легко программируются сварочные характеристики.

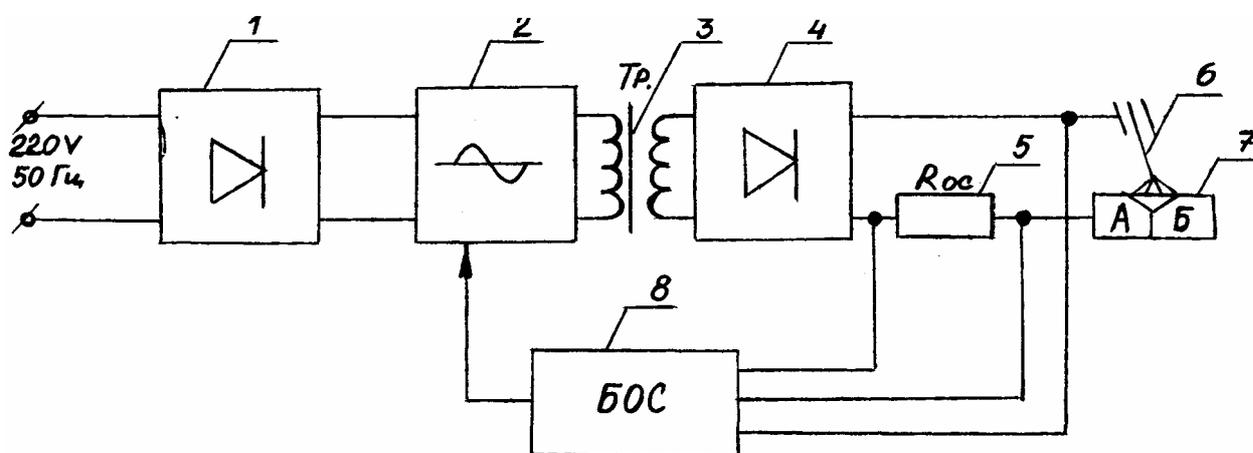
Главным преимуществом инверторных установок является их низкий вес, примерно в 10 раз меньше по сравнению с выпрямителями и трансформаторами. Это достигается за счёт высокой частоты преобразования сетевого напряжения.

$$P_{2ab} = \frac{1}{f},$$

где P_{2ab} - габаритная мощность установки, f - частота.

Частота промышленной сети 50 Гц, частота работы инверторной установки 50 – 100 кГц.

Блок – схема инверторной установки показана на рисунке 26.3



- 1 – низкочастотный выпрямитель; 2 – инвертор;
 3 – высокочастотный трансформатор; 4 – высокочастотный выпрямитель; 5 – сопротивление обратной связи;
 6 – электрод; 7 – заготовка; 8 – блок обработки сигналов

Рисунок 26.3 – Блок-схема инверторного источника питания сварочной дуги

Работает установка следующим образом. Сетевое напряжение поступает на низкочастотный выпрямитель 1. Постоянное напряжение с выпрями-

теля 1 поступает на инвертор 2, который выпрямленное напряжение преобразует в высокочастотное (50-100 кГц). Трансформатор 3 снижает напряжение до безопасных значений для работы сварщика. Со вторичной обмотки трансформатора 3 выпрямитель 4 подаёт сварочный ток в нагрузочную цепь через сопротивление 5 для обеспечения обратной связи через блок обработки сигналов 8. Трансформатор 3 высокочастотный. На вторичной обмотке всего несколько витков. Именно он и даёт значительное снижение веса источника.

Среди дополнительных функций следует отметить:

- Antistik - не даёт привариваться электроду во время зажигания дуги;
- Hochstart, горячий старт – даёт повышенный ток во время зажигания дуги;
- в случае длительного короткого замыкания срабатывает защита, ток отключается. При разрыве цепи после короткого замыкания не возникает дуга. Работоспособность восстанавливается через 5 с.

26.3 Порядок выполнения работы

Для исследования внешних характеристик генератора и определения пределов регулирования сварочного тока необходимо:

- 1) установить в приспособлении – штативе два графитовых электрода (стержень диаметром 15-20 мм и графитовый столбик) и подключить к ним сварочные провода от преобразователя ПСО – 300.
- 2) установить минимальный ток генератора;
- 3) включить преобразователь и, не замыкая электродов, записать по показаниям вольтметра напряжение холостого хода (таблица 26.1);

Таблица 26.1 - Результаты исследования внешних характеристик сварочного генератора ПСО –300 А

| Положение регулирующих устройств | | Холостой ход | Рабочий режим | | Короткое замыкание |
|----------------------------------|------------------|--------------|---------------|-------|--------------------|
| реостат | клеммная коробка | U_{xx} | U_p | I_p | $I_{к.з}$ |
| 75 А | 180 А | | | | |
| 180 А | 180 А | | | | |
| 120 А | 300 А | | | | |
| 300 А | 300 А | | | | |

4) установить зазор между электродами 2-3 мм, включить прямую полярность и возбудить дугу. Записать показания приборов при рабочем режиме;

5) закрепить в электродержателе медный электрод, произвести им короткое замыкание (3-5 с);

6) установить реостат (для генератора ПСО – 300 А) в положение «180 А» и повторить опыты в соответствии с пунктами 1 – 5;

7) отключить преобразователь от сети (для генератора ПСО - 300 А), переключить сварочный провод на клемму «300 А», а реостат поставить в положение «120 А» по наружной шкале и, включив преобразователь, повторить опыты;

8) перевести реостат в положение «300 А», повторить опыты.

26.4 Содержание отчета

26.4.1 Цель работы.

26.4.2 Назначение сварочных преобразователей и выпрямителей.

26.4.3 Электрическая схема генератора с независимой обмоткой возбуждения и с самовозбуждением.

26.4.4 Внешняя характеристика генератора.

26.4.5 Анализ полученных результатов

26.4.6 По внешней характеристике дать заключение о назначении преобразователей.

26.4.7 Принцип работы инверторных установок

26.5 Контрольные вопросы

26.5.1 Преимущества и недостатки источников питания сварочной дуги постоянным током.

26.5.2 Как устроен генератор с независимой обмоткой возбуждения и с самовозбуждением?

26.5.3 Как регулируется сила сварочного тока в сварочных генераторах?

26.5.4 Как регулируется сила сварочного тока в сварочных выпрямителях?

26.5.5 Какая внешняя характеристика источника питания сварочной дуги необходима при ручной дуговой сварке, сварке под слоем флюса, сварке в среде защитных газов и почему?

26.5.6 Каким образом обеспечивается крутопадающая внешняя характеристика сварочных выпрямителей?

26.5.7 Какое максимальное напряжение холостого хода сварочных генераторов и почему?

26.5.8 Какие электроды используют при ручной сварке постоянным током?

27 Лабораторная работа № 27

Исследование стабильности горения сварочной дуги при электрической сварке открытой дугой

27.1 Цель работы

27.1.1 Исследовать влияние ионизирующих компонентов, применяемых в электродных покрытиях, на устойчивость электрической сварочной дуги.

27.1.2 Изучить способы стабилизации дуги.

27.2 Общие сведения

27.2.1 Основы теории сварочной дуги

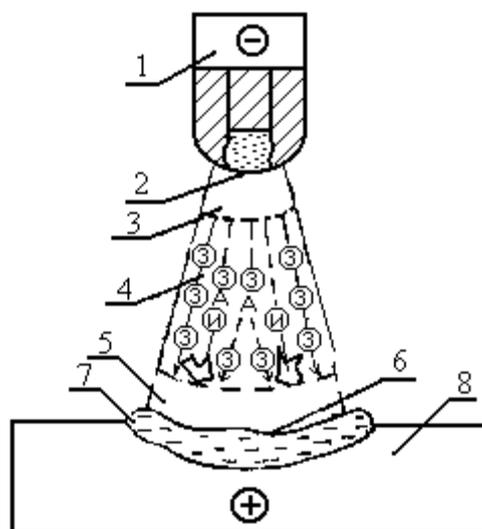
Электрическая сварочная дуга представляет собой устойчивый длительный электрический разряд в газовой среде между твердыми или жидкими электродами, осуществляемый при высокой плотности тока и сопровождаемый выделением большого количества теплоты. Потребляемая дугой электрическая энергия преобразуется в световую и тепловую. Поэтому сварочная дуга является концентрированным источником света и тепловой энергии, используемой для расплавления электрода и свариваемого металла.

Основными элементами сварочной дуги постоянного тока являются: катодное пятно, анодное пятно и столб дуги (рисунок 27.1).

Катодное пятно образуется на нагретой торцевой поверхности электрода, из которой происходит эмиссия электронов. Температура и площадь катодного пятна зависят от силы сварочного тока. С повышением силы сварочного тока площадь катодного пятна увеличивается, а температура достигает 2500 °С и более. На катодном пятне, наряду с выделением тепла, происходит расходование энергии на эмиссию электронов.

Анодное пятно образуется на поверхности свариваемого металла. На анодное пятно падает поток электронов, при падении электроны выделяют свою кинетическую энергию. Вследствие этого площадь и температура анодного пятна больше, чем катодного. Это свойство сварочной дуги используется при выборе полярности электрода и изделия при сварке на постоянном токе.

При прямой полярности (анод – изделие) количество тепла больше выделяется на изделии, при обратной (анод – электрод) – на электроде. Обычно температура анодного пятна больше 3000 °С.



- 1 – покрытый электрод; 2 – катодное пятно; 3 – катодная область;
 4 – газовый столб дуги; 5 – анодная область; 6 – анодное пятно;
 7 – глубина проплавления сварочной ванны; 8 – основной металл

Рисунок 27.1 – Строение сварочной дуги

Область между анодным и катодным пятнами называется столбом дуги. Выделение энергии в столбе дуги W пропорционально силе тока I и падению напряжения газового столба дуги $U_{ст}$

$$W_{ст} = I \cdot U_{ст} . \quad (27.1)$$

В зависимости от величины сварочного тока температура столба дуги может достигнуть максимального значения $7500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для возбуждения дуги в начальный момент необходимо несколько большее напряжение, чем при ее последующем горении. Это объясняется тем, что при возбуждении дуги воздушный зазор недостаточно нагрет, степень ионизации недостаточно высокая и необходимо большее напряжение, способное сообщить свободным электронам достаточно большую энергию, чтобы при их столкновении с атомами газового промежутка могла произойти ионизация.

Ионизация газовой среды характеризуется степенью ионизации, т.е. отношением числа заряженных частиц в данном объеме к первоначальному числу частиц (до начала ионизации). При полной ионизации степень ионизации будет равна единице.

На рисунке 27.2 представлен график зависимости степени ионизации от температуры нагрева некоторых элементов. Из графика видно, что при температурах $6000 - 8000\text{ }^{\circ}\text{C}$ такие вещества как калий, натрий, кальций обладают достаточно высокой степенью ионизации. Пары этих элементов, находясь в дуговом промежутке, обеспечивают легкость возбуждения и

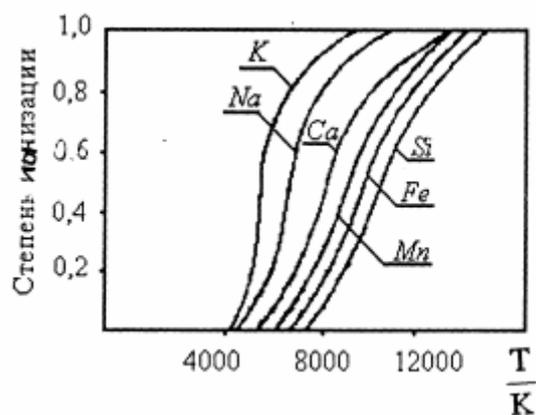


Рисунок 27.2 – Степень ионизации от температуры нагрева некоторых элементов

устойчивое горение дуги. Это свойство щелочных металлов объясняется тем, что атомы этих металлов обладают малым потенциалом ионизации.

Потенциалом ионизации U (В) называется отношение работы W (Дж), которая необходима для удаления одного электрона из атома вещества, к заряду этого электрона q (Кл), т.е.

$$U = \frac{W}{q} . \quad (27.2)$$

Сложные атомы, содержащие в своем составе много электронов, имеют несколько потенциалов ионизации. Первый потенциал ионизации соответствует удалению из атома электрона, который находится в наружной оболочке атома и слабее других связан с ним. Удаление следующих электронов, расположенных ближе к ядру и сильнее связанных с ним, потребует большей работы. Поэтому вторые и последующие потенциалы ионизации, соответствующие удалению второго и последующего электронов, будут больше (таблица 27.1).

Таблица 27.1 - Величина потенциала ионизации различных элементов

| | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Элементы | K | Na | Ba | Li | Al | Ca | Cr | Mn |
| U, эВ | 4,32 | 5,12 | 5,19 | 5,37 | 5,96 | 6,08 | 6,74 | 7,40 |
| Элементы | C | H | O | N | He | Fe | Ar | |
| U, эВ | 11,22 | 13,53 | 13,56 | 14,51 | 21,5 | 7,83 | 15,7 | |

Величина потенциала ионизации элементов зависит от величины заряда ядра, радиуса атома и других факторов.

Как видно из таблицы 27.1, наименьшими потенциалами ионизации обладают калий, натрий, барий, литий, алюминий, кальций и другие. Поэтому для повышения устойчивости горения электрической дуги эти вещества вводят в зону дуги в виде электродных покрытий или флюсов.

На практике эти вещества используются в виде химических соединений (мел CaCO_3 ; поташ K_2CO_3 ; сода Na_2CO_3 ; хромат калия K_2CrO_4).

Ионизирующие действия материалов электродных покрытий оценивают по обрывной (критической) длине сварочной дуги.

В газовом промежутке между двумя электродами ионы возникают в результате: термоэлектронной и фотоэлектронной эмиссии катода; автоэлектронной эмиссии; эмиссии, вызванной ударами частиц и объемной ионизации.

При электрической дуговой сварке плавлением металлическими электродами возможны все виды эмиссии электронов.

Зависимость напряжения дуги от тока в сварочной цепи называют статической вольт-амперной характеристикой дуги.

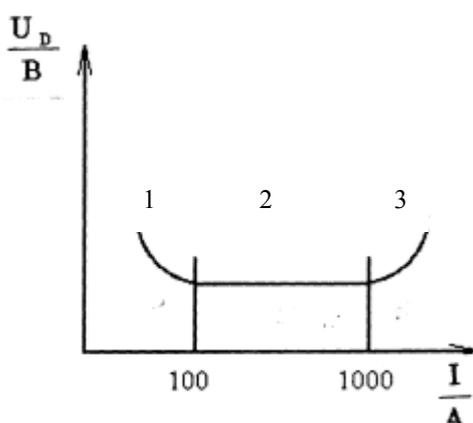


Рисунок 27.3 – Вольт-амперная характеристика дуги

Вольт-амперная характеристика дуги (рисунок 27.3) имеет три области: падающую 1, жесткую 2 и возрастающую 3.

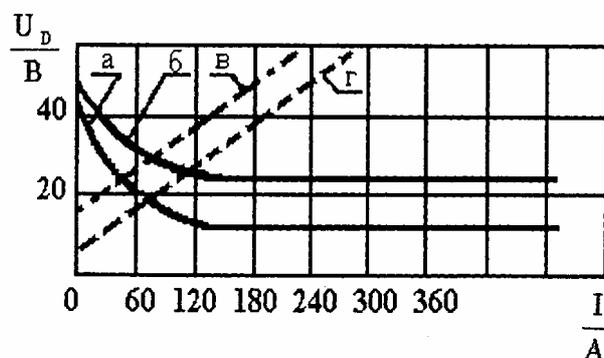
В области 1 (до 100 А) с увеличением тока напряжение значительно уменьшается. Это происходит в связи с тем, что при повышении тока увеличивается поперечное сечение, а, следовательно, и проводимость столба дуги.

В области 2 (100 – 1000 А) при увеличении тока напряжение сохраняется постоянным, так как сечение столба дуги и площади анодного и катодного пятен увеличиваются пропорционально току. Область характеризуется постоянством плотности тока.

В области 3 увеличение тока вызывает возрастание напряжения вследствие того, что увеличение плотности тока выше определенного значения не сопровождается увеличением катодного пятна ввиду ограниченности сечения электрода. Дуга в области 1 горит неустойчиво и поэтому имеет ог-

раниченное применение. Дуга в области 2 горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки.

Вольтамперная характеристика дуги (рисунок 27.4) при ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали, представлена в виде кривых “а” (длина дуги 2 мм) и “б” (длина дуги 4 мм). Кривые “в” и “г” относятся к автоматической сварке под флюсом при высоких плотностях тока.



а – длина дуги 2 мм; б – длина дуги 4 мм;
в, г – автоматическая сварка под флюсом
при высоких плотностях тока

Рисунок 27.4 – Вольтамперная характеристика дуги при ручной дуговой сварке

Напряжение, необходимое для возбуждения дуги, зависит: от рода тока (постоянный или переменный); дугового промежутка; материала электрода и свариваемых кромок; покрытия электродов и ряда других факторов. Значения напряжений, обеспечивающих возникновение дуги в дуговых промежутках, равных 2-4 мм, находятся в пределах 40-70 В.

Длиной дуги называется расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны. Короткой дугой называют дугу длиной 2-4 мм. Длина нормальной дуги составляет 4-6 мм. Дугу длиной более 6 мм называют длинной.

Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге. При электрической дуговой сварке переменным током питание сварочной дуги происходит от сварочного трансформатора синусоидального напряжения.

$$U_u = U_{ам} \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (27.3)$$

где $U_{ам}$ – амплитудное значение напряжения источника питания, В;
 ω – угловая частота тока ($\omega = 2\pi f$), 1/с;
 φ – угол сдвига фазы напряжения источника по отношению к току, град.

В схему питания дуги переменным током могут быть последовательно включены активное сопротивление R_c и индуктивное L_c (рисунок 27.5).

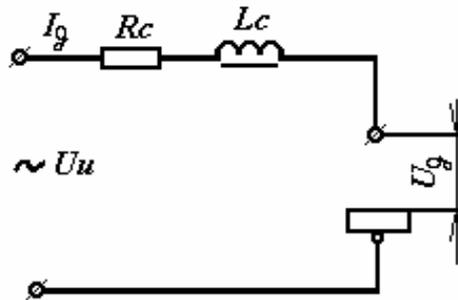


Рисунок 27.5 - Принципиальная схема питания сварочной дуги постоянного тока

Возможны отклонения от этой принципиальной схемы. Когда индуктивность в сварочной цепи отсутствует ($L_c = 0$), величина сдвига фазы $\varphi = 0$. Следовательно,

$$U_u = U_{ам} \cdot \text{Sin}(\omega t). \quad (27.4)$$

Поэтому при $t = 0$ и $t = T/2$ напряжение источника равно нулю (рисунок 27.6).

Фактически при каждом периоде в промежуток времени $t_n = t_y + t_3$ сварочная дуга не горит. Повышение стабильности горения сварочной дуги (уменьшение отрезка времени t_n) достигается путем уменьшения напряжения зажигания дуги U_3 . Зажигание дуги будет возможно, когда напряжение источника U_u достигает значения напряжения зажигания дуги U_3 , т.е. когда:

$$U_{ам} \cdot \text{Sin}(\omega t_3) = U_3, \quad (27.5)$$

где t_3 – время зажигания дуги, с.

В период горения сварочной дуги напряжение дуги остается постоянным.

Для большей устойчивости горения сварочной дуги переменного тока напряжение зажигания должно быть не более

$$U_3 = (1,5 - 2,5) \cdot U_D. \quad (27.6)$$

Для обеспечения этого требования напряжение холостого хода источника сварочного тока должно отвечать требованию

$$\frac{U_{xx}}{U_D} \geq 2. \quad (27.7)$$

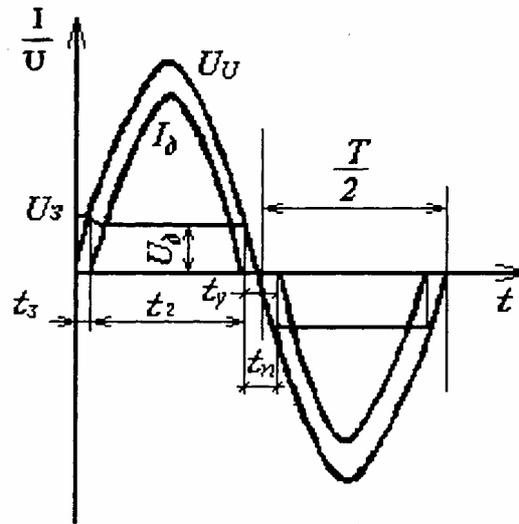


Рисунок 27.6 – Кривые тока I_d , напряжение дуги U_d и напряжение источника U_U в цепи с активным сопротивлением $/L_c = 0/$

Важное значение имеет сдвиг фаз между напряжением и током: необходимо, чтобы при переходе тока через нулевое значение напряжение было достаточным для возбуждения дуги. Это достигается введением в сварочную цепь индуктивного сопротивления ($L_c > 0$). При этом сразу после затухания дуги напряжение достаточно для ее повторного возбуждения.

27.2.2 Методы исследования разрывной длины дуги

Длина дугового промежутка, после естественного обрыва дуги, между двумя закрепленными электродами называется разрывной длиной дуги. Этот параметр применяется для исследования влияния ионизирующей способности различных электродов, рода и плотности тока на устойчивость горения дуги при ручной дуговой сварке.

При исследовании влияния плотности тока одно из значений сварочного тока должно соответствовать расчетному для данного диаметра электрода, а две других должны быть меньше и больше. Расчетный ток определяют по формуле К.К. Хренова

$$I_{\text{расч.}} = (m + n \cdot d) \cdot d, \quad (27.8)$$

где d – диаметр электрода, мм;

$m = 20$ и $n = 6$ – постоянные коэффициенты.

Для диаметра электрода 4 мм $I_{\text{расч.}} = 176$ А. Сварочный ток устанавливают по амперметру при горячей дуге, допускается установить по току короткого замыкания, используя зависимость между ними

$$I_{\text{к.з.}} = K \cdot I_{\text{св}}, \quad (27.9)$$

где K – постоянный коэффициент для данного источника питания.

Для используемых источников питания $K = 1,5$. Значит, ток короткого замыкания, при котором обеспечивается установка нужного сварочного тока равен 264 А. Увеличив и уменьшив этот ток, например, на 70 А, получим три значения токов короткого замыкания

$$I_{к.з.1} = 194 \text{ А}; \quad I_{к.з.2} = 264 \text{ А}; \quad I_{к.з.3} = 334 \text{ А}.$$

При этих токах необходимо исследовать влияние силы тока или плотности тока на устойчивость горения дуги.

Построив графики зависимости разрывной длины дуги от силы тока для различных электродов при питании от источника переменного или постоянного тока на прямой и обратной полярности, можно судить о влиянии указанных факторов на устойчивость горения дуги.

Ионизирующее действие материалов электродных покрытий и флюсов, при номинальном токе также оценивается по обрывной (максимальной) длине дуги.

27.3 Порядок выполнения работы

27.3.1 Закрепить электрод 1 в зажиме 2 штатива (рисунок 27.7).

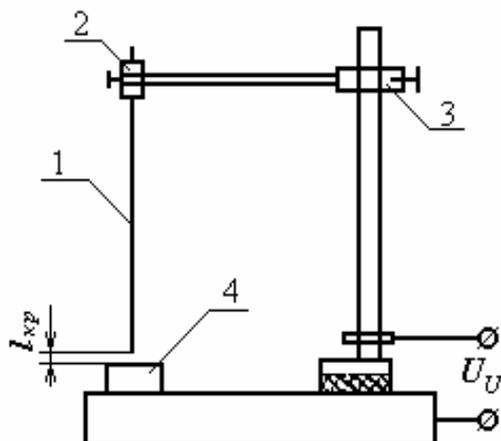


Рисунок 27.7 – Схема для исследования критической длины сварочной дуги, $S_{кр}$

27.3.2 Перемещением зажима 3 установить торец электрода на расстоянии 2 мм от поверхности стальной пластины 4.

27.3.3 Подключить напряжение к электродам.

27.3.4 Возбудить дугу между электродом и стальной пластиной, замыкая на короткое время промежуток между ними заточенным угольным электродом.

27.3.5 После догорания электрода до естественного обрыва отключить напряжение.

27.3.6 После отключения напряжения с электродов измерить расстояние между торцом электрода и наплавленным металлом.

При наличии шлака он должен быть удален.

27.3.7 Опыты производить согласно таблице 27.2.

Таблица 27.2 - Зависимость разрывной длины дуги от силы тока короткого замыкания для различных электродов при сварке на переменном и постоянном токе прямой или обратной полярности

| Тип электрода | Род тока и полярность | | № опыта | Разрывная длина дуги для тока короткого замыкания | | |
|------------------|-----------------------|------------|---------|---|-------------------------|-------------------------|
| | | | | $I_{кз1}=194 \text{ А}$ | $I_{кз2}=264 \text{ А}$ | $I_{кз3}=334 \text{ А}$ |
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Необмазанный | Переменный | | 1 | | | |
| | | Постоянный | прямая | 2 | | |
| | обратная | | 3 | | | |
| Толстообмазанный | Переменный | | 1 | | | |
| | | Постоянный | прямая | 2 | | |
| | обратная | | 3 | | | |
| Тонкообмазанный | Переменный | | | | | |
| | | Постоянный | прямая | 2 | | |
| | обратная | | 3 | | | |

27.3.8 По данным таблицы построить график. Каждую построенную кривую обозначить условным номером опыта в соответствии с таблицей.

27.4 Содержание отчета по выполненной работе

27.4.1 Цель работы.

27.4.2 Описание строения сварочной дуги.

27.4.3 Описание кривых тока и напряжения дуги при сварке переменным током в цепи с активным сопротивлением.

27.4.4 Результаты опытов в виде таблицы и графика.

27.4.5 Анализ полученных результатов с описанием механизма влияния различных факторов на устойчивость горения дуги.

27.5 Контрольные вопросы

27.5.1 Условия горения электрической сварочной дуги.

27.5.2 Процесс ионизации газов в дуговом промежутке.

27.5.3 Способы стабилизации сварочной дуги переменного тока.

27.5.4 Требования к элементам, вводимым в состав электродного покрытия, для стабилизации дуги.

27.5.5 Влияние элементов, используемых для покрытия электродов, на стабильность горения сварочной дуги.

28 Лабораторная работа № 28

Исследование влияния силы сварочного тока на величину коэффициента наплавки *)

28.1 Цель работы

28.1.1 Исследовать коэффициенты расплавления и наплавки при дуговой сварке.

28.1.2 Определить коэффициент потерь металла.

28.2 Общие сведения

Основы теории тепловых процессов сварочной дуги. Электроды или сварочная проволока при различных способах дуговой сварки плавлением нагреваются от двух источников тепловой энергии: сварочной дуги и тепла, которое выделяется при протекании тока по вылету электрода (по закону Джоуля-Ленца).

Температура столба дуги, по данным технической литературы, составляет 5500 – 7500 °С. При сварке постоянным током температура в катодной области ниже температуры в анодной, так как часть тепловой энергии затрачивается на эмиссию электронов. Анод получает от столба дуги дополнительную энергию с потоком электронов. Температура на анодном и катодном пятнах приближается к температуре испарения металла. Тепловая энергия, выделяющаяся на катодном и анодном пятнах, расходуется на нагрев и плавление электрода (сварочной проволоки) и свариваемого металла. Часть тепловой энергии расходуется на термоэмиссию электронов.

Тепловая энергия сварочной дуги Q , Дж/ч

$$Q = I \cdot U, \quad (28.1)$$

где I – сила сварочного тока, А;

U – напряжение дуги, В.

Часть тепловой энергии сварочной дуги расходуется на теплоотдачу в окружающую среду, на потери при разбрызгивании металла и др.

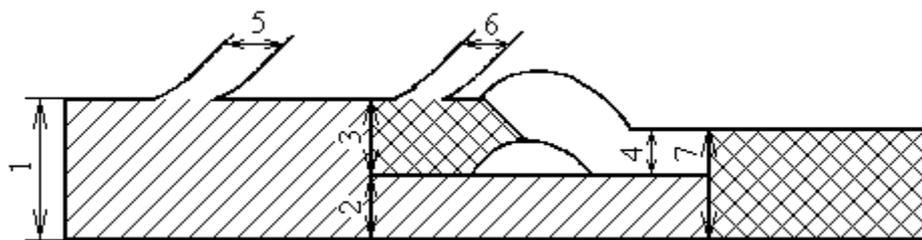
Эффективная энергия сварочной дуги $Q_{\text{эф}}$, Дж/ч, характеризующая количество тепловой энергии, вводимой сварочной дугой в металл, составляет

$$Q_{\text{эф}} = \eta \cdot I \cdot U, \quad (28.2)$$

где η – эффективный коэффициент использования тепловой энергии сварочной дуги.

*) Составлено при участии Левченко Г.С.

Величина η зависит от способа сварки, материала электрода, состава покрытия и др. При сварке открытой дугой электродами с толстым покрытием $\eta = 0,70 - 0,75$, при сварке под слоем флюса $\eta = 0,85 - 0,9$. Примерный тепловой баланс сварочной дуги приведен на рисунке 28.1.



1 – полная тепловая энергия (100 %); 2 - энергия, поглощаемая свариваемым металлом (50 %); 3 – энергия, поглощаемая электродом (30 %); 4 – энергия, переносимая в сварочную ванну с каплями расплавленного металла (25 %); 5 – энергия, рассеиваемая в окружающую среду (20 %); 6 – энергия, теряемая с каплями разбрызгиваемого металла (5 %); 7 – эффективная тепловая энергия (75 %).

Рисунок 28.1 - Тепловой баланс сварочной дуги

Количество тепловой энергии Q_B , Дж/ч, выделяемой на длине вылета электрода, равно

$$Q_B = I^2 \cdot \frac{\rho \cdot l_B}{r}, \quad (28.3)$$

где ρ – удельное сопротивление металла проволоки, Ом·м;

l_B – длина вылета не более 0,42 - 0,43 м;

r – площадь сечения сварочной проволоки, м².

При соблюдении оптимальных режимов сварки сварочная проволока по длине вылета нагревается до 600 °С.

Такая температура способствует ускорению процесса плавления электрода. При большей плотности сварочного тока электрод нагревается более 627 °С, при этом ухудшается формирование шва и увеличивается разбрызгивание металла, обмазка отстает от поверхности электрода. Поэтому при ручной дуговой сварке величину тока ограничивают.

Производительность процесса сварки определяется количеством расплавленного и наплавленного металла в единицу времени.

Масса расплавленного металла σ_p , г, электрода или сварочной проволоки определяется по формуле

$$\sigma_p = K_p \cdot I \cdot t, \quad (28.4)$$

где K_p – коэффициент расплавления, г/А·ч;

Коэффициент K_p показывает массу расплавленного металла электрода при токе 1А в течение часа. Коэффициент расплавления зависит от величины тока (плотности тока), напряжения дуги, состава и толщины электродного покрытия и др.

С увеличением сварочного тока увеличивается его эффективная тепловая энергия $Q_{эф}$ и, следовательно, повышается количество тепла, вводимого в металл электрода. Кроме того, увеличивается температура нагрева электрода проходящим током. Однако часть расплавленного металла электрода испаряется и разбрызгивается. Масса металла, σ , г, наплавляемого на поверхность свариваемой детали, будет равна

$$\sigma = K_H \cdot I \cdot t, \quad (28.5)$$

где K_H – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Коэффициент наплавки характеризует массу наплавленного металла на поверхность детали при токе 1А в течение 1 часа

$$K_H = \frac{\sigma_H}{I \cdot t}, \quad (28.6)$$

Коэффициент наплавки K_H меньше коэффициента расплавления на величину потерь. Коэффициент потерь

$$K_{II} = \frac{\sigma_p - \sigma_H}{\sigma_p} \cdot 100 \% \quad (28.7)$$

$$\text{или} \quad K_{II} = \frac{K_p - K_H}{K_p} \cdot 100 \% \quad (28.8)$$

Коэффициент потерь может изменяться в зависимости от способа сварки, типа электрода и плотности тока.

