

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ИНЖЕНЕРНЫХ ЗНАНИЙ

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки

03.03.02 – Физика

Благовещенск 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
Университета*

Составитель: Нецименко В.В.

Основы материаловедения и инженерных знаний: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

Рассмотрен на заседании кафедры физики 05.06.2017, протокол № 11.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© Нецименко В.В. составление

ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Основы материаловедения и инженерных знаний» является формирование у студентов в рамках компетентного подхода навыков подбора конструкционных материалов в области инженерных изысканий, которые характеризуются широчайшим многообразием как традиционных, так и новых технологических процессов получения и обработки заготовок.

Основными задачами дисциплины является формирование у студентов инженерного мышления необходимого для решения практических задач, связанных с технологическими особенностями процессов получения и обработки материалов; применение современных технологий технического обслуживания, ремонта и восстановления деталей машин для обеспечения постоянной работоспособности; знание теории и практики различных способов упрочнения материалов; ознакомление с основными группами металлических и неметаллических материалов, их свойствами и областями применения; знание принципов устройства типового оборудования, инструментов и приспособлений; технико-экономических и экологических характеристик технологических процессов и оборудования, а также областей их применения.

Для формирования умений и навыков в учебной программе дисциплины предусмотрены лекции, практические и лабораторные работы, а также самостоятельная работа студентов, роль которой в настоящее время в системе высшего образования значительно возросла и является формой самообразования.

В процессе обучения происходит закрепление и систематизация знаний, углубление теоретических знаний, развитие умений работать с различными источниками информации и как результат – освоения основных компетенций.

1 КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции

В высшем учебном заведении лекция является важной формой учебного процесса и представляет собой в основном устное систематическое и последовательное изложение материала по какой-либо проблеме, методу, теме вопроса и т. д.

Основные функций, которые осуществляет вузовская лекция – это информативная, ориентирующая и стимулирующая, методологическая, развивающая и воспитывающая, поскольку на лекции студенты получают глубокие и разносторонние знания, развивают свои творческие способности.

Лекции могут быть вводными, обзорными, тематическими (лекции по изучению нового материала), итоговыми.

Вводные лекции готовят студента к восприятию данной дисциплины (физики) или ее раздела. На вводной лекции излагаются цели и задачи дисциплины, ее актуальность, практическая значимость, методы научного исследования и т.д. для того, чтобы дать целостное представление о дисциплине и вызывать интерес к предмету.

Тематические лекции посвящены глубоко осмысленному и методически подготовленному систематическому изложению содержания курса (дисциплины).

Итоговая лекция содержит основные идеи и выводы по курсу, выводы о достижении поставленных учебных целей.

На обзорных лекциях рассматриваются наиболее сложные, проблемные вопросы курса или новейшие достижения в данной области, что позволит установить взаимосвязь учебного материала с производством и новейшими научными достижениями.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. На лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. И как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после воспри-

ятия будет забыта. Поэтому при изучении дисциплины студентам рекомендуется составлять подробный конспект лекций, так как это обеспечивает полноценную систематизацию и структурирование материала, подлежащего изучению. Конспект лекций должен отражать специфику данного курса, которая состоит в обобщении физической теории, рассматривающей процессы обмена энергией в макроскопических системах, на случай сложных, полифункциональных систем.

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Не нужно просить лектора несколько раз повторять одну и ту же фразу для того, чтобы успеть записать. Лекция не должна превращаться в своеобразный урок-диктант. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения.

Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов.

Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание ко-

роткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками. Используйте общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

1.2 Краткое содержание курса лекций

ТЕМА 1. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1.1 Материаловедение как отрасль науки

Материаловедение – наука о связях между составом, строением и свойствами материалов (твердых тел) и закономерностях их изменений при внешних физико-химических воздействиях.

К изучаемым свойствам относятся: структура веществ, электронные, термические, химические, магнитные, оптические свойства этих веществ. Материаловедение

можно отнести к тем разделам физики и химии, которые занимаются изучением свойств материалов.