На величину потерь металла оказывают влияние: род и сила сварочного тока; напряжение на дуге; химические составы стержня и покрытия электрода; длина сварочной дуги; характер переноса капель металла от электрода в сварочную ванну и величина наклона электрода в процессе сварки.

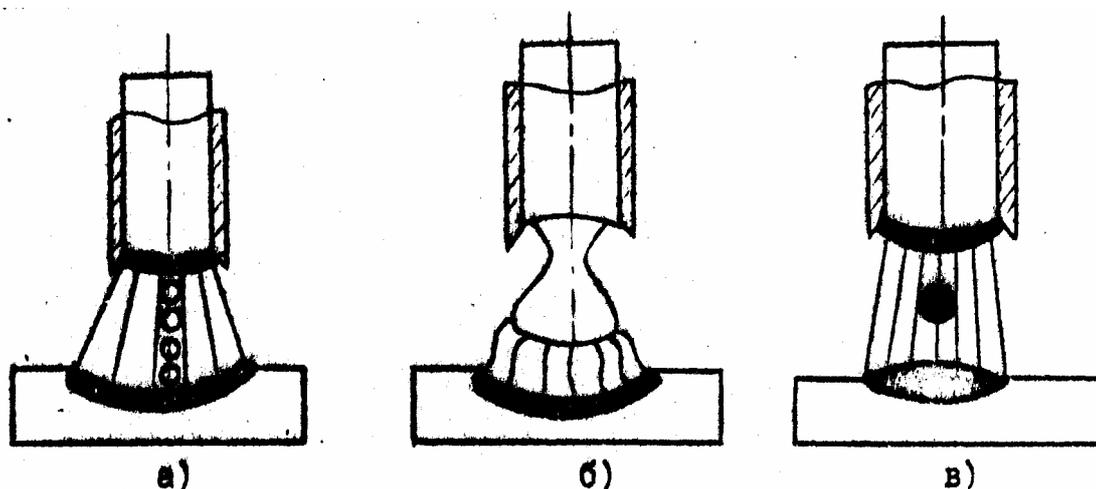
Так, при сварке электродами с тонким покрытием потери металла сварочной проволоки составляют 10-15 %, при использовании электродов с толстым покрытием – 10 %, а при автоматической сварке под слоем флюса - не более 5 %.

При ручной дуговой сварке электродами с тонким покрытием $K_H = 5,5 - 6,5$ г/А·ч. При использовании электродов с толстым покрытием K_H составляет 8 - 10 г/А·ч.

При дуговой сварке капля, оторвавшаяся от электрода в процессе переноса от катода к аноду за время 0,01 - 0,05 с, в зависимости от плотности сварочного тока нагревается до температуры более 2227 °С. При такой температуре наблюдается испарение металла.

Основной причиной потерь металла при ручной дуговой сварке является разбрызгивание. Интенсивное разбрызгивание металла в значительной степени определяется характером переноса металла от электрода в сварочную ванну.

Скоростными киносъемками установлено три характера переноса металла: крупными каплями, мелкими каплями и струйный (рисунок 28.2). Характер переноса капель от электрода в сварочную ванну зависит от напряжения на дуге, силы сварочного тока и длины сварочной дуги.



а) струйный; б) крупными каплями; в) мелкими каплями

Рисунок 28.2 – Схема переноса металла через сварочную дугу

Капли электродного металла крупных размеров переходят в ванну при минимальной длине дуги или коротких замыканиях.

В результате действия эффективной энергии сварочной дуги на торце электрода образуется капля жидкого металла, которая удерживается силами поверхностного натяжения. По мере увеличения размеров капли (в результате действия силы тяжести и электромагнитных сил), в ней образуется узкая перемычка. Вследствие уменьшения длины дуги падает напряжение на дуге и повышается величина сварочного тока. При увеличении плотности тока металл в зоне перемычки нагревается до температуры кипения. В виду реактивного действия паров металла происходит взрывообразный отрыв капли от

электрода. Образовавшиеся при взрыве очень мелкие капли металла отбрасываются за пределы дугового промежутка.

С увеличением тока размеры капель уменьшаются. При сварке длинной дугой и высокой плотности тока увеличивается количество взрывообразно отрываемых от электрода капель в единицу времени. Поэтому возрастает разбрызгивание мелких капель металла.

При больших плотностях тока возможен струйный перенос расплавленного металла от электрода в сварочную ванну.

В покрытиях электродов содержатся газообразующие вещества: мрамор, органические компоненты и др. От тепловой энергии сварочной дуги и нагретого металлического стержня электрода материал покрытия начинает плавиться и испаряться изнутри. Так как покрытие плавится с некоторым опозданием по сравнению с металлическим стержнем, то на торце электрода образуется козырек. Поэтому газовый поток направляется к сварочной ванне. В дуговом промежутке образуется интенсивное газовое дутье. Поток газа отдельные частицы жидкого металла отбрасываются за пределы сварочной ванны. Такие потери металла увеличиваются по мере увеличения плотности тока и при мелкокапельном переносе металла.

Образование газовой среды в дуговом промежутке объясняется следующими причинами.

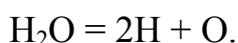
При высокой температуре наблюдается диссоциация карбидов мрамора, входящего в состав электродного покрытия



Затем в результате диссоциации углекислого газа образуются оксид углерода и кислород

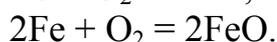
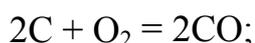


При содержании влаги в электродном покрытии возможна диссоциация H_2O по схеме



В дуговом промежутке образуется окислительная газовая среда сложного химического состава, включающая CO_2 , CO , H_2 , N_2 , O_2 и пары металлов.

Создаются благоприятные условия для адсорбции газов в капле жидкого металла и для окисления C и Fe



Объем образовавшейся газообразного оксида углерода во много раз превышает объем капли: образовавшийся газ, разрушая каплю с большой скоростью, выделяется в дуговом промежутке.

Следовательно, величина потерь металла зависит от плотности сварочного тока, оказывающего влияние на характер переноса капли, интенсивность газового потока и окислительные процессы в капле жидкого металла. При сварке постоянным током потери будут больше, чем при использовании переменного тока.

28.3 Порядок выполнения работы

Исследовать влияние силы переменного тока на величину коэффициента наплавки при использовании электродов с толстым покрытием. Силу тока I , А, определяют из условия

$$I = (40 \dots 50) \cdot d_{\text{эл}}, \quad (28.9)$$

Во время наплавки электродного металла на стальную пластину фиксируют ток и время непрерывного горения дуги в секундах.

Перед опытом пластину очищают металлической щеткой от брызг металла и шлака и вторично взвешивают. По разности результатов взвешивания пластины определяют массу наплавленного металла.

Коэффициент наплавки K_n , г/А·ч, определяют по формуле

$$K_n = \frac{G_{\text{п.н.}} - G_{\text{д.н.}}}{I \cdot t}, \quad (28.10)$$

где $G_{\text{п.н.}}$ – масса пластины с наплавленным валиком, г;

$G_{\text{д.н.}}$ – масса пластины до наплавки валика, г;

t – время горения дуги при наплавке валика, с.

Коэффициент потерь металла определяем по формуле (28.7). Массу расплавленного электродного металла в граммах определяем по формуле

$$G_p = \frac{\pi d_{\text{эл}}^2}{4} (\ell_{\text{эл.д.н.}} - \ell_{\text{эл.п.н.}}) \cdot \rho, \quad (28.11)$$

где $d_{\text{эл}}$ – диаметр электродного стержня, см;

$\ell_{\text{эл.д.н.}}$ – длина электрода до наплавки, см;

$\ell_{\text{эл.п.н.}}$ – длина электрода после наплавки, см;

ρ – плотность стального электрода (7,8 г/см³).

Результаты исследований занести в таблицу 28.1.

28.4 Содержание отчета по выполненной работе

28.4.1 Описание методики производства опытов и их результаты в виде таблицы.

28.4.2 Выводы по полученным результатам.

28.5 Контрольные вопросы

28.5.1 Как изменяется процент потерь на угар и разбрызгивание электрода?

28.5.2 Остается ли постоянным коэффициент наплавки?

28.5.3 Как изменяется коэффициент расплавления электрода?

28.5.4 Чему равна эффективная тепловая мощность сварочной дуги?

28.5.5 Объясните характер и причины изменения коэффициента наплавки по мере увеличения силы сварочного тока.

28.5.6 Причины разбрызгивания металла при электрической дуговой сварке.

29 Лабораторная работа № 29

Изучение технологии и оборудования для сварки неплавящимся электродом в защитных газах *)

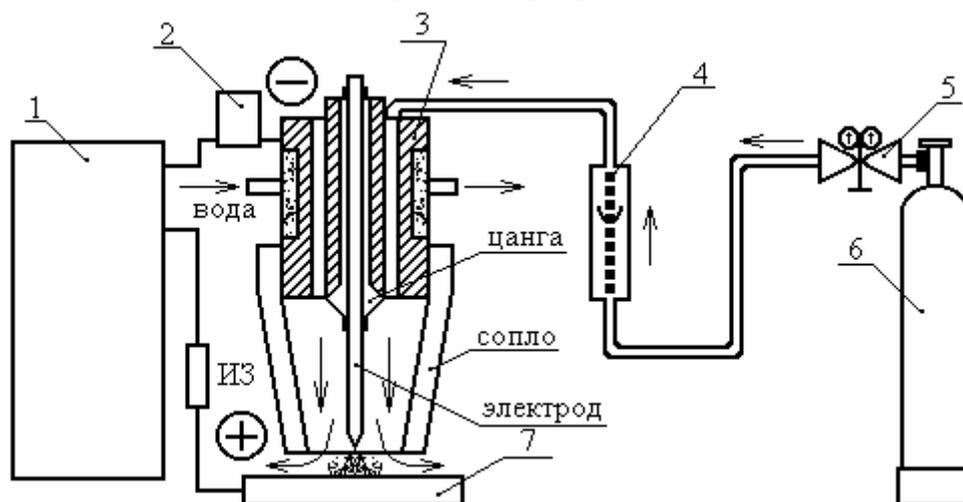
29.1 Цель работы

Изучить технологию сварки неплавящимся электродом в защитных газах и ознакомиться с устройством и работой источника питания ВСВУ – 160.

29.2 Основные сведения

Дуговая сварка в защитных газах неплавящимся (вольфрамовым) электродом имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами сварки плавлением:

- 1) высокоэффективная защита расплавлению металла, возможность сварки химически активных металлов и сплавов;
- 2) высокая степень концентрации дуги, обеспечивающая минимальную зону структурных превращений;
- 3) возможность сварки изделий различной толщины в пределах от долей миллиметра до десятков миллиметров;
- 4) возможность наблюдения за сварочной ванной и дугой;
- 5) отсутствие необходимости применения флюсов и обмазок;
- 6) высокая стабильность дугового разряда.



- 1 – источник питания; 2 – осциллятор; 3 – горелка;
4 – ротаметр; 5 – редуктор; 6 – баллон; 7 – деталь

Рисунок 29.1 – Схема процесса и оборудование сварочного поста

*) Составлено при участии Левченко Г.С.

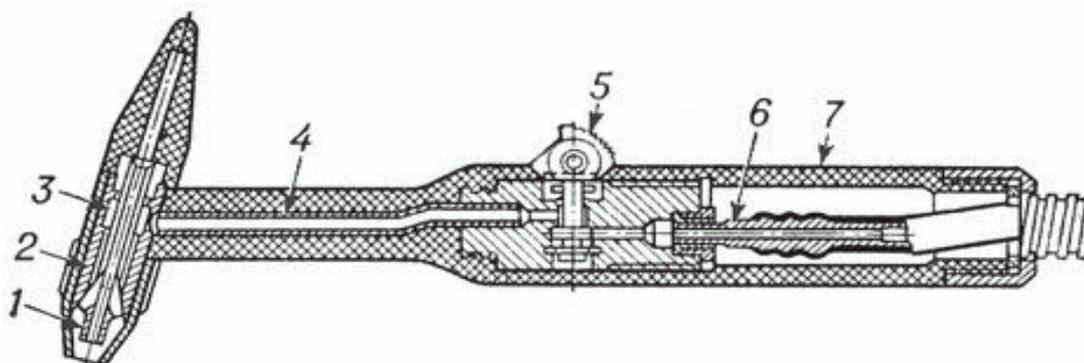
Сварочный пост состоит из источника питания (1), сварочной горелки (3), ротаметра (4), редуктора (5) и газового баллона (6) (рисунок 29.1).

Защитный газ из баллона (6) через редуктор (5) и ротаметр (4) поступает в сварочную горелку (3) (рисунок 29.2). Редуктор служит для установки необходимого по режиму сварки расхода защитного газа.

Расход газа контролируется по ротаметру. Из горелки защитный газ через специальное сопло поступает в зону сварки, защищая сварочную ванну и разогретый металл от окружающей атмосферы. Оптимальная газовая защита металла обеспечивается при использовании сопел, имеющих профиль полого конуса, переходящего в цилиндр. Сопло горелки должно быть изолировано или изготовлено из неэлектропроводного материала (например, из керамики).

Вольфрамовый электрод закрепляется в горелке с помощью цанги и охлаждается проточной водой от перегрева. Для сварки неплавящимся электродом применяют в основном инертные газы аргон и гелий. Свойства сварного соединения практически не зависят от вида применяемого защитного газа. Наиболее распространенной является аргонно-дуговая сварка, так как вследствие большей плотности аргон позволяет создавать более надежную и стабильную защиту зоны сварки.

Для сварки тугоплавких металлов используется гелий, так как при гелиево-дуговой сварке эффективная мощность дуги выше, чем при сварке в среде аргона.



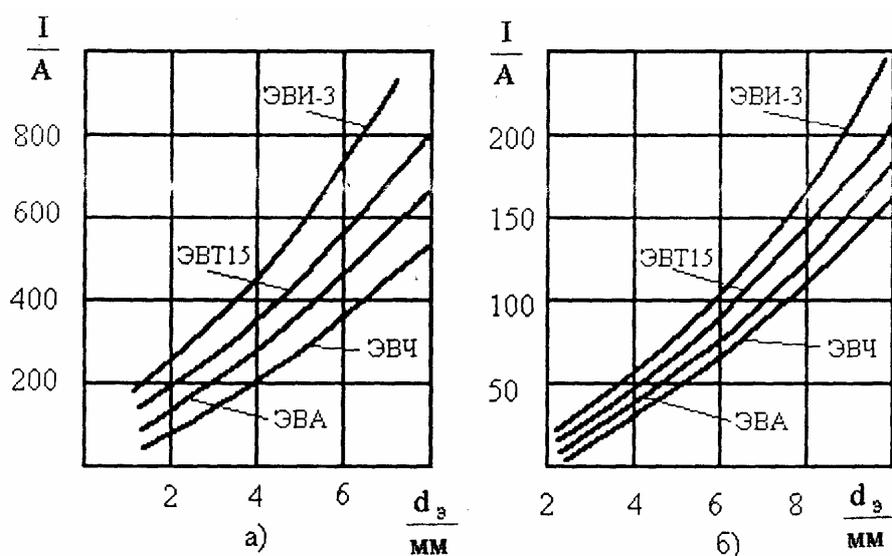
1 – мундштук; 2 – зажимная токопроводящая цанга; 3 – смесительная камера; 4 – газопроводящий канал; 5 – регулировочный вентиль; 6 – газопроводящий штуцер; 7 – державка

Рисунок 29.2 - Внешний вид и устройство сварочной горелки без водяного охлаждения с цанговым зажимом вольфрамового электрода

В качестве электрода используются специальные вольфрамовые прутки, изготавливаемые по ГОСТ 23949-80. Вольфрам – самый тугоплавкий из известных материалов. Температура его плавления равно 3600 °С. Электрод из чистого вольфрама (ЭВЧ) для сварки практически не используется, так как

не обеспечивает устойчивого горения дуги. Для повышения стабильности дуги в вольфрамовые электроды вводят активирующие добавки (до 2 %): диоксид тория (электрод ЭВТ 15), оксиды лантана (ЭВЛ) и иттрия (ЭВИ). Введение добавок уменьшает блуждание дуги и на 15 % повышает допустимый сварочный ток. Из-за естественной радиоактивности торированный вольфрам применяют редко. Наивысшую стойкость имеют иттрированные вольфрамовые электроды.

Технологические свойства дуги зависят от полярности сварочного тока. При прямой полярности (минус на электроде) на изделии выделяется до 70 % теплоты дуги, что обеспечивает глубокое проплавление свариваемого металла. При обратной полярности напряжение дуги выше, чем при прямой полярности. В этом случае на аноде – электроде выделяется большое количество энергии, что приводит к значительному его разогреву и возможному оплавлению его конца. В связи с этим допустимые сварочные токи резко снижаются. Сварка вольфрамовым электродом на постоянном токе обратной полярности практически не применяется. Допустимые значения постоянного тока для вольфрамовых электродов различных марок при прямой (а) и обратной (б) полярности приведены на рисунке 29.3.



а – прямая полярность; б – обратная полярность

Рисунок 29.3 – Допустимые значения постоянного тока для вольфрамовых электродов

Перед сваркой рабочий конец электрода затачивают под углом 60° на длине двух-трех диаметров. Форма заточки электрода влияет на форму и размеры шва. С уменьшением угла заточки и диаметра притупления в некоторых пределах глубина проплавления возрастает.

Сварка неплавящимся электродом в защитных газах применяется в основном на постоянном токе. Переменный ток используется при сварке

алюминия и его сплавов. При сварке алюминия на поверхности сварочной ванны образуется тугоплавкая оксидная пленка, препятствующая оплавлению кромок и формированию сварного шва. Разрушение пленки в дуговом разряде происходит только при обратной полярности (когда изделие является катодом). В этом случае пленка оксидов разрушается под действием катодного распыления и поверхность сварочной ванны очищается.

В связи с тем, что при обратной полярности стойкость вольфрамового электрода мала, сварку выполняют на переменном токе. Разрушение пленки происходит в тот полупериод, когда изделие становится катодом. При сварке на переменном токе для повторного возбуждения дуги, при переходе сварочного тока через «0», на сварочную дугу подают поджигающие импульсы напряжением не менее 300 В от специального устройства называемого стабилизатором дуги.

Вследствие значительного различия электрических параметров дуги при прямой и обратной полярности при сварке на переменном токе в сварочной цепи возникает постоянная составляющая. Постоянная составляющая сварочного тока намагничивает сердечник сварочного трансформатора и дросселя, что приводит к уменьшению мощности и понижению устойчивости горения дуги. Уменьшение тока в период обратной полярности при сварке алюминия уменьшает процесс катодного распыления оксидной пленки и затрудняет оплавление кромок и формирование шва. Постоянную составляющую сварочного тока устраняют включением в сварочную цепь конденсаторов или применением тиристорных схем управления, обеспечивающих любые соотношения тока в полупериодах прямой и обратной полярности.

Режим сварки неплавящимся электродом выбирается в зависимости от свариваемого материала и конструкции сварного соединения и включает основные параметры: сварочный ток, диаметр электрода, расход защитного газа, диаметр присадочной проволоки, для автоматической сварки устанавливается скорость перемещения горелки (скорость сварки) (таблица 29.1).

Таблица 29.1 - Ориентировочные режимы автоматической сварки стыковых соединений конструкций из стали 12Х18Н10Т

| Толщина материала, мм | Диаметр электрода, мм | Диаметр присадки, мм | Сварочный ток, А | Скорость сварки, м/ч | Расход аргона, л/мин |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 1,0 | 1,6 – 2,0 | - | 70 - 90 | 25 - 35 | 6 - 8 |
| 2,0 | 2,0 | 1,6 – 2,0 | 130 - 160 | 20 - 25 | 6 - 8 |
| 5,0 | 3 - 4 | 1,6 – 2,0 | 200 - 240 | 12 - 15 | 12 - 14 |

При сварке малых толщин (до 1,0 мм) стыковым швом рекомендуется импульсно-дуговая сварка неплавящимся электродом. При импульсно-дуговой сварке (рисунок 29.4) на малоамперную (дежурную) дугу подаются импульсы сварочного тока. Такой процесс позволяет регулировать тепловложение в свариваемый металл и исключить возможность перегрева и прожога свариваемых кромок, обеспечить хорошее формирование лицевой и обратной стороны шва.

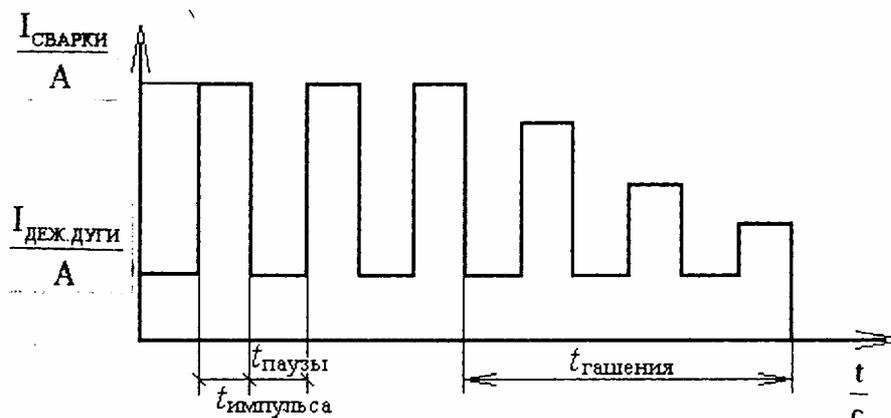


Рисунок 29.4 – Схема импульсов при импульсно-дуговой сварке

Величина тока, длительность импульса и паузы подбираются опытным путем в зависимости от конструкции узла и физических свойств свариваемого материала (таблица 29.2).

Таблица 29.2 - Ориентировочные режимы импульсно-дуговой сварки стыковых соединений стали 12Х18Н10Т

| Толщина материала, мм | Диаметр вольфрамового электрода, мм | Уставка длины на дуги, мм | Сварочный ток, А | Расход аргона, л/мин | Ток дежурной дуги, А | Скорость сварки, м/ч | Длительность импульса, с | Длительность паузы, с |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 0,3 | 1 | 1,2 | 10 - 15 | 4 - 5 | 0,8 - 1,5 | 20 | 0,15-0,2 | 0,2 |
| 0,5 | 1 | 1,0 - 1,2 | 10 - 25 | 4 - 5 | 0,8 - 1,5 | 25 | 0,18-0,24 | 0,2 |

Марки присадочной проволоки выбирают в зависимости от марки свариваемого материала и требований к сварному шву и сварной конструкции (таблица 29.3).

Таблица 29.3 - Основные марки присадочных проволок

| Марка свариваемого материала | Марка проволоки | Примечания |
|---|-----------------------------------|--|
| 08кп Сталь 10 Сталь 20 | Св-08Г2С Св-08 ГСНТ Св-12ГС | ГОСТ 2246-70 |
| 25ХГСА 30ХГСА 20Х | Св-08Г2С, Св-12ГС Св-08ГС | Для соединений деталей из тонкого листа, упрочняемых после сварки |
| 25ХГСА 30ХГСА 20Х | Св-10Х16Н25АМ6, Св-06Х15Н60М15 | Для сварки сборочных единиц из предварительно упрочненных деталей, без термообработки после сварки |
| 12Х18Н9 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т С8Х18Н10Т | Св-01Х19Н9 Св-06Х19Н9Т | Обеспечивается стойкость сварных соединений против МКК без закалки после сварки |
| 12Х18Н9 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т С8Х18Н10Т | Св-04Х19Н9 | Для соединений, не требующих стойкости против МКК |
| | Св-04Х19Н11МЗ | Обеспечивает повышенную стойкость против горячих трещин |

29.3 Устройство и технические характеристики источника питания ВСВУ – 160

Источник питания серии ВСВУ предназначен для ручной и автоматической сварки из обычных, коррозионностойких и жаропрочных сталей и титановых сплавов в непрерывном и импульсном режимах. Источник ВСВУ – 160 обеспечивает:

- 1) плавное регулирование во времени, автоматическое нарастание тока в начале сварки от минимального до заданного значения, благодаря чему происходит равномерный нагрев конца вольфрамового электрода и повышается его стойкость;
- 2) плавное регулирование тока дежурной дуги при импульсной сварке от 2 % до 30 % от номинального сварочного тока;
- 3) работу в непрерывном и импульсном режимах;
- 4) модулирование формы импульса от прямоугольной до треугольной;
- 5) плавное, регулируемое во времени, снижение тока от рабочего до минимального значения в конце сварки при заварке кратера.

Упрощенная электрическая схема силовой цепи источника питания ВСВУ -160 на рисунке 29.5.

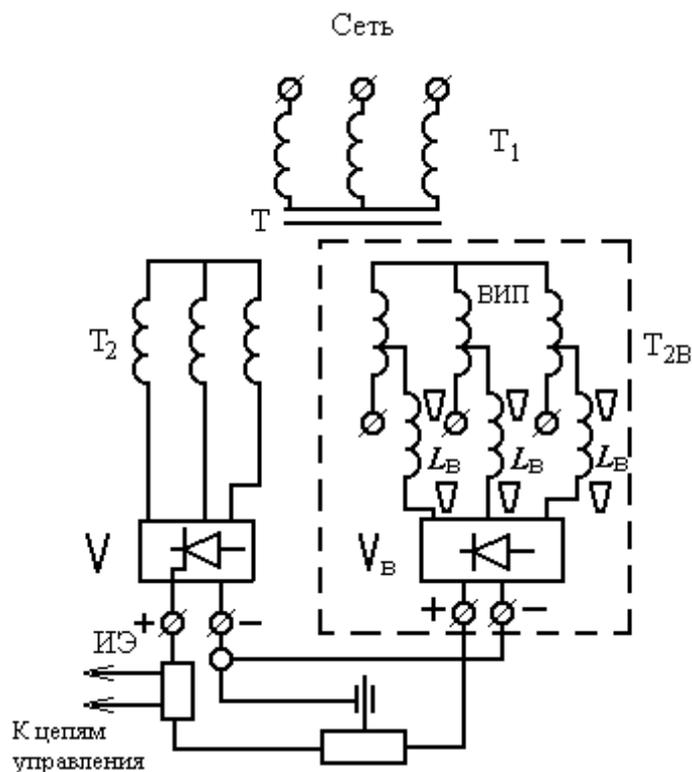


Рисунок 29.5 – Упрощённая электрическая схема силовой цепи источника питания ВСВУ-160

Силовой трехфазный трансформатор Т (рисунок 29.5) имеет одну первичную обмотку T_1 и две вторичных обмотки T_2 и T_{2B} . Фазы первичной и вторичной обмоток соединены звездами. Напряжение от вторичной обмотки T_2 подводится к трехфазному выпрямителю V , собранному на тиристорах по мостовой схеме.

Основной силовой узел имеет пологопадающую внешнюю характеристику. От вторичной обмотки T_{2B} напряжение подводится к трехфазному неуправляемому выпрямителю V_B , который входит в состав вспомогательного источника питания ВИП, включенного на дугу параллельно с основным источником. Вспомогательный источник питания служит для устойчивого возбуждения дуги и имеет напряжение холостого хода 200 В. Внешняя характеристика вспомогательного источника (рисунок 29.6) крутопадающая, что обеспечивает минимальный ток сразу после зажигания малоамперной дуги. В процессе сварки горят одновременно обе дуги. Совмещение двух существенно различных по форме внешних характеристик, когда маломощный вспомогательный источник имеет достаточное для надежного возбуждения дуги

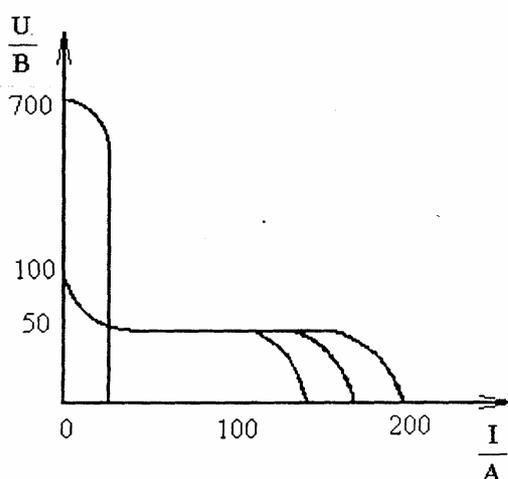


Рисунок 29.6 – Внешние характеристики источника питания ВСВУ – 160

напряжение, а основной источник – вертикальную внешнюю характеристику в диапазоне рабочих напряжений, позволяет существенно снизить напряжение холостого хода основного источника питания (таблица 29.4).

Таблица 29.4 - Технические характеристики источника ВСВУ – 160

| | |
|--|-----------------------|
| Номинальный сварочный ток | 160 А |
| Напряжение питающей сети | 380 В |
| Частота питающей сети | 50 Гц |
| Режим работы | ПВ – 60 % |
| Продолжительность цикла сварки | 60 мин |
| Пределы регулирования сварочного тока | От 5 до 180 А |
| Стабилизация сварочного тока при отклонении напряжения сети от номинального значения на 10 % на токах 25-180 А | Не более 2,5 % |
| Крутизна внешней характеристики В/А | Не менее 6 |
| Номинальное рабочее напряжение | 30 В |
| Минимальный ток заварки кратера | 5 А |
| Время нарастания тока после возбуждения дуги | от 2 до 10 с ± 20 % |
| Время заварки кратера | От 3 до 20 с ± 20 % |
| Режим работы при импульсной сварке ПР | 60 % |
| Длительность цикла | 0,5 с |
| Пределы регулирования дежурного тока | 5 – 60 А |
| Пределы регулирования длительного импульса и паузы | От 0,1 до 1,0 с |
| КПД | Не менее 70 % |
| Расход воды | 0,5 м ³ /ч |

Схема управления источника питания включает измерительный элемент, включенный в сварочную цепь, с которого снимается сигнал обратной связи по току для формирования сигналов стабилизации режимов сварки; блок регулирования тока, обеспечивающий плавную регулировку сварочного тока для настройки на режим; блок задания импульсного режима и регулировки тока дежурной дуги и релейный блок, определяющий порядок срабатывания элементов схемы при нажатии кнопок и включении тумблеров, расположенных на панели управления.

Для возбуждения дуги бесконтактным способом используется осциллятор ОСППЗ – 300М, включаемый последовательно в сварочную цепь.

29.4 Порядок выполнения работы

29.4.1 Ознакомиться с настоящим руководством и техническим описанием источника питания ВСВУ - 160.

29.4.2 По толщине и марке материала подобрать режимы сварки (непрерывный и импульсный).

29.4.3 Установить образцы в приспособление и произвести сварку на двух-трех значениях тока.

29.4.4 Записать значение тока, обеспечивающего полное проплавление образца.

| Тип соединения, материал | Способ сварки | Род тока, полярность | Защитный газ | U, В | | I, А | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|
| | | | | х.х | раб. | к.з. | раб. |
| | | | | | | | |

29.5 Содержание отчета

29.5.1 Цель работы.

29.5.2 Описание сущности процесса дуговой сварки неплавящимся электродом.

29.5.3 Схема сварочного поста на базе источника питания ВСВУ – 160.

29.5.4 Режим сварки образца.

29.6 Контрольные вопросы

29.6.1 В чем преимущество сварки в защитных газах неплавящимся электродом по сравнению с другими способами сварки?

29.6.2 Что входит в состав поста для сварки неплавящимся электродом в защитных газах?

29.6.3 Объясните устройство сварочной горелки.

29.6.4 Назовите основные параметры режима сварки.

29.6.5 Что означает «прямая» и «обратная» полярность при сварке?

29.6.6 Назовите основные характеристики источника постоянного питания ВСВУ – 160.

29.6.7 Как обеспечивается надежное зажигание дуги в источнике ВСВУ – 160?

29.6.8 Опишите процесс импульсно-дуговой сварки.

30 Лабораторная работа № 30

Изучение технологии дуговой сварки под слоем флюса

30.1 Цель работы

Изучить сущность процесса, оборудование и технологию электродуговой сварки под слоем флюса.

30.2 Основные сведения

30.2.1 Сущность сварки под слоем флюса

Сварка под слоем флюса является одним из основных способов выполнения сварочных работ в промышленности и строительстве. Способ был разработан Д.А. Дульчевским в середине 30-х годов. Дальнейшее развитие сварки шло по пути механизации процесса. Попытки использовать при этом штучные (обычные, как при ручной сварке) электроды успеха не имели. Повышение интенсивности расплавления электрода, ускоряющее процесс, требовало применения значительно больших токов (в 3-4 раза выше применяемых при ручной сварке). Такой ток очень сильно перегревает металлический электрод, обмазка и стержень становятся непригодными. Тогда было предложено вести сварку под флюсом – порошкообразной смесью различных химических соединений, выполняющих ту же роль, что и обмазка электродов при ручной сварке. Электродом служит стальная проволока, свернутая в бухту (кассету) и подаваемая в зону дуги специальным механизмом.

Принципиальная схема сварки под слоем флюса представлена на рисунке 30.1

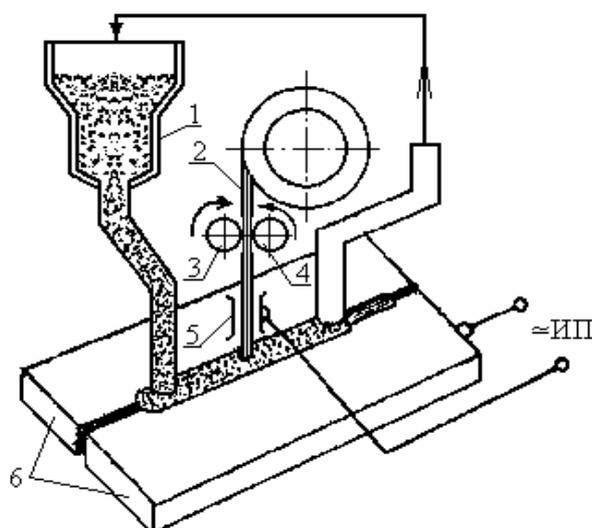


Рисунок 30.1 - Схема автоматической сварки под слоем флюса

Электродная проволока 2 с помощью ведущего 4 и нажимного 3 роликов подается в зону сварки. Кромки свариваемого изделия 6 в зоне сварки покрываются слоем флюса, подаваемого из бункера 1. Толщина слоя флюса составляет примерно 30 - 50 мм. Сварочный ток подводится от источника тока к электроду через токоподводящий мундштук 5, находящийся на небольшом расстоянии (40 - 60 мм) от конца электродной проволоки. Это позволяет применять большие сварочные токи.

Дуга возбуждается между свариваемым изделием 8 и электродной проволокой 1 (рисунок 30.2). Под воздействием теплоты сварочной дуги 2 плавятся кромки основного металла, электродная проволока и часть флюса.

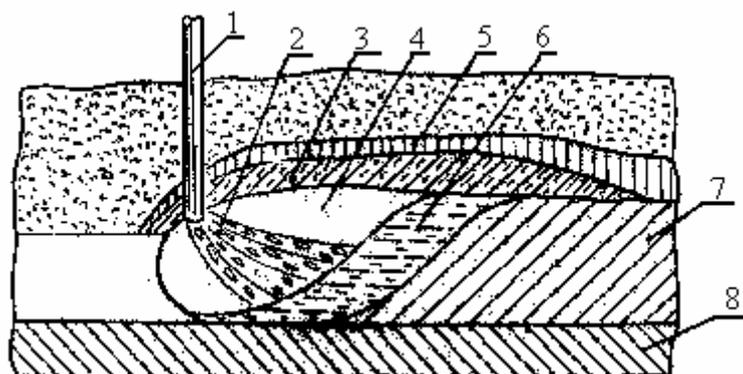


Рисунок 30.2 - Схема образования сварного шва под слоем флюса

По мере перемещения дуги расплавленный флюс 3 всплывает на поверхность сварочной ванны 6, остывает, образуя легко отделяющуюся от шва шлаковую корку 5, а металл сварочной ванны кристаллизуется в форме сварного шва 7. Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают замкнутую газовую полость 4. Дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, что значительно уменьшает потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание. Избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, отесняет жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки.

Автоматическая сварка под флюсом имеет ряд преимуществ перед ручной сваркой:

1) высокая производительность сварки, превышающая ручную сварку в 5 - 10 раз за счет применения больших токов (до 2000 А), более полного использования теплоты в закрытой зоне дуги, снижения трудоемкости за счет автоматизации процесса сварки;

2) высокое качество сварного шва вследствие хорошей защиты металла сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, легирования металла шва, увеличения плотности и чистоты металла за счет более полного выделения газов и неметаллических включений при медленном охлаждении под слоем застывшего шлака;

3) экономия металла электрода при значительном снижении потерь на угар, разбрызгивание и огарки;

4) экономия электроэнергии за счет более полного использования теплоты дуги по сравнению с ручной сваркой;

5) значительно лучшие, чем при ручной сварке, условия труда: дуга закрыта слоем шлака и флюса, выделение вредных газов и пыли снижено, нет необходимости в защите зрения и лица сварщика от излучения дуги.

30.2.2 Материалы, применяемые при сварке под флюсом

30.2.2.1 Флюсы

Флюс представляет собой зернистое вещество, которое при расплавлении образует шлак, покрывающий металл сварочной ванны. Флюс имеет следующее назначение:

1) защищать расплавленный металл от влияния кислорода и азота воздуха и обеспечивать высокие механические свойства металла;

2) легировать наплавленный металл;

3) обеспечивать устойчивое горение дуги;

4) замедлять процесс затвердевания жидкого металла и тем самым создавать благоприятные условия для выделения газов из металла шва;

5) способствовать лучшему формированию шва;

6) уменьшать потери тепла сварочной ванны в окружающую среду;

7) уменьшать потери электродного металла на угар и разбрызгивание;

8) образовывать шлаки, легко отделяемые от поверхности.

Применяют флюсы различных марок в зависимости от назначения, химического состава и способа изготовления.

По назначению флюсы делятся на три группы: для сварки углеродистых и легированных сталей; для сварки высоколегированных сталей; для сварки цветных металлов и сплавов.

По химическому составу в зависимости от входящих в них компонентов различают флюсы оксидные, солевые и солеоксидные. Оксидные флюсы состоят из оксидов кремния, марганца и могут содержать до 10% фтористых соединений. Их применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Солевые флюсы содержат фтористые и хлористые соединения кальция, натрия, бария и применяются для сварки высоколегированных и среднелегированных сталей.

По способу изготовления флюсы делятся на плавленные и неплавленные.

Плавленные флюсы изготавливаются сплавлением компонентов шихты (кварцевого песка, марганцевой руды, плавикового шпата и других). Сплавленная масса подвергается дроблению на зерна требуемого размера.

Неплавленные (керамические) флюсы представляют собой механическую смесь порошкообразных и зернистых материалов, связанных жидким стеклом. Важным преимуществом неплавленных флюсов является их отно-

нительно малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей по сравнению с плавными флюсами. Однако высокие технологические свойства плавных флюсов (хорошая защита зоны сварки, хорошее формирование валиков, отделимость шлака и др.) и меньшая стоимость обеспечивают более широкое их применение.

Состав некоторых марок флюсов приведен в таблице 30.1

Таблица 30.1 - Состав некоторых марок плавных флюсов

| Марка флюса | Содержание компонентов, % | | | | | |
|---|---------------------------|-------|------|---------|--------------------------------|------------------|
| | SiO ₂ | MnO | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | CaF ₂ |
| Для сварки углеродистых и низколегированных сталей | | | | | | |
| АН – 348Л | 41 – 44 | 34-38 | 6,5 | 5-7,5 | 4,5 | 4-5,5 |
| ОСЦ - 45 | 38-44 | 38-44 | 6,5 | 2,5 | 5,0 | 6-9 |
| АН -60 | 42,5-46,5 | 36-41 | 3-11 | 0,5-3,0 | 5,0 | 5-8 |
| Для сварки легированных и высоколегированных сталей | | | | | | |
| АН - 20СМ | 19-24 | 0,5 | 3-9 | 9-13 | 27-32 | 25-33 |
| АН – 26С | 29-33 | 2,5-4 | 4-8 | 15-18 | 19-23 | 20-24 |

30.2.2.2 Электродная проволока

Для дуговой сварки под флюсом марка электродной проволоки выбирается в зависимости от химического состава свариваемой стали. По химическому составу электродная проволока делится на три группы:

- 1) углеродистая с содержанием углерода не более 0,12 %, предназначенная для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей;
- 2) легированная для сварки низколегированных конструкционных, теплостойких сталей;
- 3) высоколегированная для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющих и других специальных легированных сталей.

Составы некоторых марок проволоки приведены в таблице 30.2.

Таблица 30.2 - Состав некоторых марок электродной проволоки

| Марка проволоки | Химический состав, % | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------|----------|-------|------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | S | P |
| СВ – 08 | 0,1 | 0,03 | 0,35-0,6 | 0,15 | 0,3 | 0,04 | 0,04 |
| СВ – 08ГА | 0,1 | 0,03 | 0,8-1,1 | 0,1 | 0,25 | 0,025 | 0,03 |
| СВ – 12 ГС | 0,14 | 0,6-0,9 | 0,8-1,1 | 0,2 | 0,3 | 0,025 | 0,03 |
| СВ – 08 Г2С | 0,05-1,1 | 0,7-0,95 | 1,8-2,1 | 0,2 | 0,25 | 0,025 | 0,03 |
| СВ-04Х19Н9 | 0,06 | 0,5-1,0 | 1,0-2,0 | 18-20 | 8-10 | 0,018 | 0,025 |

Проволока маркируется индексом Св (сварочная), буквами и цифрами. Цифры, следующие за индексом Св, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Марганец и кремний, содержащиеся в проволоке, обозначены буквами: Г – марганец, С – кремний. Буква А в конце маркировки указывает на повышенную чистоту металла проволоки по содержанию серы и фосфора.

Наиболее широко для сварки под флюсом применяется проволока диаметром 2 - 6 мм, поставляемая в мотках (бухтах).

30.2.3 Технология сварки под флюсом

Автоматическая сварка под флюсом обычно выполняется в нижнем положении шва. Основными видами сварных соединений являются: стыковые, угловые, тавровые и нахлестные. Для получения оптимальной формы сечения шва производят разделку кромок свариваемых изделий путем механической обработки на металлорежущих станках, газокислородной или плазменно-дуговой резкой.

Стыковые соединения в зависимости от толщины металла могут выполняться без разделки и с разделкой кромок, односторонними и двухсторонними швами, однопроходными и многопроходными швами.

Стыковые соединения толщиной до 12 мм можно сваривать без разделки кромок односторонним швом за один проход.

Размеры и форма шва характеризуется следующими параметрами (рисунок 30.3): глубиной провара h_{π} ; высотой усиления h_y ; шириной шва b ; коэффициентом формы провара $\psi = \frac{b}{h_{\pi}}$. Общая высота шва $C = h_{\pi} + h_y$.

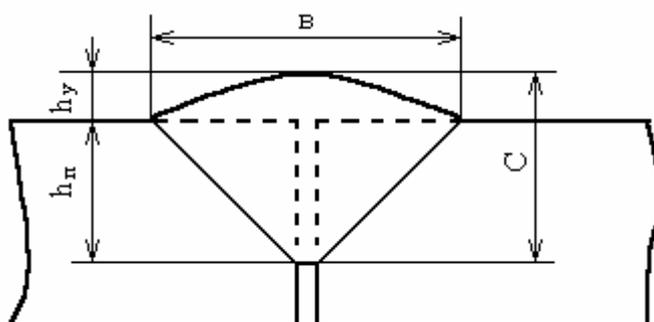
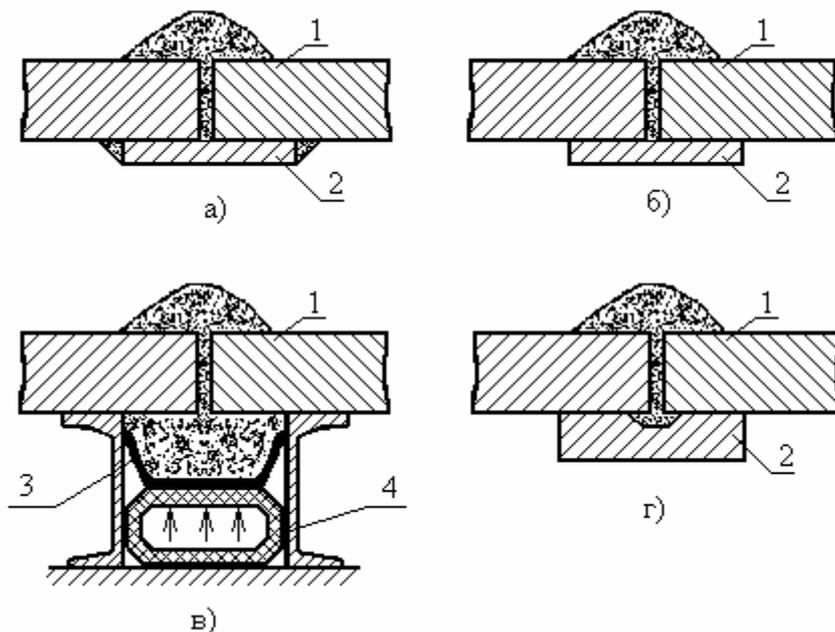


Рисунок 30.3- Элементы сечения стыкового шва

Чтобы непроплавленный слой основного металла мог удерживать ванну, глубина провара должна составлять 0,6 - 0,7 толщины свариваемых деталей.

В большинстве случаев при односторонней сварке требуется полный провар всего сечения, тогда принимают меры по предотвращению вытекания расплавленного металла и соединения сваривают: на остающейся стальной подкладке (рисунок 30.4 а), на медной подкладке (рисунок 30.4 б), на флюсо-

вой подушке (рисунок 30.4 в), после ручной подварки с обратной стороны стыка. Медная подкладка обеспечивает увеличение теплоотвода и предупреждает пережог металла кромок. При сварке на флюсомедной подкладке (рисунок 30.4 г) для формирования обратного валика стыкового шва в подкладке делается желобок, заполненный флюсом.



а – остающаяся стальная; б – медная; в – флюсовая подушка;
г – флюсо-медная. 1 – свариваемый лист; 2 – подкладка;
3 – лоток; 4 – резиновый шланг со сжатым воздухом

Рисунок 30.4 - Типы подкладок, применяемых при сварке стыковых швов

Основными параметрами режима сварки под флюсом являются: сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки (скорость перемещения дуги), скорость подачи электродной проволоки, диаметр электродной проволоки.

Эти режимы сварки рассчитываются для конкретных случаев, когда известен тип соединения, марка стали, флюса и другие данные.

Режимы сварки оказывают непосредственное влияние на размеры и форму шва. При увеличении сварочного тока глубина провара увеличивается, при увеличении напряжения дуги увеличивается ширина шва, при увеличении скорости сварки уменьшается ширина шва.

Род тока и полярность также оказывают влияние на форму и размеры шва, что объясняется различным количеством теплоты, выделяющимся на катоде и аноде дуги.

При сварке на постоянном токе прямой полярности глубина проплавления на 40 – 50 % больше, чем при сварке на постоянном токе обратной по-

лярности. Поэтому швы, в которых требуется большая глубина проплавления, целесообразно выполнять на постоянном токе прямой полярности. Сварка легированных сталей выполняется также на постоянном токе.

В большинстве случаев сварка выполняется на переменном токе, что связано с большей простотой и экономичностью оборудования.

Сварочный ток, необходимый для получения заданной глубины провара, определяют по формуле

$$I_{св} = \frac{100 \cdot h_n}{k}, \quad (30.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от рода тока, полярности, марки флюса, диаметра электрода.

Для сварки под флюсом АН – 348А переменным током коэффициент $k = 1,1$ мм/100 А, постоянным током обратной полярности $k = 0,95$ мм/100 А.

Диаметр электродной проволоки назначают в зависимости от глубины провара:

| | | | | | | |
|---------------------|---|-----|---|-----|-----|----|
| Глубина провара, мм | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| Диаметр, $d_э$, мм | 2 | 2-3 | 3 | 3-4 | 4-5 | 5 |

Для принятого диаметра электрода и силы сварочного тока можно определить напряжение дуги U_d , В

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_э}} \cdot I_{св} . \quad (30.2)$$

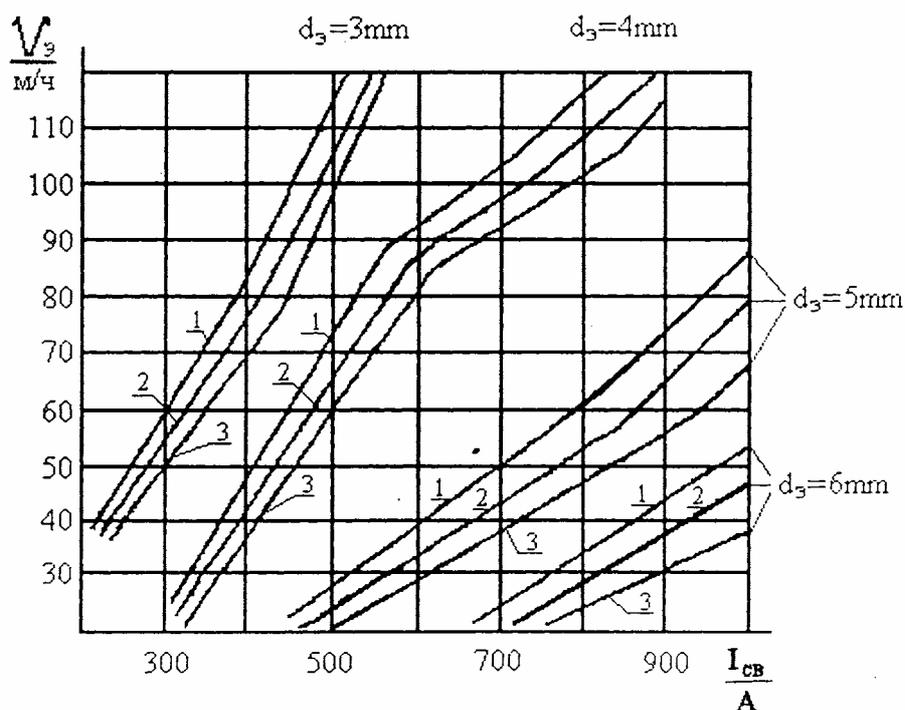
При выборе скорости сварки $v_{св.}$, м/ч, можно воспользоваться формулой

$$v_{св.} = \frac{A}{I_{св}}, \quad (30.3)$$

где A – коэффициент, зависящий от диаметра электрода:

| | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $d_э$, мм | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $A, \frac{A \cdot м}{а}$ | $(12-15) \cdot 10^3$ | $(16-20) \cdot 10^3$ | $(20-25) \cdot 10^3$ | $(25-30) \cdot 10^3$ |

Скорость подачи электродной проволоки в зависимости от величины тока, напряжения дуги и диаметра электрода определяется по графику (рисунок 30.5).



1 – 30-32 В; 2 – 40-42 В; 3 – 50-52 В

Рисунок 30.5 - Зависимость скорости подачи электродной проволоки от силы сварочного тока при разных значениях диаметра электрода и напряжения

В большинстве случаев режимы сварки выбирают по таблицам. Например, по таблице 30.3 можно выбрать режимы односторонней однопроводной сварки стыковых соединений листового низкоуглеродистой стали без разделки кромок на флюсо-медной подкладке постоянным током обратной полярности.

Таблица 30.3 - Режимы односторонней однопроводной сварки стыковых соединений листового низкоуглеродистой стали без разделки кромок на флюсо-медной подкладке постоянным током обратной полярности

| Толщина листов, мм | Зазор в стыке, мм | Диаметр электрода, мм | Сварочный ток, А | Напряжение дуги, В | Скорость сварки, м/ч |
|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3 | 0-2 | 2 | 275-300 | 28-30 | 44 |
| 4 | 0-2 | 2 | 375-400 | 28-30 | 40 |
| | 0-2 | 3 | 420-460 | 28-30 | 50 |

Продолжение таблицы 30.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---------|---|---------|-------|-------|
| 5 | 0,5-2,5 | 2 | 425-450 | 32-34 | 35 |
| | | 4 | 540-580 | 30-32 | 45 |
| 6 | 0,5-2,5 | 2 | 440-480 | 32-34 | 30 |
| | | 4 | 640-680 | 32-34 | 40 |
| 8 | 0,5-3,5 | 4 | 820-860 | 38-40 | 40 |
| | | 5 | 860-900 | 36-38 | 36-38 |
| 10 | 0,5-3,5 | 5 | 940-980 | 38-40 | 34-3 |

30.2.4 Саморегулирование дуги при сварке под слоем флюса

При автоматической сварке под слоем флюса выполняются следующие процессы:

- возбуждение дуги;
- подача электродной проволоки в зону дуги;
- поддержание устойчивого горения дуги;
- перемещение сварочной дуги вдоль шва;
- подача флюса в зону дуги;
- прекращение процесса сварки и заварка кратера.

Необходимым условием устойчивого горения дуги под слоем флюса является постоянство длины дуги, которое обеспечивается равенством скорости подачи электродной проволоки в зону дуги v_3 и скорости ее плавления $v_{п.}$, т.е. $v_3 = v_{п.}$

Это равенство может нарушаться вследствие изменения скорости подачи проволоки в результате пробуксовывания ее в подающих роликах, неровностей на поверхности листов, колебания напряжения в сети и по другим причинам. Сварочная головка должна быстро и точно реагировать на эти нарушения и восстанавливать заданную длину дуги.

Сварочные автоматы по способу регулирования дуги делятся на два типа:

1) автоматы с переменной скоростью подачи электродной проволоки, зависящей от изменения длины дуги;

2) автоматы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки в зону дуги. В этом случае осуществляется саморегулирование длины дуги в зависимости от изменения скорости плавления электрода при изменении тока в дуге.

Для объяснения этого явления совместим внешнюю характеристику источника тока (кривая I) со статической вольтамперной характеристикой дуги (кривая II) на рисунке 30.6. Точка "а" соответствует устойчивому горению дуги.

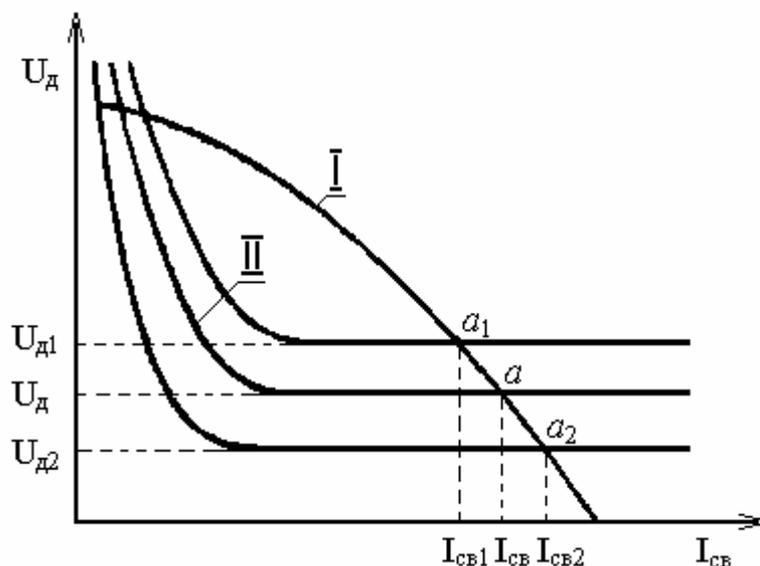


Рисунок 30.6 - Схема саморегулирования длины дуги при сварке под флюсом

Предположим, что устойчивое горение соответствует напряжению дуги U_d и сварочному току $I_{св}$.

Если по каким-либо причинам длина дуги возрастает, то увеличится и напряжение дуги до величины $U_{д1}$. Точка устойчивого горения дуги перейдет в положение a_1 , и сварочный ток уменьшится до величины $I_{св1}$. Так как скорость плавления проволоки пропорциональна сварочному току, а скорость подачи электродной проволоки постоянна, то скорость плавления проволоки уменьшится, и нарушенное равенство $v_з = v_п$ будет восстановлено.

Наоборот, если длина дуги уменьшится, то уменьшится и напряжение дуги до величины $U_{д2}$. Точка устойчивого горения дуги перейдет в положение a_2 , сварочный ток увеличится до величины $I_{св2}$, проволока начнет плавиться быстрее, длина дуги увеличится и равенство $v_з = v_п$ вновь восстановится.

Для питания дуги при автоматической сварке следует применять источники сварочного тока с более пологой характеристикой, так как при этом, даже при небольшом изменении напряжения дуги, сварочный ток будет изменяться на значительную величину; и процесс саморегулирования длины дуги будет происходить значительно быстрее.

Для обеспечения высокой плотности тока могут применяться источники с жесткой характеристикой.

30.3 Устройство сварочного автомата А-384 МК

Сварочный автомат А-384 МК предназначен для автоматической сварки и наплавки под слоем флюса проволокой сплошного сечения диаметром 3 - 6 мм, порошковой проволокой диаметром 3 - 3,5 мм или лентой шириной 20

- 100 мм.

Сварочный автомат А-384 МК состоит из следующих частей:

- сварочной головки, которая зажигает сварочную дугу, автоматически подает проволоку в дугу; на сварочной головке крепится аппаратура для подачи флюса;

- самоходной каретки, предназначенной для перемещения сварочной головки со скоростью сварки;

- шкафа управления, в котором размещена электрическая аппаратура автомата;

- источника питания дуги (сварочного преобразователя или трансформатора) с пологопадающей или жесткой характеристикой.

Основным элементом автомата является сварочная головка (рисунок 30.7).

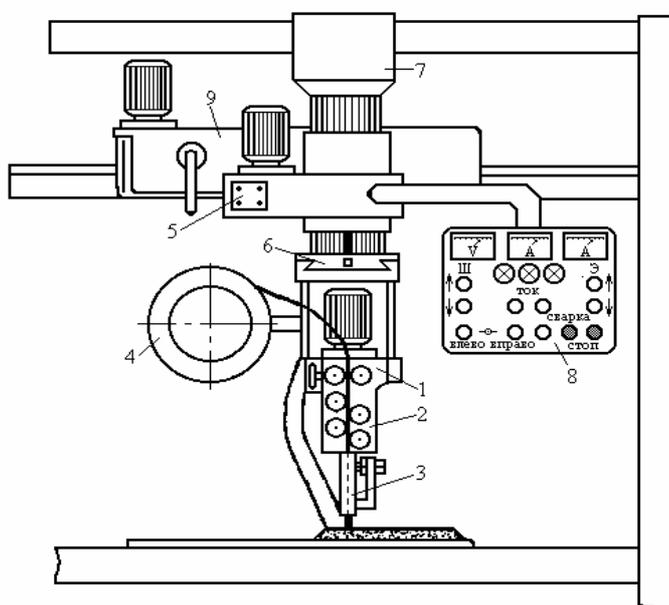
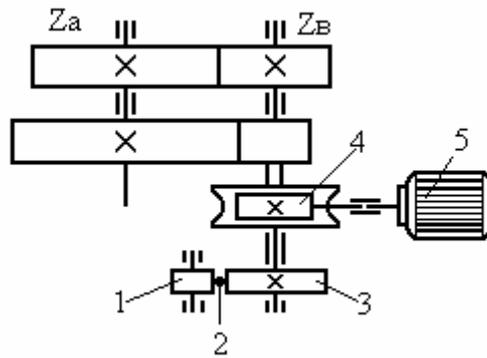


Рисунок 30.7 - Общий вид сварочной установки

В комплект сварочной головки входят: механизм подачи электродной проволоки 1, правильный механизм 2, сменные мундштуки 3 для сварки проволокой или наплавки лентой, катушки для проволоки или ленты 4, подвеска с механизмом подъема штанги 5, поперечный корректор 6, флюсовый бункер 7, пульт управления 8.

Механизм подачи электродной проволоки состоит из электродвигателя переменного тока, редуктора и подающих роликов. Кинематическая схема редуктора приведена на рисунке 30.8. Скорость подачи проволоки устанавливается путем подбора нужной пары сменных шестерен редуктора.

Правильный механизм с закрепленным на нем мундштуком обеспечивает правку проволоки, подвод сварочного тока к электроду и направление электрода в зону сварки под нужным углом ($\pm 30^\circ$).



1 – ролик прижимной, 2 – проволока, 3 – ролик подающий,
4 – червячная пара, 5 – электродвигатель, Z_A и Z_B – сменные шестерни

Рисунок 30.8 - Кинематическая схема механизма подачи проволоки

Подвеска с механизмом подъема предназначена для подъема и опускания головки с помощью электропривода и ручного поперечного перемещения в пределах 100 мм.

Флюс засыпается в бункер и по шлангу самотеком подается в зону сварки.

Сварочная головка закрепляется на самоходной каретке 9 (рисунок 30.7). Каретка предназначена для перемещения сварочной головки вдоль разделки шва или вдоль оси наплавляемого валика со скоростью сварки. Механизм перемещения каретки аналогичен механизму подачи электродной проволоки, оборудован муфтой сцепления и при соответствующем подборе сменных шестерен позволяет изменять скорость сварки в пределах от 13,5 м/ч до 112 м/ч.

30.4 Порядок выполнения работы

30.4.1 Ознакомиться с разделами настоящего руководства и устройством автомата А-384 МК.

30.4.2 Определить режимы сварки пластин из низкоуглеродистой стали:

- по заданной преподавателем глубине провара определить диаметр электродной проволоки;

- по формулам (30.1; 30.2; 30.3) методических указаний рассчитать значения $I_{св}$, U_d , $v_{св}$;

- по графику зависимости $v_э = f(U_d, I_{св}, d_э)$ (рисунок 30.5) определить скорость подачи электродной проволоки;

- значения $d_э$, $I_{св}$, U_d , $v_{св}$ могут быть определены по таблице 30.3.

30.4.3 Настроить сварочный автомат на сварку по выбранным режимам.

30.4.4 Произвести сварку (наплавку) пластин. Записать по показаниям

приборов значения $I_{св}$, $U_{д}$.

30.4.5 По результатам выполненной работы заполнить таблицу 30.4.

Таблица 30.4 - Режимы сварки

| Режим сварки | Диаметр электрода, $d_э$, мм | Сила тока I , А | Напряжение дуги $U_{д}$, В | Скорость сварки $v_{св}$, м/с | Скорость подачи проволоки $v_э$, м/с |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Расчетный | | | | | |
| Пробной сварки (наплавки) | | | | | |

30.5 Содержание отчета

30.5.1 Описание сущности процесса сварки под флюсом.

30.5.2 Схема процесса сварки в зоне дуги.

30.5.3 Описание саморегулирования дуги, схема.

30.5.4 Определение режимов сварки.

30.6 Контрольные вопросы

30.6.1 Какие преимущества выгодно отличают сварку под флюсом от других способов сварки?

30.6.2 Какими основными параметрами характеризуется режим автоматической сварки под флюсом?

30.6.3 Какой род тока применяют при сварке под флюсом и в каких случаях?

30.6.4 Укажите способы, предотвращающие протекание жидкого металла и шлака при сварке стыковых швов?

30.6.5 Каково назначение флюса при сварке?

30.6.6 Как классифицируются флюсы?

30.6.7 Какие основные процессы выполняются при автоматической сварке под слоем флюса?

30.6.8 Как осуществляется саморегулирование дуги при сварке под флюсом?

31 Лабораторная работа № 31

Изучение технологии и оборудования для сварки в среде углекислого газа

31.1 Цель работы

Изучить технологию сварки в среде углекислого газа и ознакомиться с устройством и работой полуавтомата А-547У.

31.2 Основные сведения

Сварка в среде углекислого газа является разновидностью способов сварки в защитных газах. Основными преимуществами этого способа являются следующие:

- 1) высокая производительность и легкость механизации и автоматизации процесса;
- 2) возможность сварки во всех пространственных положениях;
- 3) отсутствие операций по засыпке и уборке флюса и удалению шлака;
- 4) высокое качество сварных соединений при сварке углеродистых и легированных сталей;
- 5) низкая стоимость сварочных материалов.

При сварке в среде углекислого газа дуга горит между электродной проволокой и изделием. Подача проволоки осуществляется специальным механизмом с постоянной скоростью, равной скорости ее плавления. Это обуславливает постоянство средней длины дугового промежутка. Расплавленный металл электродной проволоки проходит в сварочную ванну и, таким образом, участвует в формировании шва.

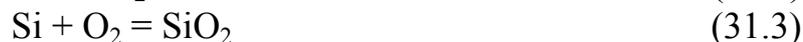
В зону дуги под давлением 0,04-0,1 МПа через специальное сопло подается углекислый газ, который вытесняет из зоны сварки воздушную атмосферу и защищает жидкий металл сварочной ванны и металл шва от кислорода и азота воздуха.

Углекислый газ (оксид углерода) бесцветен, не ядовит, тяжелее воздуха (плотность $1,98 \cdot 10^{-3}$ кг/м³), температура кипения - минус 78,9 °С. Жидкая углекислота – бесцветная жидкость, плотность которой сильно зависит от температуры. Поэтому углекислота поставляется не по объему, а по массе. При испарении 1 кг жидкой углекислоты образуется 509 л газа.

В зоне сварки углекислый газ при высокой температуре диссоциирует по реакции



Выделяющийся при диссоциации кислород окисляет жидкий металл, углерод, кремний и марганец



При пониженной температуре сварочной ванны в процессе формирования шва растворенный оксид железа восстанавливается углеродом



Образующийся оксид углерода не успевает выделиться из ванны, и в сварном шве образуются поры.

Для предотвращения выгорания легирующих элементов и образования пор при сварке в углекислом газе используют специальные сварочные проволоки, легированные кремнием и марганцем (таблица 31.1)

Таблица 31.1 - Химический состав сварочных проволок для сварки в среде углекислого газа

| Марка проволоки | Содержание элементов в % | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|----------|---------|-----|------|------|------|----------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | P | S | Fe |
| Св 08ГС | 0,1 | 0,6-0,85 | 1,4-1,7 | 0,2 | 0,25 | 0,03 | 0,02 | остальн. |
| Св08Г2С | 0,11 | 0,7-0,95 | 1,8-2,1 | 0,2 | 0,25 | 0,03 | 0,02 | остальн. |

При сварке этими проволоками раскисление сварочной ванны происходит по реакциям



В связи с тем, что кремний и марганец имеют большее сродство к кислороду, чем углерод, реакция (31.6) подавляется, и оксид углерода не образуется. Образующиеся оксиды марганца и кремния легко удаляются из сварочной ванны в шлак.

Перенос металла сварочной проволоки на изделие происходит в виде жидких капель различного размера. При сварке проволоками Св08ГС и Св08Г2С в основном используется процесс с частыми принудительными замыканиями и крупнокапельный процесс с короткими замыканиями. Процесс

происходит следующим образом. Теплота, выделяемая дугой, интенсивно расплавляет электродную проволоку и деталь. При этом длина дуги быстро увеличивается, а сварочный ток уменьшается. Капля электродного металла и сварочная ванна приближаются друг к другу и замыкают дуговой промежуток. Дуга гаснет, напряжение резко уменьшается, а ток увеличивается. С увеличением тока образуется шейка между электродом и каплей. Утоненная шейка перегревается проходящим током и перегорает с взрывом. Капля переходит в ванну, напряжение резко возрастает и вновь зажигается дуга. Далее процесс повторяется.

В процессе взрыва перемишки под действием электродинамических сил некоторые капли выбрасываются из дугового промежутка, не попадая в сварочную ванну. Это явление называют разбрызгиванием электродного металла. Для уменьшения разбрызгивания подбирают оптимальные режимы сварки и используют источники питания с ограниченной скоростью нарастания тока.

Основные параметры режима сварки в среде углекислого газа включают: род, полярность и силу тока, напряжение на дуге, диаметр, скорость подачи, вылет, наклон и колебания проволоки, скорость сварки, расход и состав защитного газа.

Сварку в защитных газах плавящимся электродом обычно выполняют на постоянном токе. Сварочный ток и диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими характеристиками можно получить только в определенном диапазоне силы тока, который зависит от диаметра и состава электродной проволоки. Сила тока определяется полярностью тока, диаметром, составом, скоростью подачи и вылетом электрода и напряжением дуги. Регулируют силу тока изменением скорости подачи проволоки. Сила тока определяет глубину провара и производительность процесса.

Второй важнейший параметр режима сварки – напряжение на дуге. С повышением напряжения увеличивается ширина шва и улучшается регулирование валика. Однако одновременно возрастают излучение дуги и угар элементов сварочного шва, а при сварке на повышенных напряжениях увеличивается разбрызгивание. Оптимальные напряжения сварки зависят от силы тока, диаметра и состава электрода (рисунок 31.1).

Сварка на прямой полярности отличается большей длиной дуги, сильным излучением, а в ряде случаев большим разбрызгиванием, чем обратной полярности. Скорость расплавления электрода на прямой полярности в 1,6–1,8 раза выше, чем на обратной. Глубина провара и ширина шва при сварке на прямой полярности меньше, чем на обратной. Поэтому сварку в защитных газах обычно выполняют на обратной полярности от источника с жесткой внешней характеристикой.

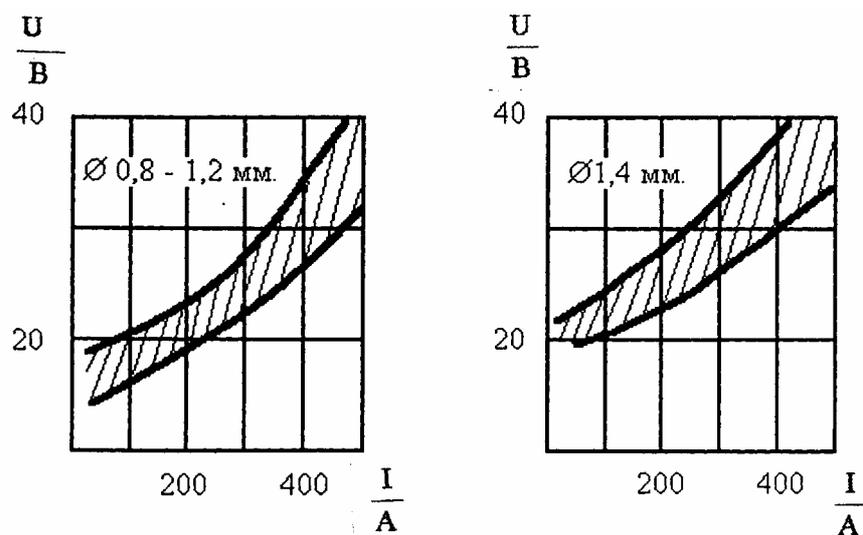


Рисунок 31.1 – Диапазон оптимальных соотношений между напряжением и силой тока при сварке проволокой Св 0872С

Состав защитного газа существенно влияет на технологические характеристики процесса. На практике используют смеси газов 80 % CO₂ + 20 % O₂; 80 % Ar + 20 % CO₂; 75 % Ar + 20 % CO₂ + 5 % O₂. Добавка к аргону углекислого газа при сварке углеродистых сталей способствует уменьшению пористости, повышает стабильность дуги и улучшает формирование шва при сварке тонколистовой стали.

Смесь 80 % CO₂ + 20 % O₂ отличается высокой окислительной способностью, благодаря чему увеличивается слой шлака, обеспечивается глубокое проплавление, хорошее формирование шва, минимальное разбрызгивание, высокая плотность металла шва.

Тройная смесь Ar + CO₂ + O₂ обеспечивает высокую стабильность дуги, минимальное разбрызгивание металла, хорошее формирование шва, отсутствие пористости.

Ориентировочные режимы сварки приведены в таблице 31.2.

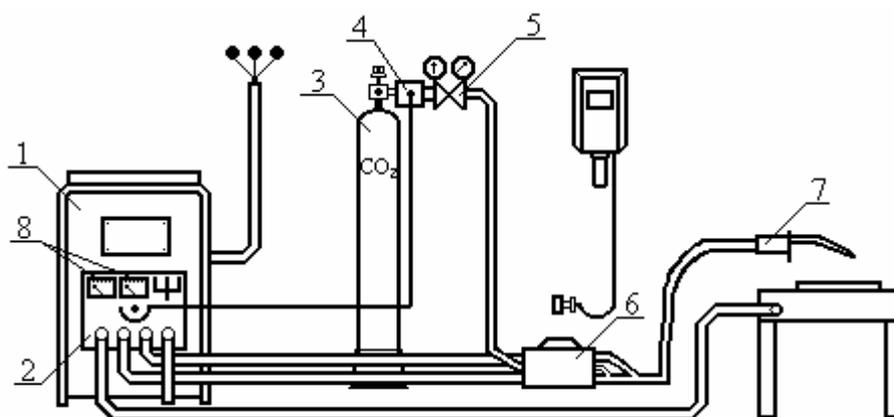
Таблица 31.2 - Режимы сварки в CO₂; (CO₂ + O₂) стыковых соединений углеродистых сталей в нижнем положении проволоки Св08Г2С (полярность обратная)

| Толщина материала, мм | Эскиз соединения | Зазор, мм | Число проходов | Диаметр проволоки, мм | Сварочный ток, А | Напряжение, В | Расход газа, л/мин | Вылет электрода, мм |
|-----------------------|------------------|-----------|----------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| 0,8-1 | | 0-1 | 1 | 0,7-0,8 | 50-80 | 17-18 | 6-7 | 8-10 |
| 1,5-2 | | 0-1 | 1 | 1,0-1,2 | 150-250 | 20-23 | 7-9 | 10-13 |
| 3 | | 0-1,5 | 1 | 1,2-1,4 | 200-300 | 23-25 | 8-11 | 12-15 |

31.3 Оборудование для сварки в среде углекислого газа

Оборудование сварочного поста для сварки в среде углекислого газа включает: источник питания, механизм подачи проволоки в зону сварки, сварочную горелку и газовую аппаратуру, обеспечивающую подачу защитного газа к месту сварки.

На рисунке 31.2 приведена схема сварочного поста, оборудованного на базе полуавтомата А-547У.



1 – источник питания; 2 – пульт управления; 3 – углекислотный баллон; 4 – подогреватель газа; 5 – редуктор; 6 – подающий механизм; 7 – горелка; 8 – щиток

Рисунок 31.2 – Схема сварочного поста для сварки в среде углекислого газа

Технические характеристики полуавтомата А-547У:

- сварочный ток 40-250 А;
- напряжение дуги 17-23 В;
- диаметр электродной проволоки 0,8-1,2 мм;
- скорость подачи проволоки 0,041-0,125 м/с;
- расход углекислого газа 3-10 л/мин.

В качестве источника питания 1 полуавтомата А-547У используется выпрямитель ВС-300 с жесткой внешней характеристикой. Выпрямитель состоит из трехфазного сварочного трансформатора с секционированными первичными обмотками для регулирования напряжения холостого хода и обеспечения нарастания тока короткого замыкания $\Delta I_{кз}/\Delta t$ в пределах 70-110 кА/с.

В источник питания вмонтирован блок управления полуавтоматом и привод двигателя подающего механизма 2.

Подача электродной проволоки в зону сварки производится подающим механизмом 6. В корпусе подающего механизма размещен электродвигатель

постоянного тока с редуктором, на выходном валу которого установлен ведущий ролик.

Скорость подачи проволоки регулируется ступенчато путем смены ведущих роликов разного диаметра и плавно – изменением частоты вращения электродвигателя. Электродная проволока поджимается к ведущему ролику, подпружиненному поджимным роликом. Регулировка усилия поджатия проволоки для исключения проскальзывания осуществляется эксцентриком. Электродная проволока, сматываясь с катушки, проталкивается подающими роликами по специальному направляющему каналу к горелке 7 (рисунок 31.3).

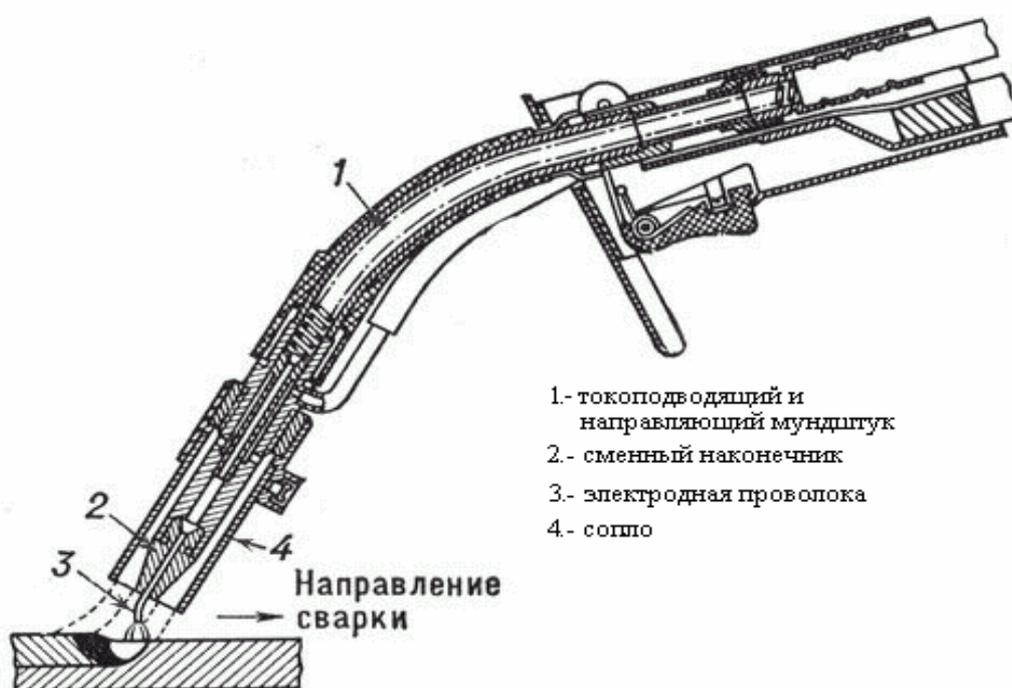
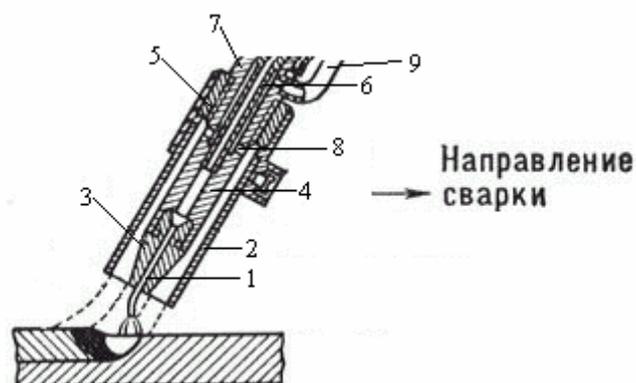


Рисунок 31.3 - Устройство сварочной горелки с автоматической подачей проволоки

Направляющий канал 4 (рисунок 31.4), выполненный в виде спирали, закрепляется на токопроводящей трубке 6 с помощью мундштука 3, в который вворачивается токопровод 1. На мундштук устанавливается изолятор 5 для крепления сопла 2.

Защитный газ из баллона 3 (рисунок 31.2) через подогреватель 4 и редуктор с расходомером 5 подается в корпус подающего механизма и через электропневматический клапан по зазору между шлангом и направляющим каналом подается в горелку (рисунок 31.4), в которой через отверстия 8 в мундштуке 3 поступает в зону дуги.



- 1 – токопровод; 2 – сопло; 3 – мундштук;
 4 – токопроводящая трубка; 5 – изолятор;
 6 – направляющий канал; 7 – изоляция;
 8 – отверстие для выхода газа; 9 – подвод газа

Рисунок 31.4 – Схема наконечника сварочной горелки

Электрическая схема полуавтомата при нажатии кнопки «пуск» на держателе обеспечивает предварительную продувку защитным газом с последующим включением сварочного тока и двигателя подающего механизма.

Процесс сварки продолжается при нажатой кнопке. При отпускании кнопки происходит резкое торможение двигателя, и сварочная дуга горит до естественного обрыва. Затем отключаются сварочное напряжение и подача газа.

Контроль режимов сварки осуществляется по амперметру и вольтметру 8, установленным на пульте управления 2 (рисунок 31.2).

31.4 Технология сварки углеродистых сталей

Детали из низкоуглеродистых сталей хорошо свариваются в CO_2 ; в смесях CO_2+O_2 ; $\text{Ar}+\text{CO}_2$ и $\text{Ar}+\text{O}_2+\text{CO}_2$. Сварка среднеуглеродистых и особенно высокоуглеродистых сталей затруднена ввиду опасности образования трещин в швах и в зоне термического влияния.

Для сварки углеродистых и низколегированных сталей марок 14ХГС, 10Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 25ХГС и других применяют электродные проволоки марок СВ08ГС и СВ08Г2С или порошковые проволоки трубчатой конструкции с сердечниками рутилового типа или рутил-флюоритного типа марок ПП-АН-8, ПП-АН-10, ПП-АН-4 и др. Применение порошковых проволок обеспечивает значительное уменьшение разбрызгивания электродного металла и хорошее формирование сварного шва. По механическим свойствам металл шва отвечает требованиям, предъявляемым к электродам типа Э50А (таблица 31.3).

Таблица 31.3 - Механические свойства металла швов, выполненных в CO₂ проволоками Ø 0,8-1,2 мм

| Сталь | Марка проволоки | Предел прочности при растяжении, σ_b , МПа | Предел текучести σ_T , МПа | Относительное сужение ψ , % | Ударная вязкость a_n , кДж/м ² |
|-------|-----------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| СтЗсп | Св08ГС | 520-540 | 370-390 | 60-66 | 1,2-1,8 |
| СтЗсп | Св08Г2С | 540-580 | 410-430 | 60-66 | 1,2-1,7 |
| СтЗсп | ПП-АН-4 | 502-572 | 419-449 | 66-69,8 | 0,94-1,65 |

Для получения швов высокого класса необходима тщательная сборка (без больших зазоров и смещения кромок), точное направление электрода по шву и поддержание неизменным режима сварки. Требования к качеству сборки и подготовки под сварку должны соответствовать требованиям ГОСТ 14771-76. Сварку металла малой толщины (0,8-1,0 мм) рекомендуется выполнять в вертикальном положении сверху вниз. Металл толщиной более 1,2 мм сваривают на весу. При этом дугу рекомендуется для исключения прожогов направлять на ванну жидкого металла.

31.5 Порядок выполнения работы

31.5.1 Ознакомиться с методическими указаниями.

31.5.2 Ознакомиться с оборудованием поста для сварки в углекислом газе А-547У.

31.5.3 Подобрать режимы и провести сварку контрольного образца.

31.6 Содержание отчета

31.6.1 Цель работы

31.6.2 Описание схемы процесса сварки в среде углекислого газа.

31.6.3 Режим сварки образца в виде таблицы.

| Толщина свариваемого материала, мм | Тип соединения | Сварочный ток, А | Напряжение дуги, В | Расход газа, л/мин |
|------------------------------------|----------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | |

31.7 Контрольные вопросы

31.7.1 В чем сущность процесса сварки в среде углекислого газа?

31.7.2 Основные параметры режима сварки?

31.7.3 Состав оборудования сварочного поста.

31.7.4 Требования к источнику питания для сварки в среде углекислого газа.

31.7.5 Каким параметром измеряется разбрызгивание электродного материала при сварке электрической дугой?

32 Лабораторная работа № 32

Изучение технологии и оборудования контактной сварки

32.1 Цель работы

32.1.1 Изучить процессы и виды электрической контактной сварки.

32.1.2 Изучить технологию сварки и ознакомиться с машиной для электрической контактной точечной сварки МТ-501.

32.2 Основные сведения

32.2.1 Сущность и основные виды контактной сварки

Контактной сваркой называется сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части. Контактная сварка предложена в 1882 году русским изобретателем, инженером Н.Н.Бенардесом.

Способы контактной сварки весьма разнообразны. Их можно классифицировать по ряду признаков:

1) по методу получения соединения, определяемого фазовым состоянием металла в зоне сварки (соединение в твердой или жидкой фазах);

2) конструкции соединений (нахлесточное или стыковое);

3) технологическому способу получения соединений (например, стыковая сварка сопротивлением, оплавлением, точечная, шовная);

4) виду атмосферы (сварка на воздухе или в защитной среде);

5) способу подвода тока и форме импульса тока (контактный и индукционный подвод, сварка переменным током различной частоты, постоянный ток или монополярный импульс);

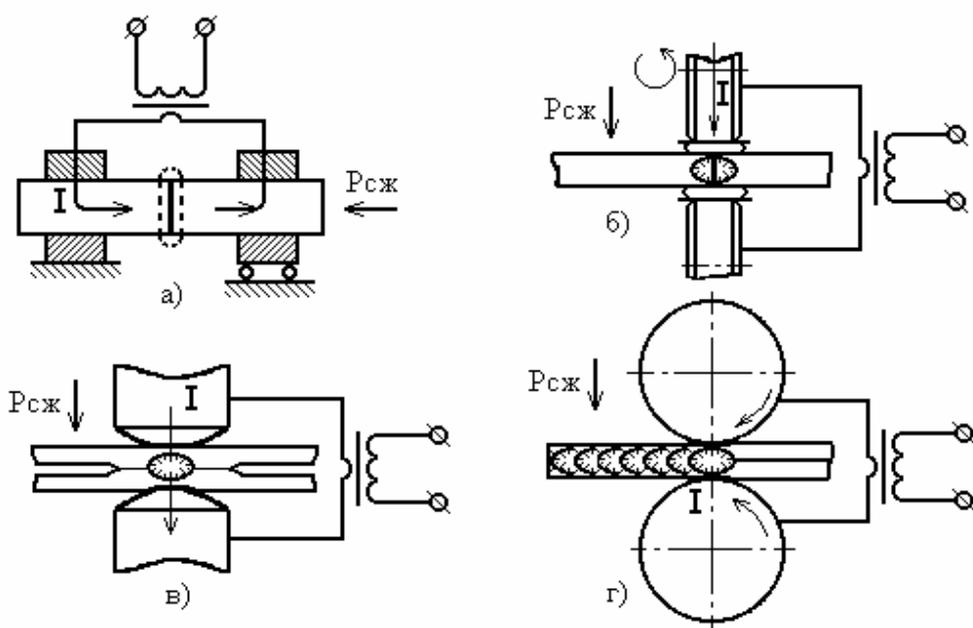
6) количеству одновременно выполняемых соединений (одноточечная и многоточечная сварка, одиночный и непрерывный рельеф и т.д.);

7) характеру перемещения деталей или электродов во время пропускания импульса тока (сварка неподвижных или подвижных деталей, например, непрерывная и шаговая шовная сварка) и т.д.

Схемы основных способов контактной сварки представлены на рисунке 32.1.

По характеру образования сварного соединения контактной сварки можно подразделить на две основные разновидности: плавлением и пластической деформацией.

При сварке плавлением соединение возникает в результате плавления и последующей кристаллизации контактирующих объемов металла с образованием общего литого ядра (сварной точки). При сварке пластической дефор-



а – сварка сопротивлением; б – шовно-стыковая;
 в – точечная сварка двусторонняя; г – шовная сварка

Рисунок 32.1 – Схемы основных методов контактной сварки

мацией сварное соединение образуется за счет рекристаллизации твердого металла, подвергнутого пластической деформации.

Необходимое и достаточное условие образования соединения при точечной и шовной сварке – образование зоны расплавленного металла или ядра заданных размеров, формирование соединений происходит по следующей схеме (рисунок 32.2).

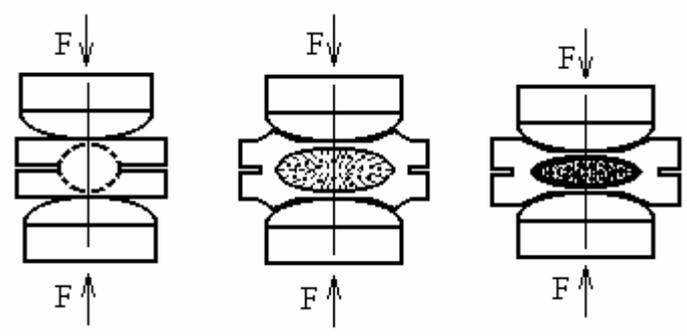


Рисунок 32.2 – Этапы формирования соединения

Первый этап начинается с момента включения тока и характеризуется образованием электрического контакта, нагревом и расширением твердого металла, приводящим к увеличению зазоров и вытеснению под действием сварочного усилия металла в зазор и образованию уплотняющего ядра пояска.

Второй этап отличается дальнейшим увеличением площади контактов, возникновением и ростом расплавленного ядра до установленного (номинального) для данной толщины деталей диаметра $d_{я.ном}$. На этом этапе происходит дробление и перераспределение поверхностных пленок в жидком металле, и продолжают процессы пластической деформации и расширения металла.

Третий этап в большинстве случаев начинается с момента выключения тока и характерен охлаждением и кристаллизацией металла.

Точечная контактная сварка – это сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, ограниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих усилие сжатия. Существуют следующие способы точечной сварки: одноточечная двусторонняя, двухточечная односторонняя, двухточечная двусторонняя, многоточечная односторонняя, рельефная, рельефно-точечная.

При точечной сварке детали 2 и 4 располагают на нижнем инструменте – электроде 1 (рисунок 32.3).

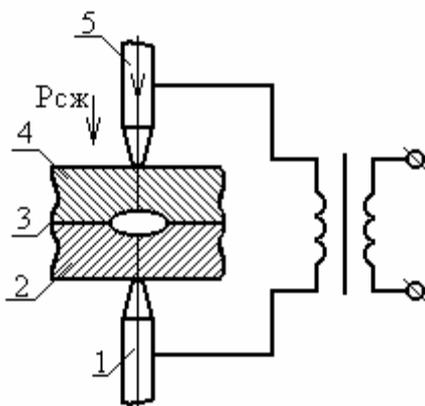


Рисунок 32.3 – Схема точечной контактной сварки

После опускания верхнего электрода 5 и сжатия деталей усилием $P_{сж}$ по цепи пропускают один или несколько импульсов тока, нагревающих детали до плавления на небольших контактирующих участках 3, называемых точками. Затем верхний электрод поднимают и детали перемещают в новое положение.

Контактная сварка осуществляется без расплавления и с расплавлением металла. После расплавления металл кристаллизуется под давлением в зоне соединения. Для сварки однородных материалов типично образование таких же межатомных связей, как и в целом материале.

Количество выделяющейся теплоты Q , Дж, по закону Джоуля-Ленца может быть определено по формуле

$$Q = 0,24IRt, \quad (32.1)$$

где I – сила тока, А;

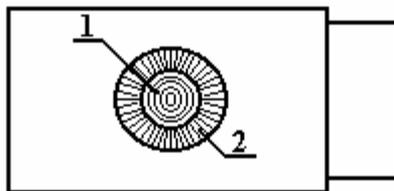
R^* - сопротивление участка цепи в месте контакта деталей, Ом;

$$*) R_{\text{полн}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (\text{согласно рисунку 32.3})$$

t – продолжительность действия тока, с.

Из формулы видно, что количество теплоты зависит от тока в сварочной цепи. Поэтому для быстрого нагрева свариваемых кромок применяют большие токи, достигающие нескольких десятков тысяч ампер. С повышением температуры металла в зоне контакта его сопротивление возрастает, следовательно, еще более возрастает количество выделяющейся теплоты и ускоряется процесс нагрева металла. Сварка выполняется за десятые, и даже сотые доли секунды.

В месте наибольшего контактного сопротивления (R_3) происходит расплавление локального объема металла, который после отключения тока кристаллизуется с образованием литого ядра – сварочной точки (рисунок 32.4).



1 – литое кольцо; 2 – кольцевая зона

Рисунок 32.4 – Сварочная точка

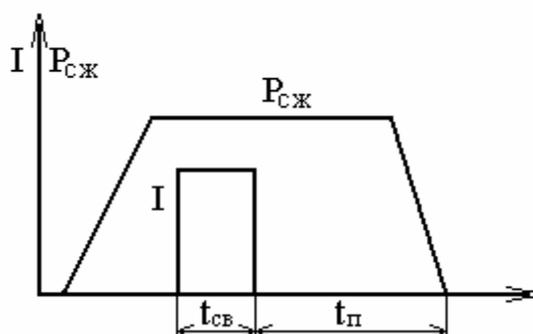
Давление, приложенное к электродам, уплотняет металл в сварной точке и обеспечивает получение прочного сварного соединения. Вокруг литого ядра образуется кольцевая зона 2, в пределах которой произошла сварка в пластическом состоянии.

Режимы сварки можно условно разделить на так называемые «жесткие» и «мягкие». Жесткий режим характеризуется применением больших токов и малым временем процесса сварки. Такой режим применяется для сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию закалочных структур, а также при сварке легкоплавких цветных металлов и сплавов.

Мягкий режим характеризуется большей продолжительностью процесса и постепенным нагревом свариваемого металла. Таким режимом пользуются при сварке низкоуглеродистых сталей, обладающих низкой чувствительностью к тепловому воздействию.

Параметры режима сварки задаются циклограммой.

Циклограмма представляет собой совмещенные во времени изменения сварочного тока и усилия сжатия (рисунок 32.5).



I – сила сварочного тока;
 $t_{св}$ – длительность сварки;
 $P_{сж}$ – усилие сжатия электродов;
 $t_{п}$ – паузы для низколегированных сталей при толщине до 2 мм равны 0,1-0,2с.

Рисунок 32.5 – Циклограмма точечной сварки с постоянным усилением и одним импульсом тока

Подготовка поверхности деталей для точечной сварки предусматривает обезжиривание, травление, промывку, нейтрализацию, сушку, либо зачистку наждачной бумагой. Грязь, жиры, ржавчина и различные покрытия на деталях нарушают стабильность нагрева и ухудшают формирование точки. Качество очистки проверяют путем измерения переходного сопротивления.

Детали перед сваркой правят, подгоняют и собирают в приспособлении или прихватывают. Прихваты производят точечной сваркой, а для толстых листов – иногда дуговой.

В качестве электродов применяют медь М1 – температура разупрочнения 250-270 °С, электропроводность 97 % и легированные сплавы меди, бронзы, например, БрХ – электропроводность снижается до 80-85 %, температура разупрочнения 400-420 °С.

Рекомендуемые размеры прямых электродов в зависимости от толщины свариваемых заготовок (0,5+0,5) мм и (1+1) мм – диаметры электродов 12 мм и 16 мм соответственно, диаметр контактной поверхности – 4 мм и 6 мм.

Основными параметрами режима точечной сварки являются: диаметр электрода (в месте контакта) d ; усилие сжатия электродов $P_{сж}$; сварочный ток I ; время сварки t .

Параметры режима сварки устанавливаются по технологическим картам или таблицам ориентировочных режимов (таблицы 32.1, 32.2).

Таблица 32.1 - Рекомендуемые размеры точечных сварных соединений, мм

| Толщина тонкой детали, мм | Минимальная нахлестка | Диаметр литого ядра точки | Минимальный шаг при точечной сварке низкоуглеродистых сталей |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|--|
| 0,3 | 6 | 2,5-3,5 | 8 |
| 0,5 | 8 | 3-4 | 10 |
| 0,8 | 10 | 3,5-4,5 | 13 |
| 1,0 | 12 | 4-5 | 14 |
| 1,2 | 13 | 5-6 | 15 |

Таблица 32.2 - Режимы точечной сварки углеродистых сталей на машинах переменного тока

| Толщина детали, мм | Сила тока, А (примерная ступень) | Длительность тока, с | Усилие сжатия, МПа |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| Жесткие режимы | | | |
| 0,5 | 6-6,5 (IV) | 0,08-0,1 | 1200-1800 |
| 0,8 | 6,5-7,0 (V) | 0,1-0,14 | 2000-2500 |
| 1,0 | 7,0-8,0 (VI) | 0,12-0,16 | 2500-3000 |
| Мягкие режимы | | | |
| 0,5 | 3,5 (I) | 0,2 | 500-1000 |
| 1,0 | 5 (III) | 0,4 | 1000-2000 |

После выполнения сварки пробных «точек» производят проверку качества сварного соединения: заданные размеры сварной точки и механические свойства (технологическая проба). При необходимости корректируются режимы сварки.

К дефектам точечной сварки относят недопустимые отклонения в размерах деталей, точек и расстояний между ними, наружные выплески и глубокие вмятины, подплавления и трещины, прожоги и вырывы точек, прилипания материала электрода, непровар, малый диаметр ядра, внутренние трещины и другие. Дефекты сварки выявляются внешним осмотром, анализом излома, микроанализом.

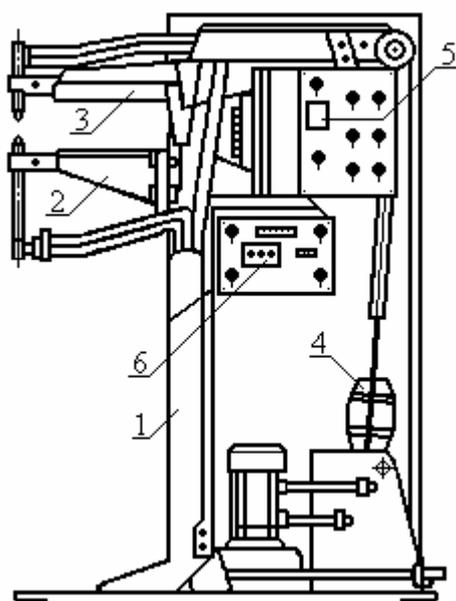
Контактная сварка широко применяется в автомобильной, авиационной, электронной и строительной промышленности, судостроении, металлургическом производстве, вагоностроении, котло- и турбостроении, производстве бытовых приборов и т.д.

32.2.2 Оборудование для точечной сварки

Для точечной сварки применяют точечные машины общего назначения (одноточечные с двусторонним подводом тока); одно- и многоточечные машины специального назначения; подвесные точечные машины с клещами (МТПГ-75-6) и машины для сварки распорными пистолетами (пневматический гидроусилитель).

Машины контактной сварки состоят из двух основных частей: электрической и механической. Электрическая часть машин состоит из трансформатора, регуляторов тока и времени, прерывателя тока и токоподводящих проводов и устройств. Трансформатор однофазный с секционированной первичной обмоткой, позволяющей с помощью переключателя ступеней изменять значение напряжения во вторичной обмотке. При первичном (220 В или 380 В) и вторичном (1 - 20 В) напряжениях сварочный ток достигает нескольких десятков килоампер.

Машина для контактной точечной сварки МТ-501 предназначена для одноточечной сварки изделий из малоуглеродистой стали толщиной от (0,2+0,2) мм до (1+1) мм. Номинальный сварочный ток – 5000 А. Среднечасовой темп работы – 1800 сварок в час. Число ступеней регулирования - 8. Вторичное напряжение – 1,06-2,12 В. Максимальное усилие сжатия – 1000 Н. Привод сжатия – пневматический. Масса машины – 210 кг.



1 – корпус; 2 – неподвижный рычаг; 3 – подвижный рычаг; 4 – механизм сжатия; 5 – источник питания; 6 – электронный блок управления

Рисунок 32.6 – Общий вид машины для контактной точечной сварки

Машина МТ-501 (рисунок 32.6) имеет сварной стальной корпус 1, неподвижный 2 и подвижный 3 рычаги для крепления электродов. Верхний электрод приводится в движение от пневматического механизма сжатия 4.

Источник питания – сварочный трансформатор 5 и механизм сжатия электродов управляются электрической схемой с электронным блоком 6. Для охлаждения электродов и сварочного трансформатора используется проточная вода.

Упрощенная электрическая схема машины МТ-501 показана на рисунке 32.7.

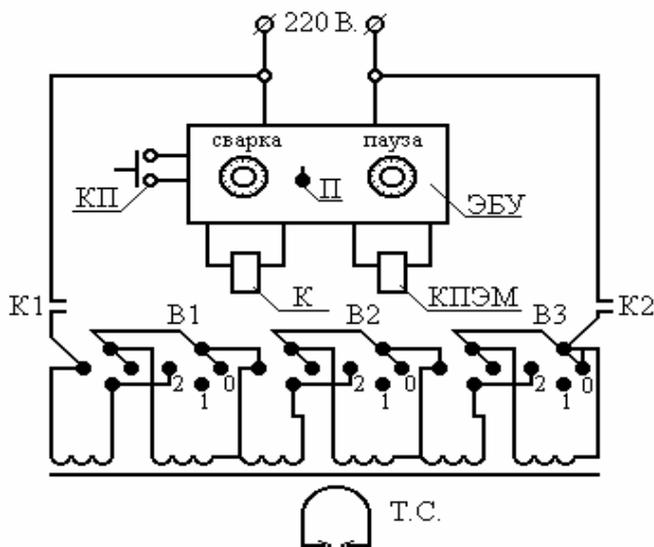


Рисунок 32.7 – Упрощённая электрическая схема машины МТ –501

Электрическая схема машины, снабженная электронным блоком управления (регулятором цикла сварки) определяет последовательность отдельных операций машины по следующему циклу:

- сжатие электродов («сжатие»);
- включение и выключение сварочного тока («сварка»);
- выдержка и подъем электродов («пауза»).

Питание сварочного трансформатора и электронного блока управления осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Первичная обмотка трансформатора и электронного блока управления осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Первичная обмотка трансформатора секционируется выключателями В1, В2 и В3. Устанавливая их в различные положения, можно регулировать напряжение во вторичной обмотке трансформатора в пределах 1,06-2,12 В.

После нажатия на кнопку КП (смонтирована на педали, установленной на полу впереди машины) электронный блок управления ЭБУ подает питание на катушку электромагнитного пневматического клапана КПЭМ, клапан включается и происходит сжатие электродов пневмоцилиндром. Через 0,5 с после включения механизма сжатия подается питание на катушку

электромагнитного контактора, который замыкает контакты К1 и К2, включая сварочный трансформатор ТС. Через время, заданное на делителе напряжения «сварка» ЭБУ отключает катушку К – трансформатор выключен.

Через время, заданное на делителе напряжения «пауза», отключается катушка КПЭМ и электроды расходятся, освобождая сваренные детали. При повторном нажатии на кнопку КП цикл повторяется.

32.3 Порядок выполнения работы

32.1.1 Ознакомиться с технологией контактной сварки.

32.1.2 Изучить принцип действия машины МТ-501.

32.1.3 Выбрать режим сварки и зарисовать циклограмму сварки.

32.1.4 Произвести сварку на мягком и жестком режимах малоуглеродистой стали толщиной 0,5-1 мм.

32.1.5 Проверить качество сварных соединений (твердость, размер точки, прочность на отрыв).

32.4 Содержание отчета

32.4.1 Описать сущность процесса контактной точечной сварки.

32.4.2 Схема точечной сварки.

32.4.3 Обосновать режимы точечной сварки для заданных образцов.

32.4.4 Вид сваренных деталей.

32.4.5 Выводы.

32.5 Контрольные вопросы

32.5.1 В чем сущность процесса электрической контактной сварки?

32.5.2 Назовите основные способы контактной сварки?

32.5.3 Что является основными параметрами режима точечной сварки?

32.5.4 Как связано сопротивление проводников с тепловым действием электрического тока?

32.5.5 От чего зависит количество теплоты при сварке?

33 Лабораторная работа № 33

Режущий инструмент (материалы, конструкция, геометрия)

33.1 Цель работы

33.1.1 Ознакомиться с основными сведениями об углеродистых и легированных, быстрорежущих сталях, твердых сплавах, минералокерамике, абразивных материалах.

33.1.2 Изучить конструкцию и геометрические параметры: резцов, сверл, зенкеров, фрез.

33.2 Материалы

Материалы, применяемые для изготовления режущего инструмента, должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, теплостойкостью, прочностью и ударной вязкостью. В настоящее время в качестве материалов для режущего инструмента используются углеродистые и легированные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамика, карбидо-стали, мартенситостареющие инструментальные сплавы, алмазные и синтетические, сверхтвердые материалы.

Углеродистые (У10, У11А, У12) и легированные (11ХФ, 9ХС, ХВГ, ХВСТ, Х12М и другие) инструментальные стали сейчас используются весьма ограниченно. Применение этих сталей ограничено теплостойкостью при резании 150-250 °С. Основное достоинство этих материалов - низкая стоимость, невысокая температура закалки, незначительная карбидная неоднородность. Эти стали используют при обработке различных легкообрабатываемых материалов.

Быстрорежущие стали являются наиболее распространенным материалом для режущего инструмента. Сочетая высокую твердость (до 65 HRC) с повышенной теплостойкостью (до 650 °С), быстрорежущая сталь позволяет повысить скорость резания в 4-5 раз, а стойкость - в 10-15 раз по сравнению с другими инструментальными сталями. Сейчас отечественной промышленностью выпускается более 30 марок быстрорежущей стали. Наиболее распространенные – Р6М5, Р6М3.

Твердые сплавы представляют собой твердый раствор карбидов вольфрама (WC), карбидов титана (TiC) и карбидов тантала (TaC) в металлическом кобальте (Co). Твердые сплавы используют в виде пластинок определенной формы и размеров, изготавливаемых методами порошковой металлургии.

Твердые сплавы подразделяют на 4 группы: ВК, ТК и ТТК. К группе ВК (вольфрамовой) относятся ВК3, ВК8, ВК15, ВК25 (WC – 75 %, Co – 25 %) и другие; к группе ТК (титановольфрамовой) - Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В (TiC-30 %, Co-40 %, остальное WC); к группе ТТК (титанотантало-

вольфрамовой) - ТТ17К12, ТТ10К8Б. Четвертая группа - безвольфрамовые твердые сплавы КНТ-16, ТМ1, ТМ3, ТН20 (74 % TiCN + 19,5Ni + 6,5 % Mo).

Пластинки из твердого сплава имеют высокую износостойкость и теплостойкость (800-1000 °С), что позволяет обрабатывать заготовки со скоростями резания до 300 м/мин. Недостатком твердых сплавов является их низкие пластичность и прочность.

Минералокерамика - синтетический материал, основой которого является технический глинозем Al_2O_3 подвергнутый спеканию при 1720-1750 °С. (ЦМ332 – 99 % Al_2O_3 , твёрдость 91HRA). Имеет высокую износостойкость. Недостатками являются низкая прочность и большая хрупкость. Инструменты, оснащенные пластинками из минералокерамики, эффективно используются при полустойковой и чистой обработке сталей, чугуна и цветных металлов в условиях безударной нагрузки. Для повышения эксплуатационных характеристик минералокерамики в нее добавляют вольфрам, молибден, бор, титан, никель и т.д. Такие материалы называют керметами.

В последнее время созданы композиции керамики ВЗ, В0К60, 20К63, которые могут быть отнесены к группе наиболее современных, режущих материалов (в отличие от белой керамики эти марки имеют чёрный цвет). В состав их входит до 40 % карбидов титана, вольфрама, молибдена. Изготавливаются методом горячего прессования, имеют прочность 700 МПа.

Абразивные материалы - мелкозернистые или порошковые вещества, используемые для изготовления абразивных инструментов: шлифовальных кругов, головок, сегментов, брусков и т.д. Естественные абразивные материалы (наждак, кварцевый песок, корунд) находят ограниченное применение вследствие неоднородности свойств. В промышленности применяют в основном искусственные абразивные материалы: электрокорунды, карбиды кремния, карбиды бора, окись хрома, синтетические алмазы, а также новые материалы, такие как славутич, эльбор, гексагонит и др. Абразивные материалы имеют очень высокую твёрдость, высокую красностойкость (1800-2000 °С) и износостойкость. Допустимая скорость резания 15-100 м/с (пример: круг 25 А25, ПСМ16К, 20ПГ352).

В промышленности используют естественные (А) и искусственные (синтетические) алмазы марок АСО, АСР, АСВ, АСК, АСО, АСМ, АСН.

Из синтетических твердых материалов (СТМ), применяемых для лезвийной обработки, применяются:

Эльбор - Р (или композит 01, который в настоящее время имеет наиболее широкое применение).

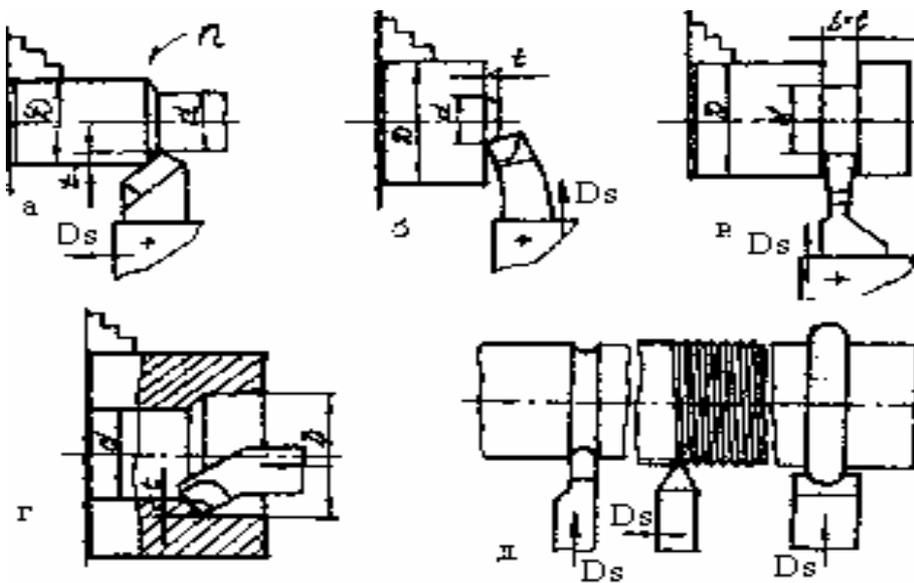
Гексанит – Р (композит 10) - поликристаллический материал на основе бора и азота. Исходное сырье для производства гексанита – Р - вюрцитоподобный нитрид бора (гексанит), получаемый из гексогонального графитоподобного нитрида бора с помощью ударных волн. Гексанит - Р имеет тонкую зернистую структуру, размер частиц основной фазы менее 1 мкм, обладает высокой микротвёрдостью (1000-6000 кг/мм²) и пониженной хрупкостью, что позволяет использовать его при работе с ударными нагрузками.

33.3 Конструкция инструментов

33.3.1 Резцы

Применяемые в машиностроении резцы можно классифицировать по следующим признакам:

- по виду станков: токарные, строгальные, долбежные, автоматнo-револьверные, расточные для горизонтально-расточных станков, специальные;
- по виду обработки: проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, галтельные, резьбовые, фасонные (рисунок 33.1);
- по сечению крепежной части: прямые, отогнутые, изогнутые, с оттянутой головкой;
- по направлению подачи: правые и левые;
- по способу изготовления: с рабочей частью, выполненной как одно целое с крепежной; с рабочей частью, приваренной встык; с наплавленной, напайной, клееной пластинкой; с механическим креплением пластинок или вставок;
- по роду инструментального материала: из сверхтвёрдых сплавов, с пластинками из твердого сплава, из быстрорежущей стали и т.д.

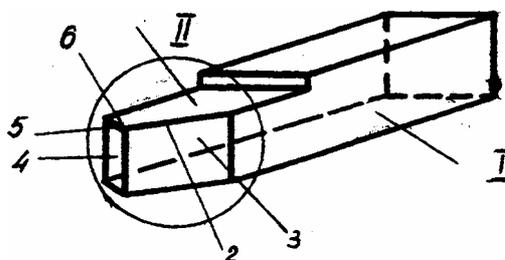


а - проходной; б - подрезной; в - отрезной, прорезной;
г - расточной; д - галтельный; е - резьбовой; ж – фасонный

Рисунок 33.1 – Классификация резцов по виду обработки

Резцы (рисунок 33.2) состоят из державки, служащей для закрепления в резцедержателе станка, и головки (рабочей части). Головка, полученная заточкой, имеет следующие элементы: переднюю поверхность 1, по кото-

рой сходит стружка; главную заднюю поверхность 3, обращенную к поверхности резания; вспомогательную поверхность резания 4, обращенную к обрабатываемой поверхности; главную режущую кромку 2, образованную пересечением передней и главной задней поверхностей; вспомогательная режущая кромка 5, образованная пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей; вершину резца 6 - место сопряжений режущих лезвий.



I - державка, II – головка

1 - передняя поверхность; 2 - главная режущая кромка; 3 - главная задняя поверхность; 4 – вспомогательная задняя поверхность;

5 – вспомогательная режущая кромка; 6 - вершина резца

Рисунок 33.2 - Рабочие поверхности и режущие кромки резца

Форма режущей части резца определяется конфигурацией и расположением в пространстве его поверхностей и кромок, т.е. с помощью углов, называемых геометрическими параметрами. Для определения геометрии резца принимают следующие координатные плоскости: основная плоскость, плоскость резания, главная секущая плоскость (рисунок 33.3).

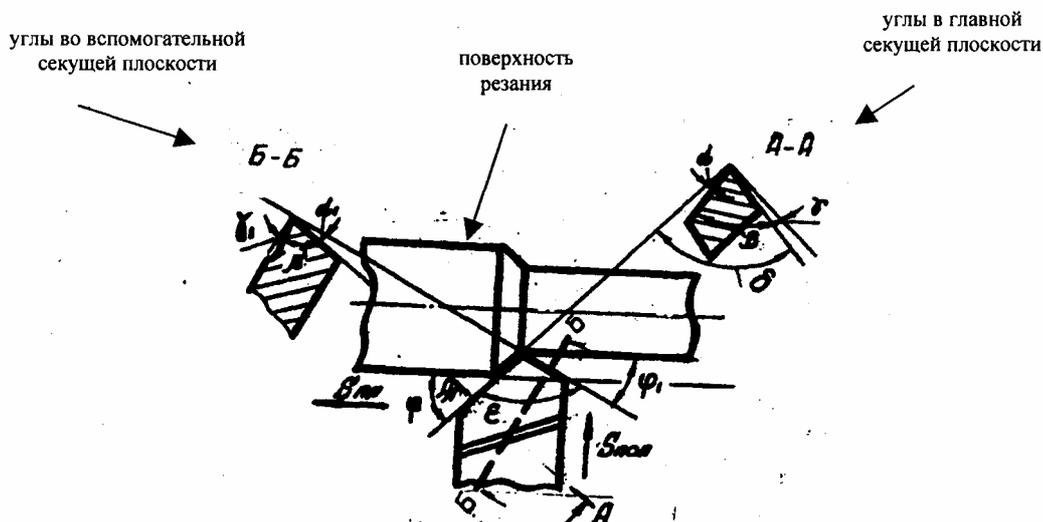


Рисунок 33.3 - Геометрические параметры токарного резца

Основной плоскостью называется плоскость, параллельная направлению продольной и поперечной подачи резца.

Плоскостью резания называют плоскость, касательную к поверхности резания и проходящую через главную режущую кромку.

Главная секущая плоскость - плоскость, перпендикулярная проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Имеется также вспомогательная секущая плоскость - это плоскость, перпендикулярная к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Геометрические параметры резцов рассматриваются в главной и вспомогательной секущих плоскостях, в поперечном и продольном разрезах, проекции на основную плоскость и во фронтальном виде со стороны главной и вспомогательной режущих кромок.

Углы, измеряемые в главной секущей плоскости:

Главный передний угол γ - это угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку. Он может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

Главный задний угол α - это угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Угол заострения β - это угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Угол резания δ - это угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

В основной плоскости измеряются углы в плане:

Главный угол в плане φ - это угол между проекцией главной режущей кромки и направлением подачи.

Угол в плане при вершине резца ε - это угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

Углы заточки инструмента измеряют с помощью настольного угломера (рисунок 33.4)

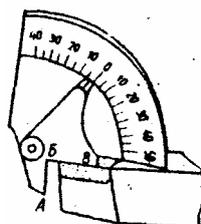
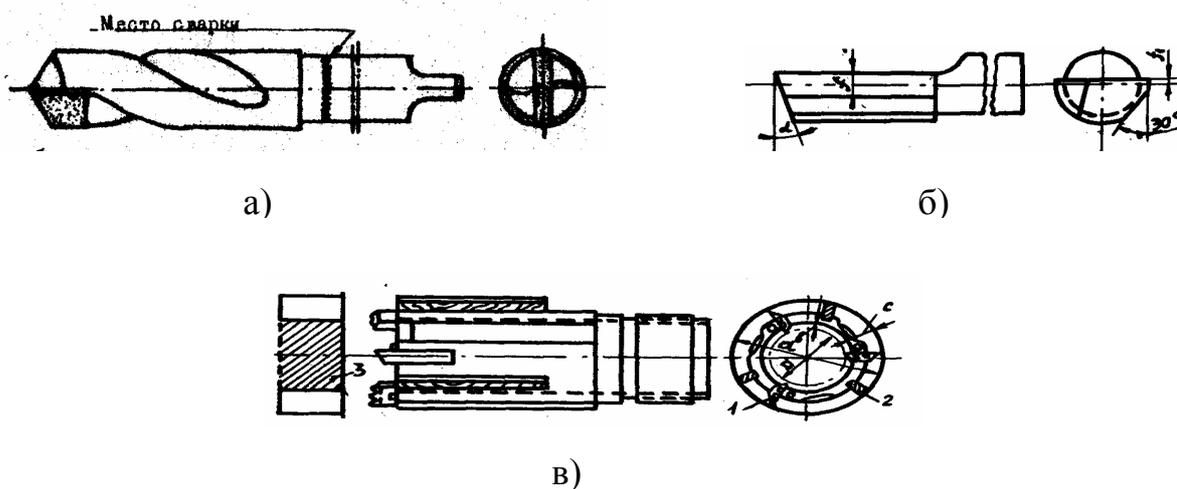


Рисунок 33.4 – настольный угломер

33.3.2 Сверла

Сверла предназначены для сверления отверстий в сплошном материале, рассверливания уже имеющих отверстий, надсверливания конических углублений. В промышленности применяют следующие основные типы свёрл: спиральные, перовые, пушечные, для кольцевого сверления, центровочные, специальные (рисунок 33.5). Свёрла изготавливают из быстрорежущей стали марок Р6М5, Р9К5 и др.



а - цилиндрическое сверло с пластиной ВК8 и с цилиндрическим хвостовиком; б – свёрло со сплошным стеблем; в - трёхперовое сверло

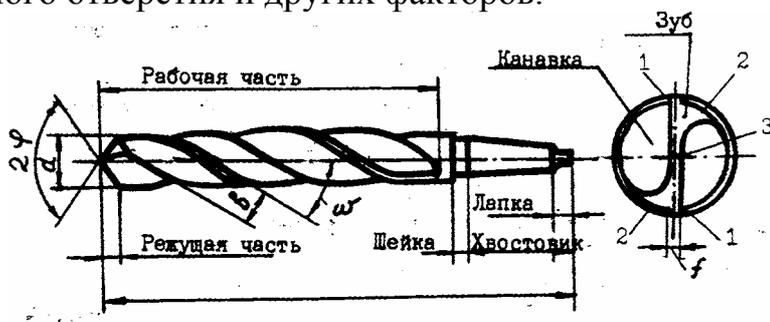
Рисунок 33.5 – Свёрла

Спиральное сверло является основным типом сверл, наиболее широко распространенным (рисунок 33.6). Его используют при сверлении и рас-сверливании отверстий диаметром до 80 мм с точностью обработки по 11-12 квалитетам и шероховатостью Ra в пределах 10 мкм. Спиральное сверло имеет рабочую часть (режущую и направляющую), шейку и хвостовик. Основную работу резания выполняет режущая часть двумя главными режущими кромками 1, двумя вспомогательными режущими кромками 2 и одной поперечной кромкой 3. Главные режущие кромки образуются на каждом зубе пересечением задних и передних поверхностей. Поперечная кромка 3 образуется в результате пересечения двух задних поверхностей.

С целью уменьшения трения сверла об обрабатываемую поверхность направляющая часть делается узкой в виде ленточек. Кроме этого, рабочая часть имеет обратную конусность, т.е. уменьшение диаметра к хвостовику на 0,03-0,12 мм на каждые 100 мм. Для придания сверлам большей жесткости их сердцевина к хвостовику делается увеличенной на 1,4-1,5 мм на каждые 100 мм длины.

Угол при вершине ϕ располагается между проекциями главных режущих кромок на основную плоскость. Его значение выбирается, в основном, в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Для стандартных сверл значение $2\phi = 116-122^\circ$.

Углом наклона винтовой канавки ω называется угол между касательной к винтовой линии, образующей эту канавку, и линией, параллельной оси сверла. В разных точках режущей кромки он неодинаков. В периферийной точке главной режущей кромки, т.е. по кромке ленточки, он максимальный. Угол $\omega = 15-60^\circ$ зависит от обрабатываемого материала, глубины просверливаемого отверстия и других факторов.



d - диаметр сверла; 2ϕ - угол при вершине; ω - угол наклона винтовой канавки; b - ширина канавки; f - ширина ленточки

Рисунок 33.6 - Элементы и геометрия сверла

Передний угол γ - угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке главной режущей кромки и нормалью в этой же точке к поверхности резания. Передний угол γ у сверла переменный: min у вершины, max на периферии.

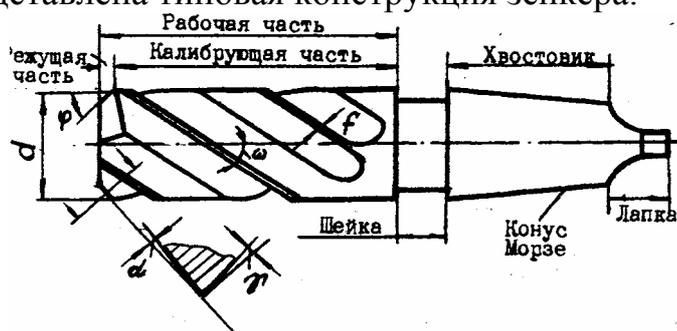
Задний угол α - угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания. Задние углы также переменны, однако изменяются в противоположном направлении, увеличиваясь от периферии, где они равны $8-11^\circ$ до $25-35^\circ$ к оси (большие значения относятся к меньшим диаметрам сверл).

Вспомогательный угол α близок к 0.

Угол наклона поперечной режущей кромки φ располагается между проекциями главной и поперечной кромок на торцовую плоскость сверла. Он тесно связан с задним углом на периферии и является одним из показателей правильности заточки стандартных сверл.

33.3.3 Зенкеры

Назначение зенкеров - увеличение отверстия, полученного сверлением, штамповкой или отливкой, а также исправление направления оси отверстия. Зенкерование - предварительный процесс перед развертыванием. Зенкерованием получают более точное отверстие, чем при сверлении. После зенкерования получают отверстие 11-12 квалитетов точности. Отверстия 7-8 квалитета необходимо развертывать. Зенкер снимает большой припуск, а развертка зачищает, калибрует отверстие, исправляет его форму. На рисунке 33.7 представлена типовая конструкция зенкера.



d - диаметр зенкера; φ - главный угол в плане; ω - угол наклона стружечных канавок; f - ширина; γ - передний угол; α - задний угол

Рисунок 33.7 - Элементы и геометрия зенкера

33.3.3.1 Зенкеры насадные

Изготавливаются они с прямыми, наклонными и винтовыми со стружечными канавками с тремя, четырьмя и пятью зубьями (перьями). Профиль (форма) зубьев в сечении с некоторыми параметрами, приведен выше.

На рисунке 33.8 а показана конструкция цельного насадного зенкера с винтовыми канавками.

Зенкеры со вставными ножами из быстрорежущей стали с наклонными стружечными канавками, приведены на рисунке 33.8 б.

Зенкеры, оснащенные припаянными пластинами I из твердого сплава, показаны на рисунке 33.8 в. Изготавливаются они диаметром от 32 до 80 и внутренним посадочным диаметром, от 13 до 32 мм.

На рисунке 33.8 г приведена конструкция зенкера со вставными ножами 2, оснащенными пластинками из твердого сплава I. Изготавливаются они диаметром 40 - 80 мм.

На рисунке 33.8 д показана конструкция зенкера со вставными ножами 2, оснащенным пластинками I из твердого сплава.

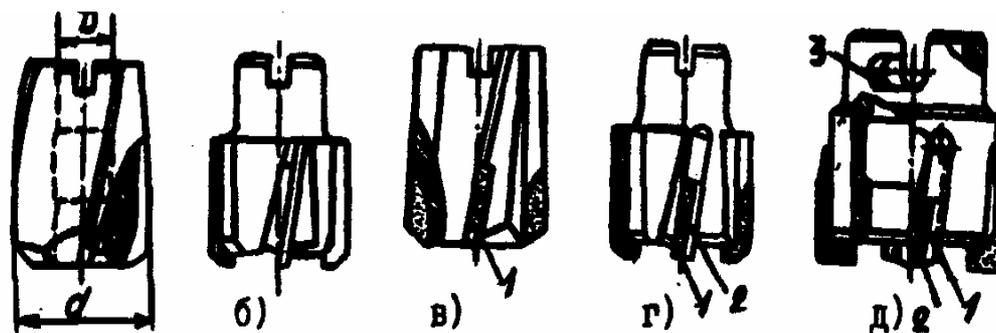


Рисунок 33.8 - Зенкеры насадные

33.3.4 Развёртки

Развертка - многолезвийный инструмент, предназначенный для обработки точных цилиндрических отверстий. В режущей части развертки предусматривается большое число режущих зубьев (более шести), геометрия которых обеспечивает срезание тонких стружек. При помощи разверток производится обработка отверстий в пределах 9-7, а иногда 6-го квалитетов с шероховатостью обработанной поверхности в пределах 1,25 - 0,32 мкм.

Конструктивные и геометрические параметры разверток приведены на рисунке 33.9.

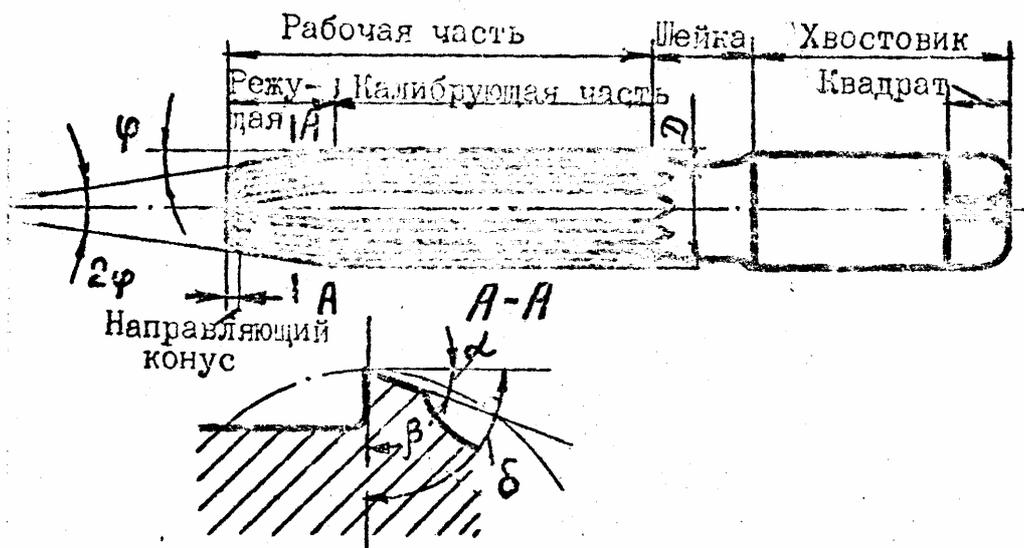


Рисунок 33.9 - Конструктивные и геометрические параметры разверток

Некоторые конструктивные и геометрические параметры разверток.

Угол в плане режущей части φ принимается в зависимости от марки обрабатываемого материала и величины срезанного припуска. С увеличением угла φ уменьшается длина режущей части, но возрастает осевая составляющая силы резания и ухудшается направление развертки при входе в отверстие.

Передний угол γ принимается обычно равным нулю. При развертывании отверстий в вязких материалах — $\gamma \approx 5 - 10$ град.

Задний угол α , как правило, принимается равным $5 - 8$ град.

Угол наклона зубьев ω используется при обработке отверстий с продольными или прерывистыми канавками. В зависимости от свойств обрабатываемого материала, величина $\omega = 15 - 45^\circ$. Направление винтовых зубьев должно быть противоположно вращению развертки. Это предотвращает ее от самозатягивания и заедания.

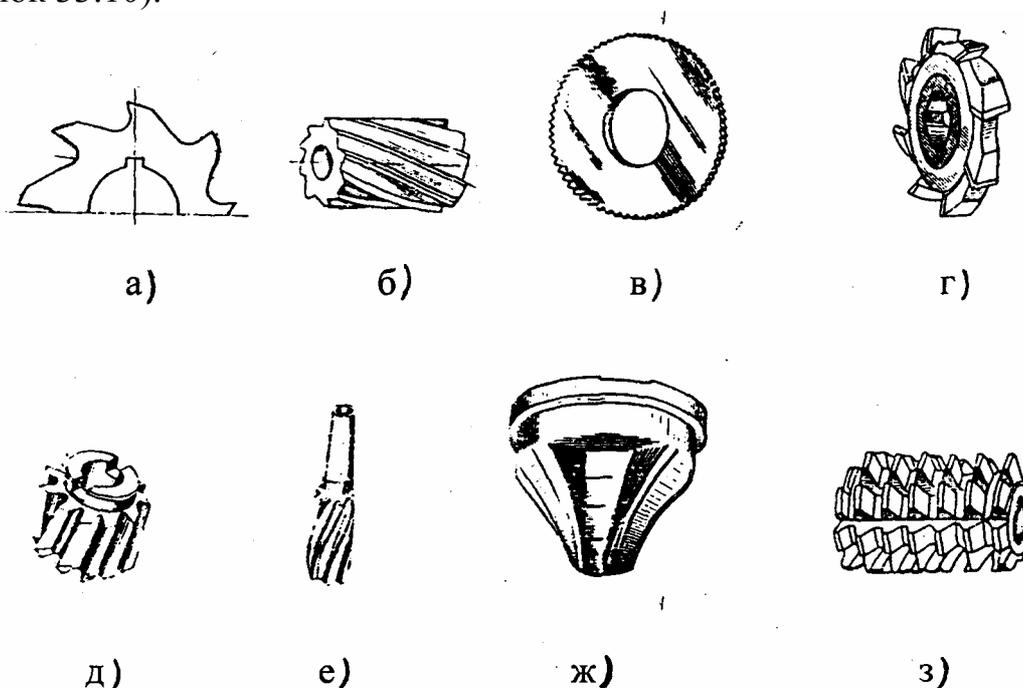
Окружной шаг зубьев P_i делается неравномерным. Это позволяет каждому из них принимать участие в срезании определенной части припуска и исключения появления волнистости на обрабатываемой поверхности, за счет чего и повышается точность изготовления отверстия.

Обратная конусность на рабочей части (на длине l) принимается в пределах $0,04 - 0,10$ на длине 100 мм для машинных разверток и весьма малой ($0,005 - 0,015$) - для ручных. В связи с этим у последних цилиндрический участок (на длине l) не делается.

Число зубьев принимается чётным, что позволяет измерять диаметр развертки микрометром. Обычно их количество, в зависимости от диаметра, принимается равным $6 - 14$ зубьев.

33.3.5 Фрезы

Основными типами фрез являются цилиндрические и торцовые для обработки плоских поверхностей; дисковые, концевые и угловые для обработки пазов, канавок и шлицев; фасонные для обработки фасонных поверхностей; модульные (пальцевые и дисковые) для нарезания зубьев зубчатых колес; червячные для нарезания зубьев цилиндрических и червячных колес (рисунок 33.10).



а – цилиндрическая; б – цилиндрическая с винтовыми зубьями;
в – дисковая; г – дисковая двусторонняя; д – дисковая трёхсторонняя;
е – торцевая; ж – концевая; з – пальцевая модульная; и – червячная

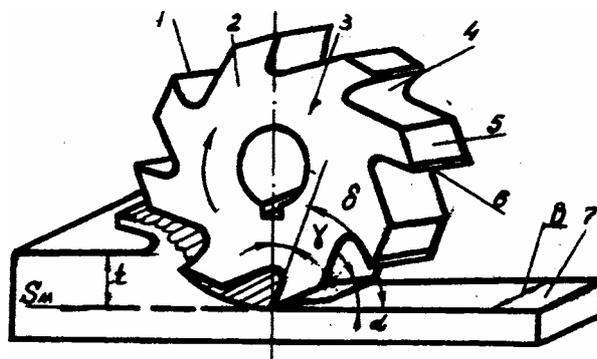
Рисунок 33.10 – Основные типы фрез

Конструктивно фрезы выполняют цельными или сборными с напайными и вставными ножами. Режущие кромки могут быть прямыми или винтовыми.

Фрезы с винтовыми зубьями работают более плавно, а станок ввиду постепенного характера врезания таких зубьев нагружен равномернее. Фрезы имеют остроконечную или затылованную форму зуба. У фрезы с остроконечными зубьями передняя и задняя поверхности плоские. У фрез с затылованными зубьями передняя поверхность плоская, а задняя выполнена по спирали Архимеда; при переточке по передней поверхности профиль зуба фрезы сохраняется. Фрезы с остроконечными зубьями имеют более высокую стойкость и относительно проще в изготовлении.

Фреза – многолезвийный режущий инструмент, состоящий из корпуса и зубьев. Зуб фрезы, представляющий собой простейший резец, имеет следующие

элементы: переднюю поверхность 4, по которой сходит стружка; заднюю поверхность 5, обращенную к обработанной поверхности; ленточку 6, которая обеспечивает правильную заточку зуба; режущее лезвие 1, образованное пересечением передней и задней поверхностей (рисунок 33.11).



1 - режущая кромка, 2 - зуб фрезы, 3 - корпус, 4 – передняя поверхность, 5 - задняя поверхность, 6 - ленточка,
 В - ширина фрезерования, t - глубина фрезерования
 Углы фрезы: γ – передний, α - задний,
 β – угол заострения, δ - угол резания

Рисунок 33.11 - Элементы и геометрические параметры цилиндрической фрезы

В сечение зуба цилиндрической фрезы плоскостью, перпендикулярной режущей кромке 1 можно рассмотреть следующие углы: передний γ , задний α , заострения β и резания δ (рисунок 33.11).

33.4 Порядок выполнения работы

33.4.1 Ознакомьтесь с методическими указаниями.

33.4.2 Ознакомьтесь с конструкцией, основными типами, назначением и геометрическими параметрами резцов, сверл, зенкеров, разверток и фрез.

33.4.3 Измерить основные геометрические размеры режущего инструмента.

33.5 Содержание отчёта

33.5.1 Цель работы.

33.5.2 Материалы, применяемые для изготовления режущего инструмента.

33.5.3 Конструктивные особенности режущего инструмента с выполнением эскизов.

33.5.4 Указать на эскизах основные режущие элементы и углы заточки.

33.6 Контрольные вопросы

- 33.6.1 Для чего предназначены резцы, сверла, зенкеры, развертки?
- 33.6.2 Какие существуют разновидности сверл и их назначение?
- 33.6.3 Конструктивные элементы резцов и их назначение?
- 33.6.4 Назвать геометрические параметры резцов и сверл, дать их определение.
- 33.6.5 Для чего служат ленточки?
- 33.6.6 Для чего предназначены зенкеры?
- 33.6.7 Для чего предназначены развертки?
- 33.6.8 Конструктивные элементы фрез.

34 Лабораторная работа № 34

Устройство и назначение токарных станков, ознакомление с элементами резания *)

34.1 Цель работы

34.1.1 Изучить устройство и назначение токарного станка и элементы режимов резания при точении.

34.1.2 Ознакомиться с технологией обработки заготовок на токарных станках.

34.2 Общие сведения

34.2.1 Классификация и условное обозначение станков

Металлорежущий станок – машина для равномерной обработки заготовок путем снятия стружки. Модель станка обозначают тремя или четырьмя (иногда с добавлением букв) цифрами. Первая цифра указывает группу станка, вторая – тип, последние одна или две цифры указывают на один из характерных его размеров.

Например, станок 2Н135: цифра 2 означает, что станок относится ко второй группе – сверлильный, Н – модернизированный, цифра 1 – указывает на принадлежность станка к первому типу – вертикально-сверлильный; последние две цифры означают максимальный диаметр сверления (35 мм).

Буква Ф в шифре указывает на то, что станок имеет числовое программное управление (ЧПУ), а цифра за ней указывает на то, какая система ЧПУ применима. Модель станка 16Н20Ф3 расшифровывается так: станок токарно-винторезный с высотой центров над станиной 200 мм, Ф3 означает, что станок оснащен контурной системой числового программного управления.

По степени специализации различают:

1) универсальные станки, используемые для широкой номенклатуры деталей;

2) специализированные, обрабатывающие детали, сходные по конфигурации;

3) специальные, предназначенные для обработки одной определенной детали или деталей только одного типоразмера.

По степени точности различают станки пяти классов.

Класс Н – станки нормальной точности. Класс П – станки повышенной точности. Класс В – станки высокой точности. Класс А – станки особо высокой точности. Класс С – станки особо точные или мастер-станки.

Составлено при участии Шейнина Б.М.

В зависимости от вида выполняемых работ, согласно классификации ЭНИМСа, станки делятся на следующие основные группы: 1- токарные, 2 – сверлильные и расточные; 3 – шлифовальные доводочные, заточные; 4 - комбинированные и для физико-химической обработки; 5 – зубо – и резьбообрабатывающие; 6 – фрезерные; 7 – строгальные, долбежные, протяжные; 8 – отрезные; 9 – разные.

Каждая группа станков может содержать до восьми типов. Например, для токарной группы: 0 тип – специализированные; 1 тип – одношпиндельные; 2 – многошпиндельные; 3 тип – револьверные и т.д.

В станках различают:

скорость главного движения резания - скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания;

движение подачи – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания.

Кинематическая схема станка – изображение с помощью условных обозначений (см. рисунок 34.4) взаимосвязи отдельных элементов и механизмов станков, участвующих в передаче движений различным органам.

Для станков, у которых наряду с механическими передачами имеются гидравлические, пневматические и электрические устройства, составляют перечисленные схемы.

34.2.2 Общая характеристика токарно - винторезного станка мод. 16К20

Универсальный токарно-винторезный станок модели 16К20 предназначен для выполнения различных токарных работ: точение в центрах, на патроне и на планшайбе; растачивание; торцевое точение, отрезку и подрезку, нарезание резьбы; точение конусов, фасонных поверхностей и другие виды работ с применением соответствующих инструментов и приспособлений.

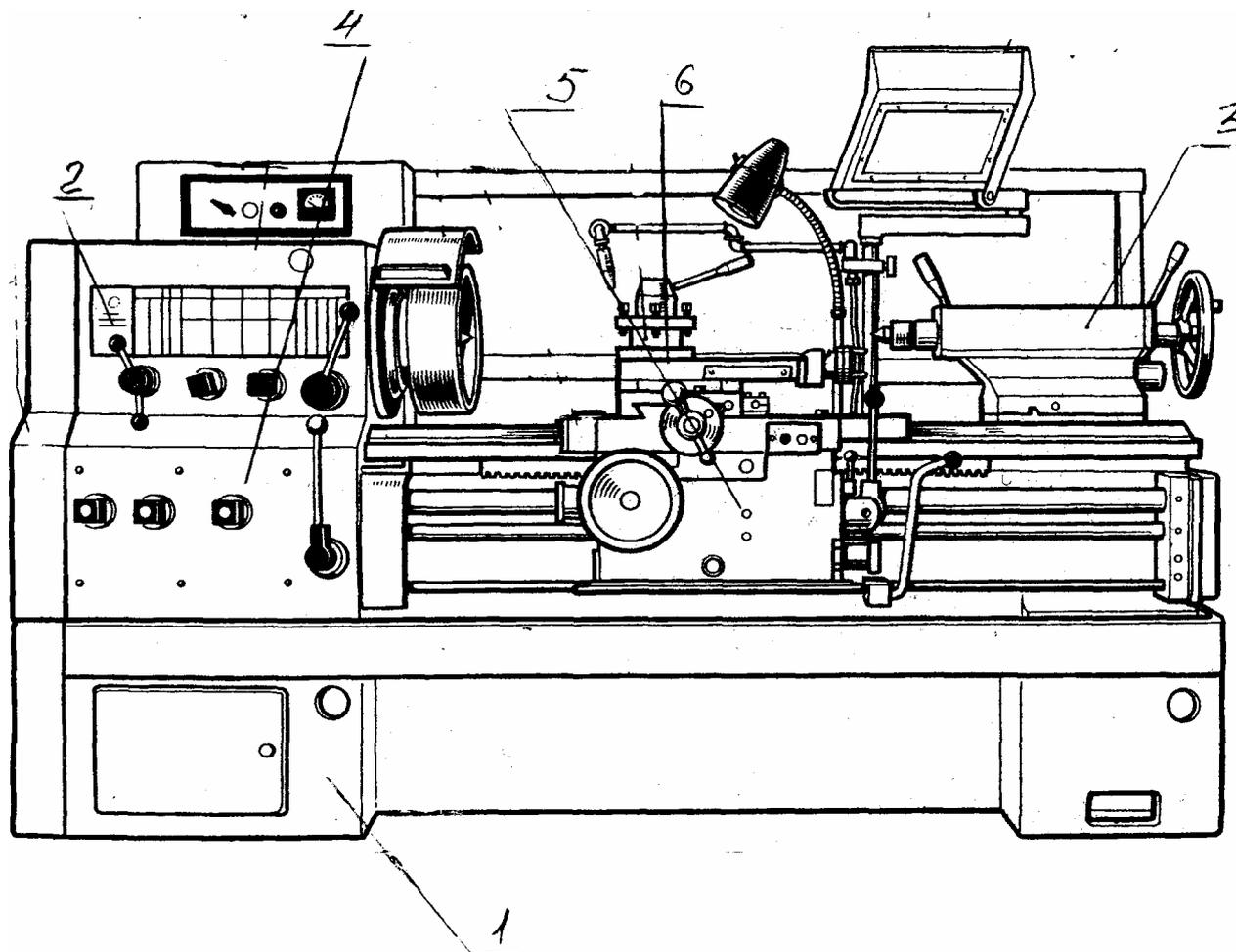
Технологический метод формообразования поверхностей заготовок точением характеризуется наличием двух движений: главного движения – вращения заготовки (скорость резания) и поступательного движения режущего инструмента – резца (движение подачи).

Основные узлы станка: станина 1, передняя бабка 2, коробка подач 4, суппорт 6 с резцедержателем 8 и фартуком 5, задняя бабка 3 (рисунок 34.1)

Станина 1 служит для монтажа всех основных узлов станка и является его основанием. Наиболее ответственная часть станины – направляющие, по которым перемещаются каретка суппорта и задняя бабка.

Передняя бабка 2 закреплена на левом конце станины. В ней находится коробка скоростей станка, основной частью которой является шпиндель, вращающийся в подшипниках качения или, скольжения.

Задняя бабка 3 служит для поддержания обрабатываемой детали в центрах, а также для закрепления инструмента при обработке отверстий (сверл, зенкеров, разверток) и нарезания резьбы (метчиков, плашек).



1 – станина, 2 – передняя бабка, 3 – задняя бабка,
4 – коробка подач, 5 – фартук, 6 – резцедержатель, 7 – патрон,
8 – суппорт, 9 – ходовой винт, 10 – ходовой вал

Рисунок 34.1 - Токарно-винторезный станок модели 16К20

Коробка подач 4 служит для передачи вращения от шпинделя ходовому валу или ходовому винту, а также для изменения их частоты вращения с целью получения необходимых подач или определенного шага при нарезании резьбы. Это достигается изменением передаточного отношения коробки подачи.

Фартук 5 предназначен для преобразования вращательного движения ходового вала и ходового винта в прямолинейное поступательное движение суппорта.

Суппорт 8 служит для закрепления режущего инструмента и сообще-

ния ему движений подачи.

Движения в станке. Главное движение – вращение шпинделя с заготовкой. Движение подач – перемещение суппорта в продольном и поперечном направлениях. Все движения подач являются прямолинейными поступательными.

Перемещение и закрепление задней бабки и поворот четырехпозиционного резцедержателя осуществляют вручную.

Принцип работы. Заготовка устанавливается в центрах или закрепляется в патроне. В резцедержателе суппорта могут быть закреплены четыре резца. Поворотом резцедержателя каждый из четырех резцов может быть установлен в рабочее положение. Инструмент для обработки отверстий устанавливается в пиноль задней бабки.

Техническими параметрами, по которым классифицируют токарно-винторезные станки, являются наибольший диаметр D обрабатываемой заготовки (детали) или высота центров над станиной (равная $0,5 D$), наибольшая длина L обрабатываемой заготовки (детали) и масса станка.

Ряд наибольших диаметров обработки для токарно-винторезных станков имеет вид: $D = 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000$ мм и далее до 4000 мм. Наибольшая длина L обрабатываемой детали определяется расстоянием между центрами станка. Выпускаемые станки при одном и том же значении D могут иметь различные значения L .

По массе токарные станки делятся на легкие - до 500 кг ($D = 100 - 200$ мм), средние - до 4 т ($D = 250 - 500$ мм), крупные - до 15 т ($D = 630 - 1250$ мм) и тяжелые - до 400 т ($D = 1600 - 4000$ мм).

Легкие токарные станки применяются в инструментальном производстве, приборостроении, часовой промышленности, в экспериментальных и опытных цехах предприятий. Эти станки выпускаются как с механической подачей, так и без нее.

На средних станках производится 70 – 80 % общего объема токарных работ. Средние станки оснащаются различными приспособлениями, расширяющими их технологические возможности, облегчающими труд рабочего и позволяющими повысить качество обработки, и имеют достаточно высокий уровень автоматизации.

Крупные и тяжелые токарные станки применяются в основном в тяжелом и энергетическом машиностроении, а также в других отраслях для обработки валков прокатных станов, железнодорожных колесных пар, роторов турбин и др. Все сборочные единицы (узлы) и механизмы токарно-винторезных станков имеют одинаковое название, назначение и расположение.

34.2.3 Примеры применения технологической оснастки

Обработка в центрах. Этот вид обработки применяется очень широко. Центры бывают неподвижные и вращающиеся. Некоторые детали (втулки,

заготовки шестерен и др.), имеющие обработанные отверстия, устанавливают в центрах на специальных центровых оправках.

Обработка деталей в патронах. Короткие детали устанавливают и закрепляют в патронах, которые подразделяются на простые и самоцентрирующиеся. В таких патронах каждый из четырех кулачков может перемещаться независимо от остальных с помощью винтов, что позволяет устанавливать на них детали как цилиндрической, так и не цилиндрической формы. Самоцентрирующиеся трехкулачковые патроны очень удобны в работе, так как все кулачки в них перемещаются одновременно, благодаря чему деталь, имеющая цилиндрическую поверхность, устанавливается и зажимается точно по оси шпинделя, значительно сокращается время на установку и закрепление детали.

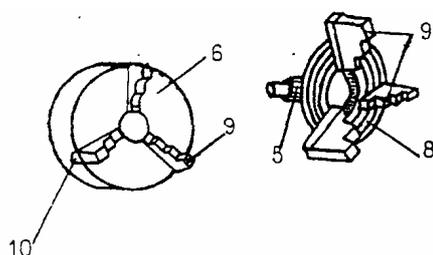
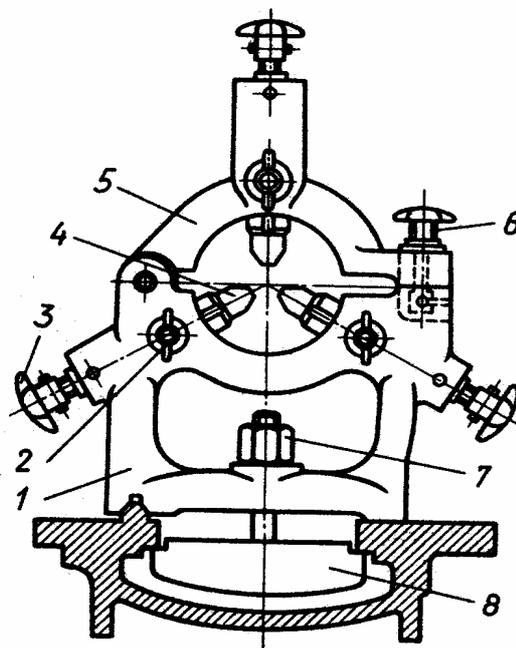


Рисунок 34.2 – Самоцентрирующийся патрон токарно-винторезного станка

Самоцентрирующийся патрон имеет три кулачка, которые с помощью конических колёс 5 вмонтированы в корпус патрона 6 и вращаемые торцовым ключом, приводят во вращение коническое колесо, на другой стороне которого нарезана плоская спираль 8. Во впадины спирали входят соответствующие выступы кулачков 9, вставленные в радиальные пазы 10 корпуса патрона. Самоцентрирующиеся патроны применяются, как правило, для закрепления заготовок цилиндрической формы.

На рисунке 34.3 показан неподвижный люнет.

Обработка деталей в люнетах. Длинные детали, у которых длина в 10-12 раз превышает их диаметр, при обработке прогибаются под действием незначительной силы резания. Деталь может быть вырвана из центров. В таких случаях применяют поддерживающее приспособление, называемое люнетом. Пользуясь люнетом, можно обтачивать детали с высокой точностью и снимать стружку большего сечения, не опасаясь прогиба детали. Люнеты бывают неподвижные и подвижные.



1 – основание (корпус люнета); 2 – стопорный винт;
 3 – винт подачи кулачка; 4 – кулачок; 5 – крышка; 6 – фиксатор
 крышки (звёздочка); 7 – гайка крепления планки; 8 – планка

Рисунок 34.3 – Люнет неподвижный

34.2.4 Кинематическая схема токарного станка мод. 16К20

Главное движение. Вращение от электродвигателя мощностью 10 кВт, частота вращения $n = 1460$ мин, передается клиноременной передачей 154-268 валу 1 коробки скоростей (рисунок 34.4). Муфта М1 служит для включения прямого и обратного ходов шпинделя. При прямом ходе вал II получает две различные скорости вращения через двойной подвижный блок шестерен 34-39.

Наличие тройного блока шестерен 47-55-36 позволяет получить на валу III шесть различных частот вращения. Далее вращения могут быть переданы шпинделю через зубчатые колеса 45-80.

Таким образом, шпиндель станка получает всего 24 значения частот вращения. Практически же шпиндель имеет только 22 частоты вращения, так как значения $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ и $n = 630 \text{ мин}^{-1}$ повторяются дважды.

Частота вращения шпинделя (при работе без перебора) по схеме определяется выражением

$$n = 1460 \cdot 0,985 \cdot \frac{148}{268} \cdot \frac{51}{39} \cdot \frac{21}{55} \cdot \frac{15}{60} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} = 1600 \text{ об/мин.}$$

34.2.5 Виды точения

Рассматривают следующие виды точения:

1) черновое точение – удаление дефектных слоёв заготовок, разрезка, отрезка и подрезка торцев заготовок. Срезается поверхностная корка и основная (70 %) часть припуска на обработку;

2) получистовое точение – снятие 20-25 % припуска, позволяет получать шероховатость $Ra = 10,0-5,0$ и точность 10-11-го квалитетов. Заготовка получает форму, близкую к форме детали;

3) чистовое точение – обеспечивает получение шероховатости $Ra = 2,5-1,25$ и точность 7-9-го квалитетов. Деталь получает окончательную форму и размеры;

4) тонкое точение – позволяет при срезании очень тонких стружек получать на поверхности детали шероховатость $Ra = 0,63-0,32$ и точность 5-7-го квалитетов.

34.2.6 Элементы резания при точении

К элементам резания при точении относятся: скорость резания v , глубина резания t и подача S .

Величина подачи S при точении определяется перемещением инструмента за один оборот заготовки. Подача измеряется в мм/об.

Скоростью резания v называется величина перемещения поверхности резания относительно режущей кромки в единицу времени в процессе осуществления главного движения. Скорость резания v , м/с, определяют по формуле

$$v = \frac{\pi \cdot D_{заг} \cdot n}{1000},$$

где $D_{заг}$ - наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;

n - частота вращения заготовки, об/мин.

Глубина резания t , мм – величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. Глубина резания – полуразность между диаметром заготовки ($D_{заг}$) и диаметром обработанной поверхности (d)

$$t = \frac{D_{заг} - d}{2},$$

Зная режим обработки, можно определить машинное (основное) время работы, т.е. время, затраченное на снятие стружки при токарной обработке T_0 , мин

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \cdot 1,$$

где L - длина перемещения резца, мм;
 1 – число проходов резца.

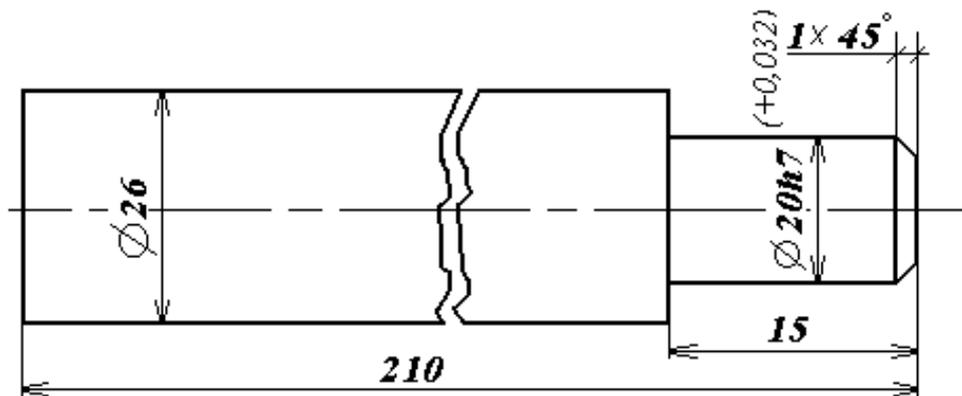
При выборе величины скорости резания учитывают влияние многих факторов, основными из которых являются материал изделия, материал резца, величина подачи, глубина резания и др.

При выборе величины подачи учитывают требуемую шероховатость обработанной поверхности, а при черновой обработке – прочность резца, мощность станка и жесткость системы станок – инструмент – деталь. Выбор величины глубины резания зависит от величины припуска на обработку, прочности инструмента, мощности станка и жесткости системы станок – инструмент – деталь.

Режущим инструментом для выполнения основных видов токарных работ являются токарные резцы.

34.2.6 Пример выбора расчёта режимов резания

Исходные данные: деталь – вал. Операция – обточка по диаметру и шейки с одной стороны. Обрабатываемый материал – сталь 40Х, горячая штамповка $\varnothing 26$ мм, $L = 210$ мм. Станок – токарно-винторезный. Инструмент – резец подрезной, $\varphi = 90^\circ$, Т5К10 ГОСТ 18878-73.



По величине общего припуска на обработку 3,0 мм (на сторону) с учетом оставления припуска на чистовую обработку 0,75 мм устанавливается глубина резания $t = 2,25$ мм.

При точении детали диаметром до 40 мм с глубиной резания $t = 2,25$ мм, рекомендуется подача в пределах 0,4-0,5 мм/об. Принимается среднее значение подачи $S = 0,45$ мм/об.

По карте 6 определяется скорость резания. Для обработки стали

$\sigma = 720$ МПа, скорость резания для работы с резцом с углом в плане $\phi = 90^\circ$ составляет 1,216 м/с (73 м/мин).

По установленной скорости резания определяется число оборотов шпинделя.

34.3 Порядок выполнения работы

34.3.1 Ознакомьтесь с описанием лабораторной работы.

34.3.2 Ознакомьтесь с устройством, принципом работы, режимом работы, органами управления токарного станка мод. 16К20.

34.3.3 Ознакомьтесь с настройкой привода главного движения.

34.3.4 Установите и закрепите обрабатываемую заготовку в патрон и резцы в резцедержатель (вылет резца 30 - 40 мм).

34.3.5 Установите на станке режимы резания.

34.3.6 Проточите заготовку, запишите размеры валика до и после обработки.

34.4 Содержание отчёта

34.4.1 Схематически зарисуйте и опишите процесс точения.

34.4.2 Запишите основные узлы токарного станка мод. 16К20 и их назначение.

34.4.3 Запишите справочные режимы резания при точении заготовки.

34.4.4 Зарисуйте эскиз детали с размерами до и после точения.

34.5 Контрольные вопросы

34.5.1 Какие типы токарных станков знаете?

34.5.2 Служебное назначение токарно-винторезного станка мод. 16К20.

34.5.3 Виды работ, выполняемых на токарных станках.

34.5.4 Какие существуют виды точения?

34.5.5 Что включает в себя кинематическая схема станка мод. 16К20?

34.5.6 Определить число оборотов шпинделя и минутную вертикальную подачу при зацеплении колес, показанную на схеме.

34.5.7 Назначение основных узлов токарного станка.

34.5.8 Какие виды подач различают при точении?

35 Лабораторная работа № 35

Обработка заготовок на сверлильных станках

35.1 Цель работы

Ознакомиться с технологическим процессом получения отверстий в сплошном материале при обработке на сверлильных станках, а также с методами увеличения размеров полученных отверстий, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

35.2 Основные сведения

35.2.1 Способы обработки на сверлильных станках

Сверлильные станки предназначены для сверления глухих, сквозных отверстий, рассверливания, зенкерования, развёртывания, растачивания и нарезания резьбы.

Сверление – основной технологический способ образования отверстий в сплошном материале обрабатываемой заготовки. Сверлением могут быть получены как сквозные, так и глухие отверстия. При сверлении используют стандартные свёрла, имеющие две режущие кромки. Отверстия диаметром больше 30 мм в сплошном материале обычно сверлят двумя свёрлами (первое – диаметром 12-15 мм, второе – в размер отверстия).

Просверленные отверстия не имеют правильной формы: их поперечное сечение имеет форму овала, а продольные – конусность. Точность отверстий, полученных сверлением, в пределах 12-14 квалитетов.

Рассверливание спиральным сверлом выполняют для увеличения диаметра отверстия, полученного литьем, ковкой, штамповкой или сверлением.

Зенкерование – технологический способ обработки предварительно просверленных отверстий или отверстий, изготовленных литьём или штамповкой. Точность зенкерования 10-11 квалитета. Зенкерование осуществляется инструментом – зенкером. Стандартные зенкеры имеют от трёх до восьми зубьев. В отличие от рассверливания зенкерование обеспечивает большую производительность и точность обработки.

Зенкерование может быть и окончательной операцией при обработке просверленных отверстий по 11-13 квалитетам или для получистовой обработки перед развёртыванием.

Зенкер отличается от сверла более жесткой рабочей частью, отсутствием поперечной режущей кромки с увеличенным числом зубьев.

Развёртывание – технологический способ окончательной обработки предварительно обработанных отверстий в целях получения точных по форме и диаметру цилиндрических и конических отверстий (6-9 квалитет

точности) с малой шероховатостью ($Ra = 0,32 - 1,25$ мкм). В качестве инструмента используют развёртки, имеющие чётное число режущих кромок.

Развертки являются многолезвийным инструментом, срезающим очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности.

Отверстия диаметром до 10 мм развёртывают после сверления, а свыше 10 мм – после сверления и зенкерования. Перед развёртыванием необходимо тщательно обработать торцовую поверхность детали, чтобы развёртка вошла в отверстие без перекоса.

При развёртывании большое число зубьев одновременно участвует в резании. Развёртывание характеризуется небольшой глубиной резания

($t = 0,05 - 0,3$ мм), что способствует малой шероховатости и высокому качеству обработки.

Нарезание внутренней резьбы на сверлильных станках осуществляют машинными метчиками. Рабочая часть метчика имеет форму винта с продольными и винтовыми канавками, благодаря которым образуются режущие кромки.

При сверлении, зенкеровании и развёртывании обычно режущему инструменту сообщают главное движение резания – вращающее движение режущего инструмента и движение подачи – осевое перемещение режущего инструмента. При нарезании резьбы метчиками инструмент получает только вращательное движение, а принудительная подача отсутствует, т.к. метчик – инструмент самоподающийся.

Точность и качество поверхности при различных видах обработки приведены в таблице 35.1.

Таблица 35.1 - Точность и качество поверхности при обработке отверстий

| Вид обработки | Параметр шероховатости Ra , мкм | Квалитет |
|---|-----------------------------------|----------|
| Сверление до 15 мм: без кондуктора по кондуктору | 12,5 – 6,3 | 14-12 |
| | - | 11 |
| Сверление свыше 15 мм: без кондуктора по кондуктору | 25 - 12,5 | 14-12 |
| | - | 11 |
| Зенкерование: черновое чистовое | 25-12,5 | 15-12 |
| | 6,3 – 3,2 | 11-10 |
| Развёртывание: получистовое чистовое тонкое | | |
| | 12,5 – 6,3 | 10-9; 8 |
| | 3,2 – 1,6 | 7-8; 8 |
| | 0,8 – (0,4) | 7 – 6 |

35.2.2 Приспособления для закрепления режущего инструмента и заготовок

Режущие инструменты закрепляют в шпинделе станка с помощью различных приспособлений, использование на одном станке режущего инструмента разных диаметров становится возможным благодаря переходным втулкам, которые обеспечивают закрепление инструмента, имеющего цилиндрический хвостовик в коническом отверстии шпинделя. Для инструментов с цилиндрическим хвостовиком применяют патроны двух - трёхкулачковые и цанговые.

Для установки и закрепления заготовок применяют машинные тиски, угольники, поворотные столы, прихваты, призмы и другие приспособления. В серийном производстве часто используют специальные приспособления – кондукторы. Применение кондукторов позволяет повысить точность обработки и увеличить производительность труда. При изготовлении больших партий деталей применяют сверление по разметке.

Для направления инструмента строго по осям в отверстиях заготовки служат кондукторные втулки из инструментальной закалённой стали.

35.2.3 Режимы резания

К режиму резания при сверлении, рассверливании, зенкеровании, развёртывании относятся: скорость резания v , подача S_o , глубина резания t .

За скорость резания v принимают окружную скорость точки режущего лезвия, наиболее удаленной от оси сверла, м/с

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}, \quad (35.1)$$

где D – диаметр сверла, мм;

n – частота вращения сверла, об/мин.

Выбор скорости резания зависит от механического свойства обрабатываемого материала и материала режущей части сверла, его диаметра, величины подачи, стойкости инструмента, охлаждения, глубины резания и других факторов и назначается по нормативам.

Так, сверла, изготовленные из быстрорежущей стали марки Р6М5, допускают скорость резания при обработке стали до 0,5 м/с (30 м/мин), у твердосплавного инструмента – до 0,67 - 1,33 м/с (40 - 80 м/мин).

Подача на оборот S_o , мм/об, (рисунок 35.1) равна величине перемещения сверла вдоль оси за один оборот. Поскольку сверло имеет две главные режущие кромки, то подача, приходящаяся на одну режущую кромку S_z , мм/зуб, рассчитывается по формуле

$$S_z = \frac{S_o}{2}.$$

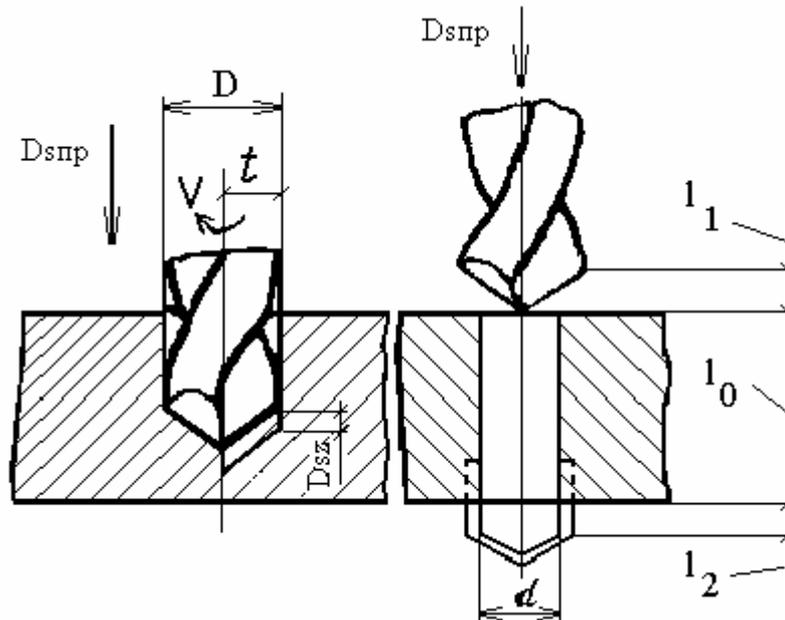


Рисунок 35.1 - Схема сверления и элементы режимов резания

Глубиной резания t при сверлении отверстий называется наименьшее расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеряемое по нормали к обработанной поверхности

$$t = \frac{D}{2} \cdot \alpha$$

При рассверливании глубина резания

$$t = \frac{D - D_0}{2},$$

где D – диаметр свёрла, мм;

D_0 – диаметр ранее просверленного отверстия, мм.

Основное (или технологическое) время T_0 , в течение которого происходит резание металла, для сверления отверстий в сплошном материале определяется

$$T_0 = \frac{L}{(S_n)},$$

где L - длина рабочего хода инструмента в направлении подачи;

$$L = l_0 + l_1 + l_2,$$

где l_0 - длина обрабатываемой поверхности;
 l_1 - величина подвода;
 l_2 - величина перебега.

35.2.4 Вертикально - сверлильный станок мод. 2Н135

Существуют следующие типы сверлильных станков: настольно - сверлильные станки: вертикально-сверлильные мод.2Н118, 2Н135, 2А125, 2А150, радиально-сверлильные мод. 2А53, 2А56, горизонтально-сверлильные и др.

Вертикально-сверлильные станки, позволяющие выполнять все виды сверлильных работ, составляют основную часть парка сверлильных станков.

На рисунке 35.2 представлен вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135.

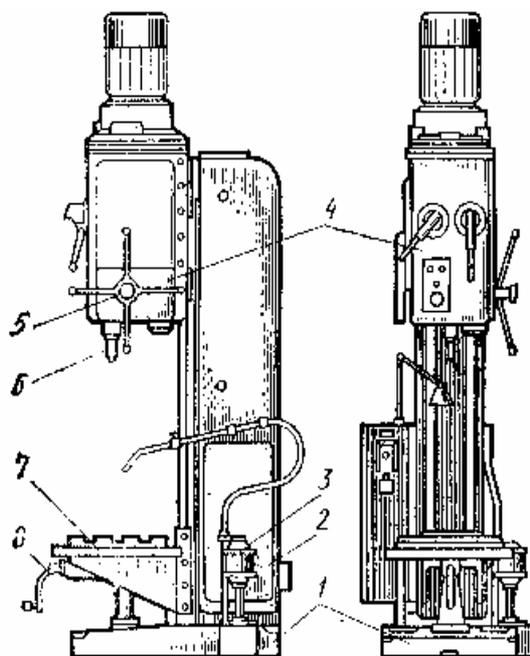


Рисунок 35.2 - Вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135

На фундаментной плите 1 смонтирована колонна 2 коробчатой формы, на передней стороне которой имеются вертикальные направляющие для перемещения сверлильной (шпиндельной) бабки 4 и стола 7. Внутри колонны размещается противовес для уравнивания шпиндельной бабки, в которой размещены механизмы главного движения и подачи шпинделя 6. Шпиндель можно перемещать с рабочей и ускоренной подачей механически или вручную с помощью штурвала 5. Стол 7, на котором устанавливают приспособления и деталь, перемещают по направляющим колонны вручную с помощью винтового механизма вращением рукоятки 8. В плите размещают бак для эмульсии, которую подают в зону обработки помпой 3.

Техническая характеристика:

- 1) наибольший диаметр сверления 35 мм;
- 2) наибольший ход шпинделя 250 мм;
- 3) расстояние от конца шпинделя до стола:
- 4) наименьшее 30 мм, наибольшее 750 мм;
- 5) ход стола 300 мм;
- 6) пределы частот вращения шпинделя 31,5 — 1400 мин⁻¹;
- 7) пределы подач шпинделя 0,1 — 0,6 мм/об;
- 8) масса 1200 кг.

Главное движение — вращение шпинделя (рисунок 35.2) осуществляется от электродвигателя (N = 4 кВт, n = 1450 об/мин). График частот вращения шпинделя приведен на рисунке 35.3.

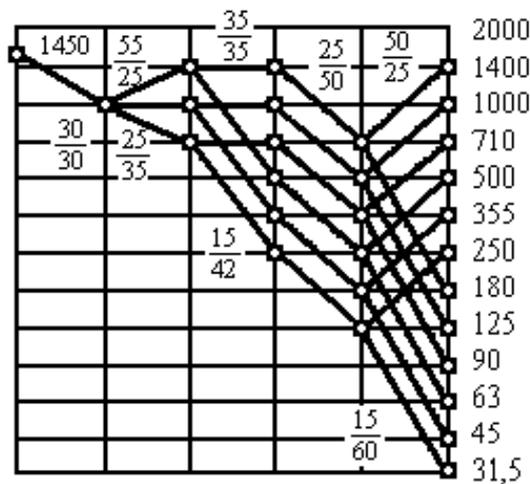


Рисунок 35.3 - График частот вращения шпинделя

Уравнение кинематического баланса цепи главного движения для наибольшей частоты вращения шпинделя имеет вид

$$1450 \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{35}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{50}{25} = 1400 \text{ мин}^{-1}$$

Изменение направления вращения шпинделя осуществляют реверсированием электродвигателя. Движение подачи передается от блока шестерен шпинделя на реечную шестерню, которая зацепляется с рейкой гильзы шпинделя.

35.3 Порядок выполнения работы

Работа выполняется на вертикально-сверлильном станке.

35.3.1 Ознакомление со станком и режущим инструментом

1) определить основные узлы (сборочные единицы); рассмотреть механизм вращательного движения подачи, обращая внимание на то, как движения от электродвигателя передается к коробке скоростей, шпинделю и коробке подач;

2) установить различные скорости вращения шпинделя, и различные величины подач, при каждой установке пустить и остановить станок;

3) выяснить назначение и способы применения различных приспособлений для сверления (прижимных планок, угольников, машинных тисков, струбцин, кондукторов, переходных втулок, сверлильных патронов и др.);

4) изучить конструктивные особенности имеющихся в наличии сверл, разверток, зенкеров, метчиков.

35.3.2 Подготовка станка к работе и сверление

1) ознакомиться с чертежами детали;

2) произвести разметку заготовки (при сверлении без кондуктора) закрепить заготовку в тиски, на призме или на столе станка;

3) установить и закрепить на станке режущий инструмент;

4) определить режимы резания и настроить станок на заданный режим;

5) с помощью ручной подачи осторожно подвести инструмент к заготовке, установить необходимую глубину сверления. Включить станок, произвести пробное сверление;

6) после выполнения всего объема работ станок выключить, снять обработанную деталь и инструмент;

7) протереть и смазать станок.

35.4 Содержание отчёта

35.4.1 Цель работы.

35.4.2 Сущность процесса сверления.

35.4.3 Схема сверления заданной детали.

35.4.4 Скорость резания, основное время при сверлении.

35.4.5 Размер сверла и полученного отверстия.

35.5 Контрольные вопросы

35.5.1 Какие типы сверлильных станков вы знаете?

35.5.2 Виды работ, выполняемых на сверлильных станках.

35.5.3 Что включает в себя кинематическая схема станка?

35.5.4 Виды режущего инструмента, используемого на сверлильных станках.

35.5.5 Какие виды движения сообщаются режущему инструменту при сверлении, при нарезании резьбы метчиком?

35.5.6 Какими характеристиками определяется режим резания при сверлении?

35.5.7 От чего зависит выбор скорости резания?

35.5.8 Какие приспособления применяются при работе на сверлильных станках?

35.5.9 Какие приспособления используют для закрепления заготовок?

35.5.10 Для чего применяются кондукторы и кондукторные втулки?

36 Лабораторная работа № 36

Обработка заготовок на шлифовальных станках

36.1 Цель работы

36.1.1 Изучить устройство и назначение шлифовального станка и элементы режимов резания при шлифовании.

36.1.2 Ознакомиться с технологией обработки заготовок на шлифовальных станках и видами абразивного инструмента.

36.2 Общие сведения

36.2.1 Сущность процесса шлифования

Шлифование – метод обработки материалов резанием при помощи абразивных инструментов, режущими элементами которых являются зерна абразивных материалов, обладающие высокой твердостью, теплостойкостью и острыми кромками. Абразивные зерна расположены в шлифовальном круге беспорядочно и их удерживает связующий материал. При вращении шлифовального круга выступающие абразивные зерна срезают с заготовок своими кромками очень тонкий слой металла. Благодаря малому сечению среза и высокой скорости вращения круга шлифование обеспечивает высокую точность обработки.

Шлифовальные станки обеспечивают точность обработки 6-7-го качества и шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra = 1,25-0,32$ мкм (обычное шлифование), $Ra = 0,38-0,08$ мкм (точное шлифование) и $Ra = 0,08 - 0,02$ мкм (отделочное шлифование). По классификатору группа шлифовальных станков обозначена цифрой 3 (первая цифра в обозначении модели). Вторая цифра указывает тип станка: например, 1 - круглошлифовальные (модель 3161); 2 – внутришлифовальные станки (модель 3228); 6 – заточные (модель 364); 7 – плоскошлифовальные с прямоугольным (модель 371) и круглым (модель 3756) столом.

36.2.2 Абразивные материалы и инструменты

К абразивным инструментам относятся шлифовальные круги, сегменты и бруски. Абразивный инструмент характеризуется формой и размерами, абразивным материалом, зернистостью, твердостью и структурой (строением).

К естественным абразивным материалам относятся алмаз, корунд (80-95 % Al_2O_3 , остальное примеси), наждак (20 – 60 % Al_2O_3), кварц (SiO_2).

Наибольшее применение находят синтетические абразивные материалы: электрокорунды нормальный (92 – 95 % Al_2O_3), белый (96 – 99 % Al_2O_3), хромистый (с примесями хромистых соединений), титанистый (содержит 2 %

TiO₂), монокорунд (Al₂O₃), карбид кремния (карборунд): зеленый (96 – 99 % SiC), черный (95 – 98 % SiC), карбид бора (B₂C).

Электрокорунды применяют при обработке пластичных материалов (сталь, чугун, бронза и т.д.) Зеленый карбид кремния применяют при заточке твердосплавного инструмента, черный – при обработке серого чугуна, алюминиевых сплавов.

Связующие материалы бывают: неорганические (керамическая, магниевая, силикатная связки), органические (бакелитовая и вулканитовая связки), металлические. Керамические связки являются смесями огнеупорной глины, полевого шпата, кварца, мела и других составляющих.

Шлифовальные круги на керамической связке имеют высокую прочность, огнеупорны, обладают химической стойкостью. Их недостатком является хрупкость.

Бакелитовая связка представляет собой искусственную смолу, полученную из карболовой кислоты и формалина. Круги на бакелитовой связке прочны, эластичны и могут работать при больших окружных скоростях (до 50 м/с). При температурах 180 - 200 °С прочность связки уменьшается.

Вулканитовая связка состоит из 70 % каучука и 30 % серы. Круги на вулканитовой связке могут работать при больших окружных скоростях (до 70 м/с), они прочны, эластичны. Круги обладают большей, чем круги на бакелитовой связке упругостью и используются для отрезки и прорезки. Недостатком их является низкая теплостойкость (150 - 200 °С), поэтому при работе требуется обильное охлаждение.

Металлические связки изготавливают из сплавов меди, олова, цинка, алюминия, никеля и используют в основном для алмазных инструментов.

Зернистость шлифовального круга выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, шероховатости поверхности и точности. Круги с относительно более крупным зерном применяют при черновом шлифовании, когда требуется большая производительность и при обработке вязких материалов во избежание «засаливания» шлифовального круга.

Твердость абразивного инструмента характеризует сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности под действием внешних сил. При равномерном вырывании зерен по всей поверхности круга на место выпавших зерен в процесс резания вступают новые острые зерна, таким образом, произойдет самозатачивание инструмента. Если твердость круга излишне высока, то сила резания не может вырвать зерно из связки. В этом случае происходит «засаливание» круга, что приводит к резкому ухудшению качества обработанной поверхности. Засаливания следует избегать правильным выбором характеристики круга.

Под структурой абразивного инструмента понимают соотношение между абразивными зёрнами, связкой и порами. Различают три группы структур:

- плотная, номера 0 - 3, содержит абразивных зерен (по объему) 62 - 56 %;

- средняя, номера 4 - 8, зерен 54 - 48 %;
- открытая, номера 9 - 12, зерен 44 – 38 %.

Круги со структурами № 4 и № 5 применяют для наружного круглого шлифования; № 6 – для внутреннего шлифования; № 7 и № 8 – для плоского шлифования.

Выпускаемые промышленностью абразивные инструменты маркируют на нерабочих поверхностях. В маркировке указывают форму инструмента, абразивный материал и его зернистость, твердость, номер структуры, связку, класс круга. Особо указывается максимальная окружная скорость. Например, маркировка круга следующая: ПП 15А25НС17К1А 35 м/с.

ПП – плоский круг прямого профиля,
 15А – маркировка материала, электрокорунд нормальный,
 25 – зернистость,
 Н – индекс зернистости,
 С1 – твердость круга средняя,
 7 – номер структуры,
 К1 – связка керамическая,
 А – класс круга,
 35 м/с – допустимая окружная скорость.

Пример 1: Условное обозначение круга типа 1 наружным диаметром 500 мм, высотой 50 мм, диаметром посадочного отверстия 305 мм, из белого электрокорунда марки 24А, зернистости 16 Н, степени твердости С2, номером структуры 7, на керамической связке КПП с рабочей скоростью 35 м/с, класс точности А, 1-го класса неуравновешенности: 1 500х50х305 24А16НС27КПП 35 м/с.

Пример 2: Условное обозначение круга типа 1 наружным диаметром 400 мм, высотой 4 мм, диаметром посадочного отверстия 32 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистости 63Н, со звуковым индексом 41, на бакелитовой связке (Б), с упрочняющими элементами (У) с рабочей скоростью 80 м/с, 2-го класса неуравновешенности для резки металла: 1400х4х32 14А63Н41БУ 80 м/с.

36.2.3 Виды шлифования

В зависимости от расположения и формы обрабатываемой поверхности заготовки шлифование подразделяют на следующие виды: наружное, когда обрабатывается наружная поверхность заготовки; внутреннее, когда обрабатывается внутренняя поверхность заготовки; плоское, когда обрабатывается плоская поверхность; профильное, когда обрабатывается поверхность, образующая которой представляет собой кривую или ломаную линию.

Шлифование поверхности вращения называют круглым шлифованием, сферической поверхности- сферошлифованием, боковых поверхностей зубьев зубчатых колёс- зубошлифованием, боковых сторон и впадин профиля резьбы- резьбошлифованием, шлицевых поверхностей- шлицешлифованием.

Главным движением резания при шлифовании является вращение шлифовального круга, определяющее скорость главного движения резания v , м/с. Движение подачи определяется способом шлифования и формой шлифуемой поверхности.

Скорость резания при шлифовании составляет: 25-35 м/с (обычное шлифование), 35-60 м/с (скоростное шлифование) и свыше 60 м/с высокоскоростное шлифование. При шлифовании скорость резания значительно превосходит скорость подачи.

При круглом наружном шлифовании заготовка получает вращение со скоростью круговой подачи v_d , возвратно-поступательное движение с продольной подачей $S_{пр}$, а шлифовальный круг — периодическое поперечное движение подачи $S_{п}$ (рисунок 36.1 а).

Глубинное круглое шлифование осуществляют при установке круга на глубину припуска t с односторонним продольным движением подачи $S_{пр}$; поперечное движение подачи отсутствует (рисунок 36.1 б).

Врезное шлифование осуществляют по всей ступени заготовки с непрерывным поперечным движением подачи круга (рисунок 36.1 в).

Аналогично наружному шлифованию осуществляют внутреннее шлифование: продольное (рисунок 36.1 г).

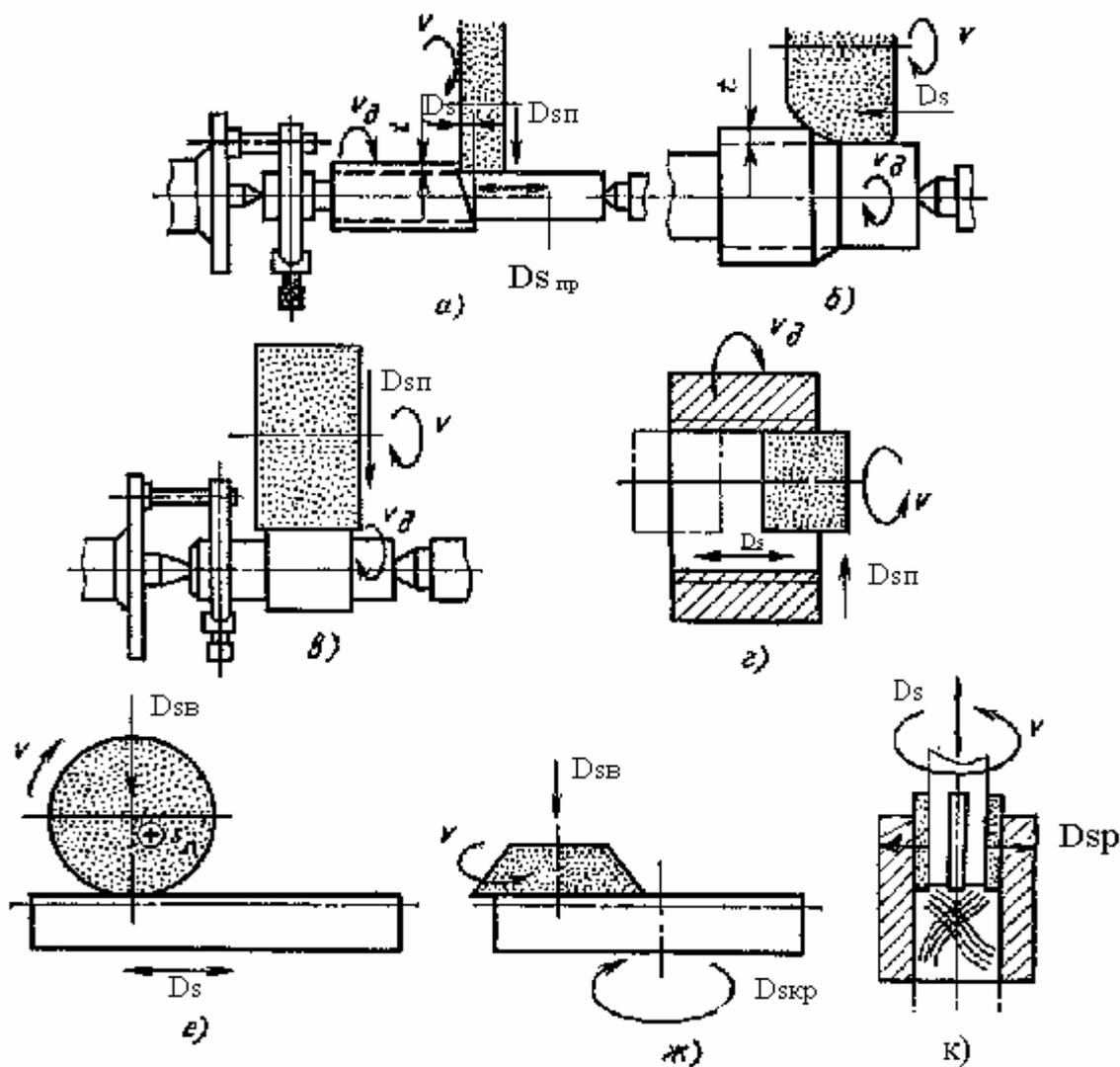
При плоском шлифовании деталь получает возвратно-поступательное движение подачи S , шлифовальный круг — периодическое поперечное движение подачи $S_{п}$ и после съема припуска по всей длине детали, периодическое вертикальное перемещение S_v на глубину t припуска (рисунок 36.1 е). Плоскошлифовальные станки с круглым столом имеют круговую подачу S_k детали и периодическую вертикальную подачу S_v круга.

На специальных торцошлифовальных станках применяют глубинный метод шлифования. Торцовые круги устанавливают с двух сторон детали на глубину припуска, а детали-кольца получают непрерывное движение подачи S по направляющим линейкам (рисунок 36.1 и). По мере увеличения размера по ширине детали круги правят и периодически сближают в направлении S_y . При хонинговании отверстий в неподвижных деталях (рисунок 36.1 к) абразивные бруски получают возвратно-поступательное движение со скоростью v_s , а деталь - вращение со скоростью v_d . Бруски поджимают к детали с постоянной силой. Соизмерность скоростей обеспечивает перекрёстную сетку траекторий абразивных зёрен. Съём припуска осуществляется за счёт принудительного раздвижения брусков в радиальном направлении S_p .

Абразивную обработку, при которой инструмент и заготовка совершают вращательное, возвратно-поступательное, осциллирующее или другое сложное движение со скоростями одного и того же порядка, называют доводкой. Основными видами доводки являются притирка, хонингование, суперфиниширование.

Абразивную обработку, служащую только для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности, называют полированием. Шлифование рабочей части лезвийного режущего инструмента называют затачиванием.

Отделочные виды абразивной обработки характеризуются соизмеримостью скоростей вращательного и поступательного движений инструмента и детали.



- а) наружное круглое, б) шаговое, в) врезное, г) внутреннее напроход,
- е) плоское шлифование периферией, ж) торцом круга, к) хонингование

Рисунок 36.1 - Виды шлифования

36.2.4 Режимы резания при шлифовании

Элементами резания при плоском шлифовании являются скорость резания, подача и глубина резания.

Скорость резания v , м/с, равна окружной скорости периферии шлифовального круга

$$v = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_k}{1000 \cdot 60},$$

где n_k – частота вращения круга, мин^{-1} ;

D_k – наружный диаметр круга, мм.

При плоском шлифовании назначают продольную подачу $D_{\text{спр}}$, м/с, поперечную подачу $D_{\text{сп}}$, мм/ход стола, вертикальное движение подачи или движение подачи на глубину D_s , мм.

Продольная и поперечная подачи осуществляются перемещением обрабатываемой детали относительно круга, подача на глубину – перемещением круга в момент реверсирования поперечной подачи.

Глубина резания, мм, – толщина снимаемого слоя металла за один проход шлифовального круга. Глубина резания при плоском шлифовании совпадает с величиной подачи на глубину.

Оптимальные режимы резания выбирают по справочной литературе.

36.2.5 Плоскошлифовальный станок модели 3Г71

Имеет прямоугольный стол и горизонтальный шпиндель, предназначенный для чернового и чистового шлифования плоскостей периферией круга.

Основные механизмы плоскошлифовального станка: привод вращения шлифовального круга, представляющий собой электродвигатель, расположенный соосно со шпинделем круга, привод продольной, поперечной и вертикальной подач.

Продольное перемещение станка осуществляется гидравлическим приводом, шток которого соединен непосредственно со столом. Скорость продольного перемещения имеет бесступенчатое регулирование.

От гидропривода выполняются также прерывистые движения поперечной подачи и подачи на глубину.

Техническая характеристика станка 3Г71:

- частота вращения шлифовального круга, мин^{-1} - 2700
- диаметр шлифовального круга, мм - 250
- ширина шлифовального круга, мм - 25
- скорость перемещения (продольного) стола,
м/с (м/мин) - 0,083 - 0,33 (5 - 20)
- поперечная подача за каждый ход стола, мм - 0,2 - 4
- предел вертикальной подачи шлифовального круга, мм:
ручная - 0,01
- рабочая поверхность стола, мм - 630x200

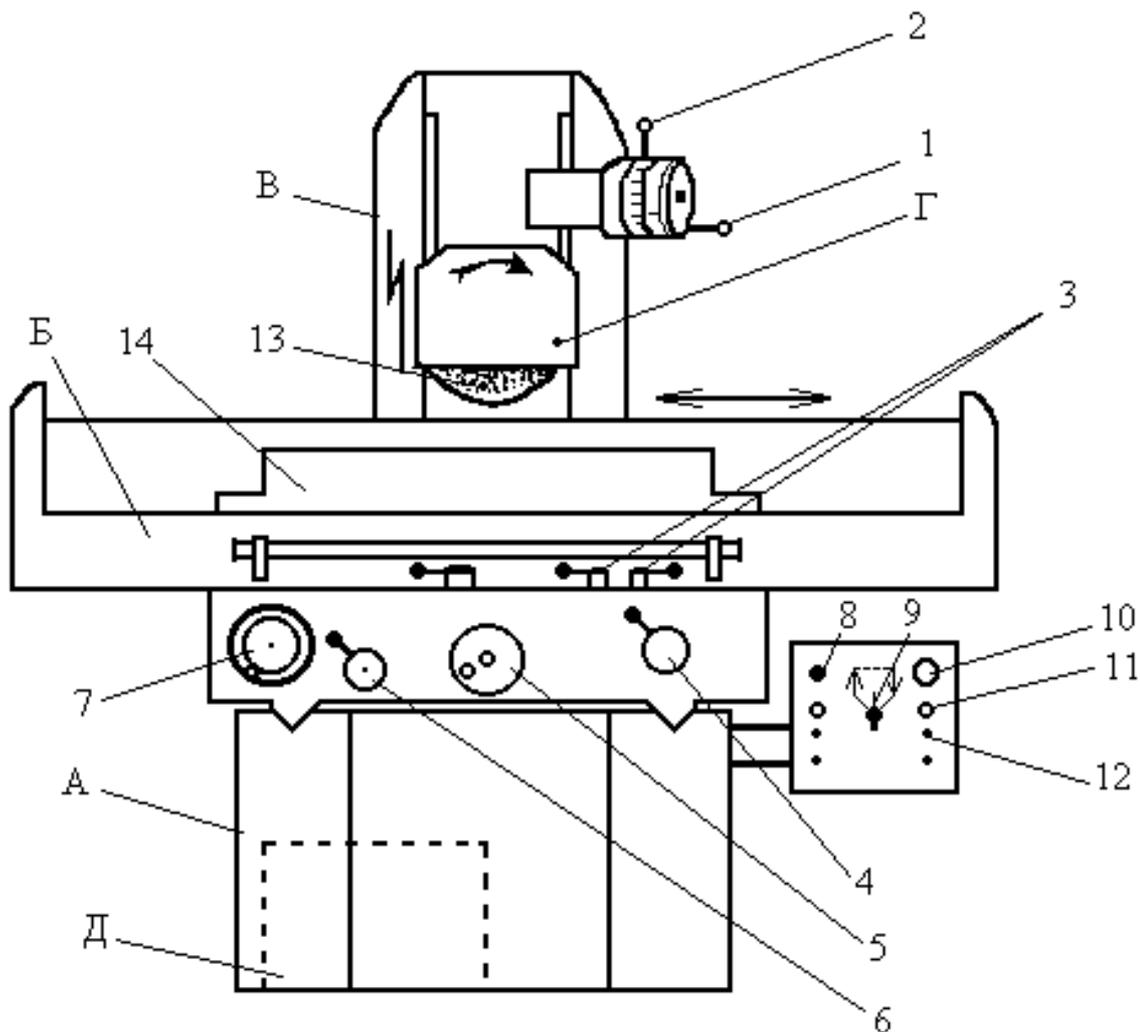


Рисунок 36.2 – Плоскошлифовальный станок мод. 3Г71

Основные узлы станка: станина А; стол Б; стойка В; шлифовальная бабка Г; гидроагрегат Д (рисунок 36.2).

Органы управления станка:

- 1 - маховичок ручного перемещения шлифовальной бабки;
- 2 - рукоятка настройки подачи на глубину;
- 3 - рукоятка включения и настройки перемещения стола;
- 4 - рукоятка включения и реверсирования движения стола в поперечном направлении;
- 5 - маховичок ручного перемещения стола;
- 6 - рукоятка настройки поперечной подачи стола;
- 7 - маховичок ручного продольного перемещения стола;
- 8 - кнопка включения гидроагрегата;
- 9 - рукоятка быстрого вертикального перемещения шлифовальной бабки;
- 10 - кнопка «стоп»;

11 - кнопка включения круга;

12 - кнопка включения магнитной плиты.

Шлифовальный круг 13 закрепляют на конце шпинделя шлифовальной бабки. Заготовку в зависимости от формы и размеров можно закрепить непосредственно на столе станка, либо на магнитной плите 14.

36.3 Порядок выполнения работы

36.3.1 Пользуясь настоящим руководством, ознакомьтесь с различными видами шлифования, абразивным инструментом и элементами резания при шлифовании на нем.

36.3.2 Изучите устройство плоскошлифовального станка 3Г71 и основные движения при шлифовании на нем.

36.3.3 Определите режимы резания при шлифовании горизонтальной поверхности бруска из закаленной стали в соответствии с индивидуальным заданием и технической характеристикой станка.

36.3.4 Определите длину поперечного перемещения круга относительно детали

$$\lambda = (B + b + \lambda_1 + \lambda_2),$$

где λ_1 и λ_2 - величины недобега и перебега шлифовального круга.

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 3 - 5 \text{ мм};$$

B - ширина шлифуемой поверхности;

b - ширина шлифовального круга, мм.

36.3.5 Установите скорость продольной подачи S_d . Обычно при шлифовании $S_d = 6 - 25$ м/мин. Для рассматриваемого случая можно принять $S_d = 6,3$ м/мин.

36.3.6 Пользуясь справочными таблицами 36.1, 36.2, 36.3 выберите марку шлифовального круга, величину поперечной подачи $D_{сп}$ и подачу на глубину D_s .

36.3.7 Определите число ходов стола n_d : $n_d = \frac{\lambda}{D_s}$

Округлите значение n_d до большего целого числа.

36.3.8 Определите длину хода стола: $L_{х.ст} = L + 20$

36.3.9 Определите основное время

$$T_0 = \frac{n_d \cdot L_{х.ст} \cdot h}{1000 \cdot D_{сп} \cdot D_s}.$$

36.3.10 Установите стальную заготовку на магнитную плиту станка. Настройте станок на шлифованные плоскости. Под руководством учебного

мастера выполните шлифование заготовки согласно индивидуальному заданию. Соблюдайте при этом правила техники безопасности.

| Индивидуальные задания | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| № варианта | твёрдость стали HRC | припуск, h, мм | параметр шероховатости, Ra | Размеры детали, мм | |
| | | | | длина, L | ширина, B |
| 1 | 28 - 30 | 0,25 | 0,4 | 80 | 60 |
| 2 | 35 - 38 | 0,3 | 0,2 | 260 | 45 |
| 3 | 52 - 55 | 0,2 | 0,2 | 70 | 35 |
| 4 | 25 - 28 | 0,35 | 0,8 | 300 | 100 |
| 5 | 32 - 35 | 0,3 | 0,4 | 250 | 100 |
| 6 | 45 - 48 | 0,25 | 0,2 | 115 | 55 |
| 7 | 62 - 64 | 0,15 | 0,2 | 75 | 30 |
| 8 | 48 - 50 | 0,25 | 0,8 | 95 | 75 |
| 9 | 44 - 47 | 0,3 | 0,4 | 120 | 45 |
| 10 | 26 - 29 | 0,4 | 0,8 | 180 | 100 |
| 11 | 53 - 56 | 0,2 | 0,2 | 90 | 50 |
| 12 | 62 - 64 | 0,2 | 0,2 | 125 | 65 |
| 13 | 28 - 30 | 0,4 | 1,6 | 400 | 150 |
| 14 | 32 - 35 | 0,35 | 0,4 | 320 | 130 |

36.3.11 По результатам выполненной работы заполните таблицы.

| № варианта | Твердость материала заготовки, HRC | Припуск, h, мм | Параметр шероховатости, Ra | Размеры детали | |
|------------|------------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-------|
| | | | | L, мм | B, мм |
| | | | | | |

| Вид и условия шлифования | Модель станка | Маркировка круга | Режим резания | | | | T ₀ , мин |
|--------------------------|---------------|------------------|---------------|--------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | | | v, м/с | D _{спр} , м/мин | D _{сп} , мм | D _s , мм | |
| | | | | | | | |

36.4 Рекомендации по выбору режимов шлифования плоскостей из закалённой стали периферией круга

Таблица 36.1 - Выбор шлифовального круга

| Параметр шероховатости, R_a , мкм | Марка шлифовального круга | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
| | HRC < 30 | HRC 30 - 50 | HRC > 50 |
| 1,6 | 14A40CM27K | 14A40CM17K | 14A40M37K |
| 0,8 | 14A25CM16K | 14A25CM26K | 24A25CM17K |
| 0,4 | 14A16C16K | 14A16CM26K | 24A20CM17K |
| 0,2 | 14A16C16K | 14A16CM26K | 24A16CM16K |

Таблица 36.2 - Поперечная подача $D_{спр}$, мм/ход

| Параметр шероховатости, R_a , мкм | Ширина шлифовального круга, мм | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 1,6 | 2,5 | 3,2 | 6,0 | 9,0 |
| 0,8 | 1,8 | 2,5 | 4,0 | 6,0 |
| 0,4 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 4,0 |
| 0,2 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,5 |

Таблица 36.3 - Подача на глубину $D_{сп}$, мм/ход

| Скорость заготовки, S_d , м/мин, не более: | Поперечная подача, $D_{сп}$, мм/ход, не более: | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|
| | 0,8 | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 6,0 |
| 5 | 0,006 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 |
| 6,3 | 0,0055 | 0,005 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 |
| 8 | 0,005 | 0,0045 | 0,0045 | 0,004 | 0,0035 |
| 12,5 | 0,004 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| 16 | 0,0035 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | - |
| 20 | 0,003 | 0,0025 | 0,002 | - | - |

36.5 Содержание отчёта

36.5.1 Схемы различных видов шлифования с указанием движений резания.

36.5.2 Перечень основных частей шлифовального станка модели ЗГ71.

36.5.3 Расчет режимов резания и основного времени в соответствии с индивидуальным заданием.

36.5.4 Таблица результатов.

36.6 Контрольные вопросы

36.6.1 Какие виды шлифования вы знаете?

36.6.2 Укажите движения резания при различных видах шлифования.

36.6.3 Какие режимы резания определяются при шлифовании на шлифовальном станке?

36.6.4 Укажите основные узлы плоскошлифовального станка модели ЗГ71.

36.6.5 Какие характеристики включают в себя маркировка шлифовального круга?

37 Лабораторная работа № 37

Устройство и назначение фрезерных станков, обработка заготовок

37.1 Цель работы

37.1.1 Изучить устройство и назначение фрезерного станка, определения элементов режимов резания при фрезеровании.

37.1.2 Ознакомиться с технологией обработки заготовок фрезерованием и видами фрез.

37.2 Общие сведения

37.2.1 Сущность процесса фрезерования

Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов обработки металлов резанием.

Этот процесс обеспечивает точность обработки в пределах 8-10 классов точности и шероховатость поверхности $Ra = 10-1,25$ мкм.

По технологическому признаку различают фрезы для обработки плоскостей, пазов, шлицев, фасонных поверхностей и др. (рисунок 37.1).

По конструктивным признакам фрезы подразделяют:

1) по расположению зубьев (торцовые, цилиндрические, дисковые, двусторонние, угловые, фасонные, концевые и др.);

2) по конструкции зуба;

3) по направлению зуба;

4) по конструкции фрезы;

5) по способу крепления;

6) по виду инструментального материала.

Основные типы фрез и схемы фрезерования показаны на рисунке 37.1.

Каждый зуб фрезы является простейшим инструментом – резцом.

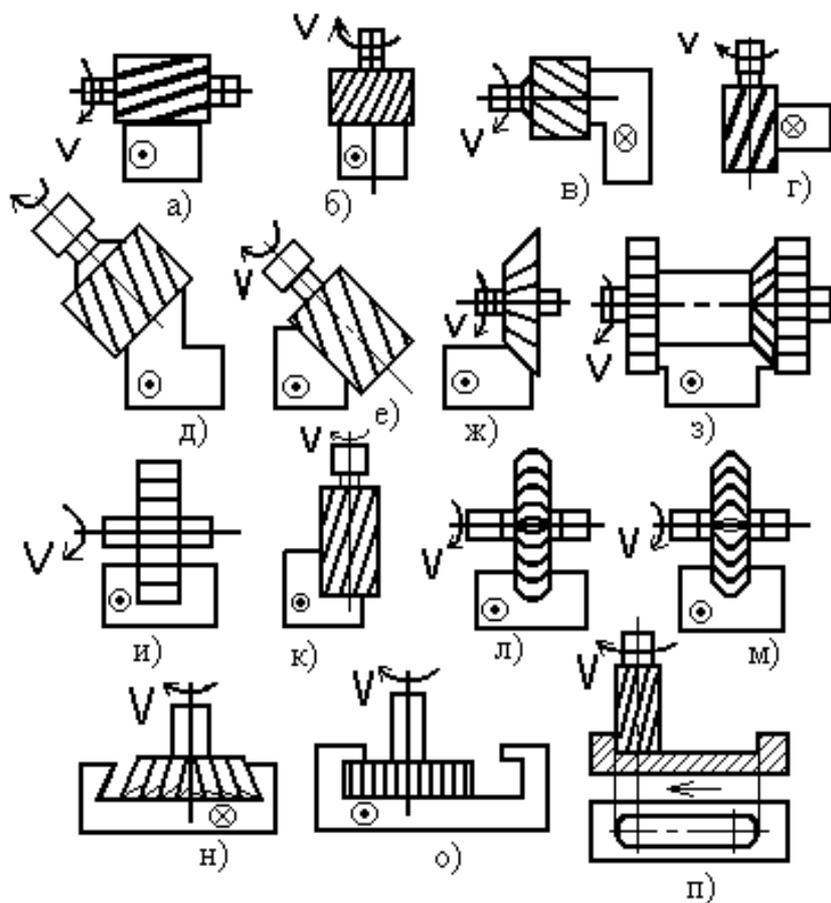
Для закрепления фрезы используют оправки. В единичном и мелкосерийном производстве для закрепления различных заготовок применяют универсальные приспособления (машинные тиски, прижимные планки и т.д.), а в серийном и массовом – специальные приспособления.

37.2.2 Классификация фрезерных станков

Фрезерные станки в единой системе классификации станков составляют шестую группу, поэтому обозначение (шифр) любого фрезерного станка начинается с цифры 6. Различают две основные группы фрезерных станков:

1) общего назначения или универсальные (вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, продольно-фрезерные);

2) специализированные (шлицефрезерные, шпоночно-фрезерные, карусель-



а – обработка горизонтальных плоскостей цилиндрическими (а) и торцевыми фрезами (б); (в, г, д) – обработка уступов пазов – дисковые отрезные и прорезные; (е, ж) – формирование уступов пазов, плоскостей - концевые фрезы; з – обработка канавок углового профиля – угловые фрезы; и, к) – обработка уступов и пазов; л, м - обработка фасонных поверхностей; н, о – обработка пазов типа «ласточкин хвост» и «Т-образные»; п – обработка шпоночных пазов фасонными фрезами на горизонтально или вертикально фрезерных станках

Рисунок 37.1- Основные типы фрез и фрезерования

но-фрезерные, копировально-фрезерные, резьбофрезерные и др.).

По конструктивным особенностям эти станки подразделяются на консольные (стол расположен на подъёмном кронштейне – консоли), бесконсольные (стол перемещается на неподвижной станине в продольном и поперечном направлениях) и непрерывного действия (карусельные и барабанные).

В единичном, мелко- и среднесерийном производстве наиболее распространены консольные фрезерные станки. Универсальный консольный горизонтально-фрезерный станок имеет горизонтальный шпиндель, выдвижной хобот, на который устанавливают фрезу, поддерживающую оправку с фрезой. Консоль перемещается по направляющей стойке. На консоли расположены салазки и стол.

Наиболее распространенными типами фрезерных станков являются консольные универсальные горизонтально-, вертикально-фрезерные. На фрезерных станках можно обрабатывать наружные и внутренние поверхности различной конфигурации, прорезать прямые и винтовые канавки, нарезать наружные и внутренние резьбы, обрабатывать зубчатые колеса и т.п.

Для фрезерных станков характерны исполнительные движения фрезерования, состоящие из непрерывного вращательного движения инструмента, определяющего скорость резания, и прямолинейного, кругового или винтового движения подачи. При этом движение подачи сообщается заготовке, режет инструменту.

37.2.3 Виды фрезерования

При цилиндрическом фрезеровании ось фрезы параллельна обрабатываемой поверхности; работа осуществляется зубьями, расположенной на цилиндрической поверхности фрезы. При торцовом фрезеровании ось фрезы перпендикулярна к обработанной поверхности; в работе участвуют зубья, расположенные как на торцовой, так и на цилиндрической поверхности фрезы.

Существуют 2 способа фрезерования: встречное фрезерование, попутное фрезерование (рисунок 37.2).

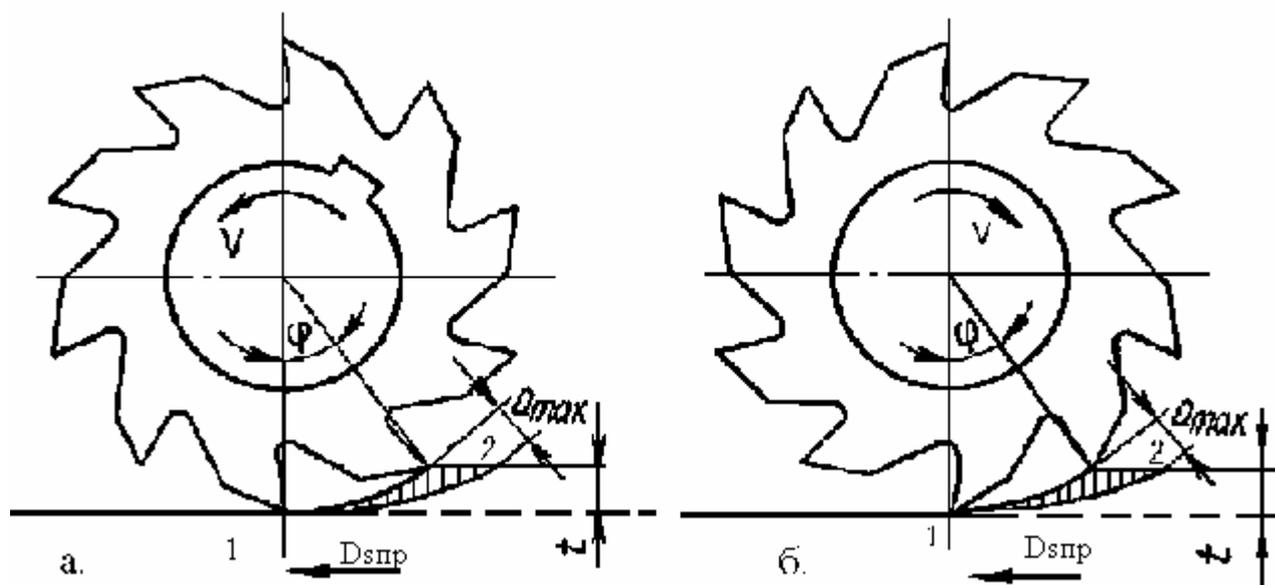


Рисунок 37.2- Схемы встречного (а) и попутного (б) фрезерования

Встречное фрезерование, когда направление подачи $S_{пр}$ заготовки противоположно вращению фрезы. Резание зубцом начинается в точке 1 при толщине срезаемого слоя $a = 0$ и заканчивается в точке 2 с наибольшей толщиной срезаемого слоя a_{max} .

Попутное фрезерование, когда направление подачи совпадает с направлением вращения фрезы. Резание зубцом начинается в точке 2 с наибольшей толщиной срезаемого слоя a_{max} и заканчивается в точке 1 с нулевой толщиной ($a = 0$) срезаемого слоя.

37.2.4 Горизонтально-фрезерный станок мод. 6P82Ш

Горизонтально-фрезерный станок 6P82Ш предназначен для выполнения разнообразных фрезерных работ: фрезерования пазов, плоскостей, зубьев колес методом копирования, фасонных поверхностей, винтовых канавок и др.

Техническая характеристика станка:

| | |
|---|------------------|
| пределы чисел оборотов шпинделя об/мин | - 31,5 до 1600; |
| число скоростей | - 18; |
| пределы продольной подачи стола, мм/мин | - от 25 до 1250; |
| наибольший ход стола, мм: | |
| продольный | - 800 |
| поперечный | - 240 |
| вертикальный | - 360 |
| - мощность электродвигателя шпинделя, кВт | - 7 |

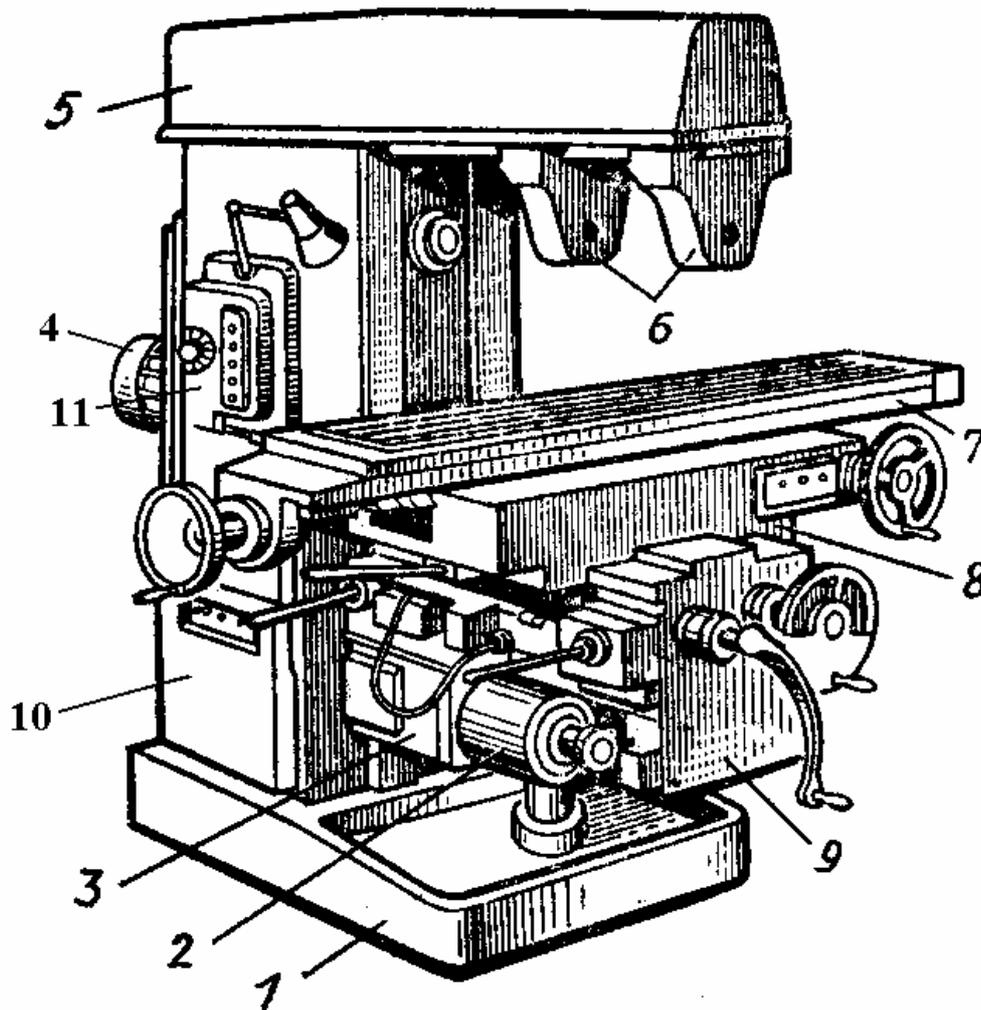
На рисунке 37.3 представлен горизонтально-фрезерный станок мод. 6P82Ш. Станина 1 предназначена для крепления и размещения всех узлов и механизмов станка. В ней смонтированы: электродвигатель главного движения, коробка скоростей, шпиндель. Коробка скоростей служит для передачи вращения от электродвигателя к шпинделю и для изменения чисел оборотов его. Хобот, на котором располагается подвеска, используется для создания дополнительной фрезерной оправки. Консоль, несущая поперечные салазки, поворотную часть стола и стол, может вертикально перемещаться по направляющим станины.

С целью увеличения жесткости узла консоли ее соединяют с хоботом 5, планками. В станине 1 расположен резервуар с охлаждающей жидкостью.

Кинематическая схема горизонтально-фрезерного станка мод. 6P82Ш показана на рисунке 37.4.

Станок имеет три вида движения: главное – вращательное движение шпинделя с фрезой; движение подачи – перемещение стола с закрепленной на нем заготовкой в продольном, поперечном и вертикальном направлениях; вспомогательное движение – ускоренное перемещение стола в тех же направ-

лениях. Главное движение и движение подачи имеют отдельный привод, т.е. самостоятельные электродвигатели.



1 – станина, 2 – механизм переключения, 3 – коробка подач, 4 – электродвигатель, 5 – хобот, 6 – кронштейны дополнительной опоры шпиндельной оправки (подвижный и неподвижный), 7 – стол, 8 – салазки, 9 – консоль, 10 – шкаф для электрооборудования, 11 – коробка скоростей

Рисунок 37.3- Широкоуниверсальный консольный горизонтально-фрезерный станок мод. 6P82Ш

Механизм главного движения (шестеренная коробка скоростей) предназначен для сообщения шпинделю необходимой частоты вращения. Шпиндель станка получает движение от электродвигателя M_1 ($n = 1460$ об/мин) через упругую муфту 1 и шестеренчатую коробку скоростей с помощью трех передвигных блоков зубчатых колес ($z = 19-22-32$; $z = 37-46-26$; $z = 19-82$). Коробкой скоростей шпинделю сообщается 18 различных частот вращений. Частота вращения шпинделя (согласно схеме) определяется по уравнению

и вертикальная. Различают три вида подачи: подача на один зуб фрезы – S_z , мм/зуб; подача на один оборот фрезы – S_0 , мм/об; минутная подача S_m , мм/с, или скорость подачи.

Между ними существует соотношение $S_m = S_0 \cdot n = S_z \cdot z \cdot n$, где z – число зубьев фрезы.

Глубиной резания t , мм, называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно подаче. Ширина фрезеруемой поверхности, B , мм – ширина обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси фрезы.

37.2.5 Пример обработки заготовки валика на фрезерном станке (рисунок 37.5)

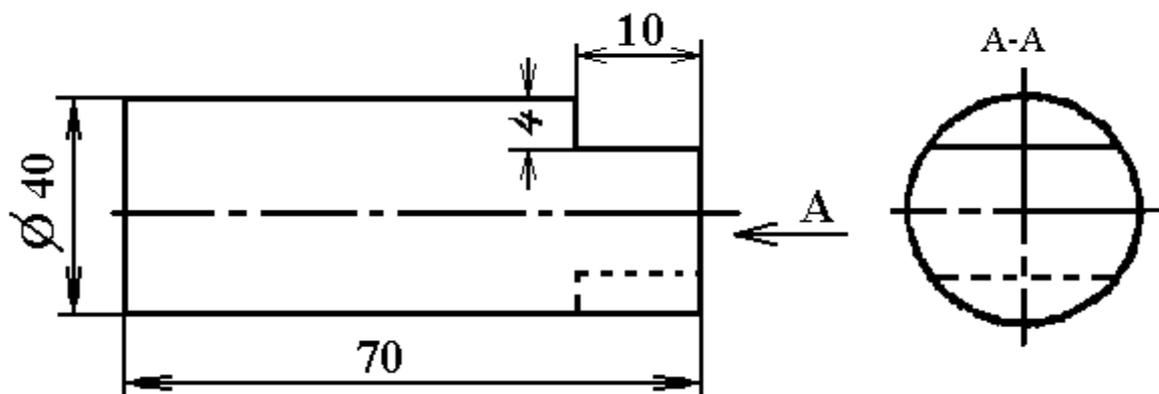


Рисунок 37.5- Эскиз обработки заготовки на фрезерном станке

Пример расчета режимов резания при фрезеровании:

Исходные данные:

Заготовка – валик цилиндрический из стали 45, $\varnothing = 40$ мм, $L = 70$ мм.

Операция – фрезерование лыски на валике.

Инструмент – фреза дисковая трехсторонняя с равнонаправленными зубьями.

$D = 110$ мм, $B = 20$ мм, $z = 12$. Материал Р6М5 (Р18).

Пример: Общий припуск на обработку 8 мм на обе стороны. Глубина резания $t = 4$ мм. Руководствуясь нормативными данными, принимаем подачу для симметрично установленной фрезы $S_z = 0,1$ мм/зуб, скорость резания $v_c = 0,66$ м/с (40 м/мин). Тогда n – частота вращения фрезы

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 110} = 115 \text{ об/мин}$$

$$S_m = S_z \cdot Z \cdot n = 0,1 \cdot 12 \cdot 112 = 134 \text{ мм/мин}$$

Выбранные режимы корректируются по паспортным данным станка.

37.3 Порядок выполнения работы

37.3.1 Ознакомиться с описанием лабораторной работы.

37.3.2 Ознакомиться с устройством, техническими данными, принципом действия, режимом работы горизонтально-фрезерного станка 6Р82Ш.

37.3.3 По структурной формуле составить и рассчитать уравнение кинематической цепи, по которой передается движение заготовке при настройке станка.

37.3.4 Назначить режимы фрезерования.

37.3.5 Измерить размеры валика до и после фрезерования.

37.4 Содержание отчёта

37.4.1 Схематически зарисуйте и опишите процесс фрезерования.

37.4.2 Запишите основные узлы горизонтально-фрезерного станка 6Р82Ш и их назначение.

37.4.3 Запишите справочные режимы резания при фрезеровании заготовки.

37.4.4 Зарисуйте эскиз детали с размерами до и после фрезерования.

37.5 Контрольные вопросы

37.5.1 Какие типы фрезерных станков вы знаете?

37.5.2 Служебное назначение горизонтально-фрезерного станка 6Р82Ш.

37.5.3 Виды работ, выполняемых на фрезерных станках.

37.5.4 Что включает в себя кинематическая схема горизонтально-фрезерного станка 6Р82Ш?

37.5.5 Определить число оборотов шпинделя и минутную вертикальную подачу станка при зацеплении колес, показанном на схеме?

37.5.6 Назовите основные типы фрез и область их применения.

37.5.7 В каких случаях удобнее использовать горизонтально-фрезерные станки, а в каких вертикально-фрезерные?

37.5.8 Какими способами можно получить фасонные поверхности деталей на фрезерных станках?

37.5.9 Назначение основных узлов фрезерного станка.

37.5.10 Какие виды подач различают при фрезеровании?

Список использованных источников

Материаловедение

1. Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. - 3 изд., переработ. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 648 с.
2. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. - М.: Высш. шк., 2001. - 640 с.
3. Масленков С. Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справочник, В 2-х кн. Кн. 2.-М: Металлургия, 1991. - 832 с.
4. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
5. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990. - 526 с.
6. Конструкционные материалы: Справочник. /Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. - М: Машиностроение, 1990. -688 с.
7. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: Учебное пособие для вузов. /Под ред. А.Г. Рахштадта. - М.: Металлургия, 1989. - 454 с.
8. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1985. - 542с.

Технологические процессы машиностроительного производства и технология конструкционных материалов

1. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.; Под общ. ред А.М.Дальского.-2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985.- 448с.
2. Технология металлов и материаловедение. /Б.В.Кнорозов, А.Ф.Усова, А.В.Третьяков и др. - М.:Металлургия, 1987. - 800 стр.
3. Технология металлов и сварка / П.И.Полухин, Б.Г.Гринберг, В.Т.Ждан и др: Учебник для вузов / Под общ. ред. П.И.Полухина. - М.: Машиностроение, 1984. - 464 с.
4. Технология конструкционных материалов. В 2-х частях / С.И. Богодухов, В.А. Бондаренко и др. Учебное пособие с грифом УМО. - Оренбург: 1991. - 352 с.
5. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела: Учебник для техникумов.- М.: Высш. школа, 1991. - 239 с.
6. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1990. - 352 с.
7. Малышев В.Д., Мельник В.И. и др. Ручная дуговая сварка. - М.: Стройиздат, 1990. - 320 с.

8. Гайнулин Р.Т. Справочник сварщика-монтажника. - Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1990. - 187 с.
9. Технология металлов / Под ред. Л.Ф. Усовой. - М.: Металлургия. 1987. - с.491-496.
10. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. Д.М. Каршиноса.-Киев: Наукова думка, 1985.- 592с.