Направления в материаловедении: металловедение; керамика и стекла; композиционные материалы; полимерные материалы; полупроводниковые материалы; космическое материаловедение; наноматериалы; биоматериалы.

1.2 Факторы, влияющие на физические свойства материала

По химической основе материалы делятся на:

1) металлические материалы, к которым относятся металлы и их сплавы, разделяющиеся на черные (на основе Fe) и цветные. Металлы составляют более 2/3 всех известных химических элементов.

2) неметаллические материалы, к которым относят полимерные материалы, композиционные материалы, резины, клеи, герметики, лакокрасочные покрытия, стекло, керамика.

По ширине запрещенной зоны:

1) Диэлектрики - вещество с шириной запрещенной зоны больше 3 эВ.

2) Полупроводники - с шириной запрещенной зоны порядка 1 эВ.

3) Металлы - запрещенная зона отсутствует.

Основные факторы, влияющие на физические свойства материала:

1. Наличие или отсутствие упорядочения в расположении атомов (кристаллические или аморфные тела);

2. Тип кристаллической структуры для кристаллов или наличие ближнего порядка (для аморфных тел);

3. Точечные или линейные дефекты в твердом теле (вакансии, дислокации и т.д.);

4. Макродефекты (поры, границы зерен);

5. Макрокристаллическая структура (монокристалл, поликристалл, текстурированный материал);

6. Фазовый состав:

- фазовый состав (однофазный или многофазный);
- тип фаз, входящих в состав материала;

- факторы, определяющие стабильность фаз (электронный или размерный).

Фазой называется часть системы, ограниченная замкнутой поверхностью, обладающая определенным набором физических и химических свойств и отличающаяся хотя бы по одному из этих параметров от свойств системы вне замкнутой поверхности.

7. электронно-зонные характеристики:

- Тип межатомной связи (ионная, ковалентная, металлическая, Ван-дер-ваальсова, водородная);
- Характер заполнения верхних электронных зон твердого тела (пустая или частично заполненная зона проводимости, величина ширины запрещенной зоны, наличие и расположения электронных уровней или дефектов в запрещенной зоне);
- Наличие перекрытия электронных зон в твердом теле.

Ковалентная связь – наиболее общий вид химической связи, возникающий за счет обобществления электронной пары посредством обменного механизма, когда каждый из взаимодействующих атомов поставляет по одному электрону, или по донорно-акцепторному механизму, если электронная пара передается в общее пользование одним атомом (донором) другому атому (акцептору).

Ионная связь – частный случай ковалентной, когда образовавшаяся электронная пара полностью принадлежит более электроотрицательному атому, становящемуся анионом. Основой для выделения этой связи в отдельный тип служит то обстоятельство, что соединения с такой связью можно описывать в электростатическом приближении, считая ионную связь обусловленной притяжением положительных и отрицательных ионов.

Металлическая связь возникает в результате частичной делокализации валентных электронов, которые достаточно свободно движутся в решетке металлов, электростатически взаимодействуя с положительно заряженными ионами. Силы связи не локализованы и не направлены, а делокализованные электроны обуславливают высокую тепло- и электропроводность.

Водородная связь – обусловлена тем, что в результате сильного смещения электронной пары к электроотрицательному атому атом водорода, обладающий эффективным положительным зарядом, может взаимодействовать с другим электроотрицательным атомом (F, O, N, реже Cl, Br, S).

Ван-дер-ваальсова (межмолекулярная) связь – наиболее универсальный вид межмолекулярной связи, обусловлен дисперсионными силами, индукционным взаимодействием и ориентационным взаимодействием.

1.3 Особенности атомно-кристаллического строения твердых тел

Твёрдое тело – это одно из четырёх агрегатных состояний вещества, отличающееся от других агрегатных состояний (жидкости, газов, плазмы) стабильностью формы и характером теплового движения атомов, совершающих малые колебания около положений равновесия.

Твёрдые тела могут быть в кристаллическом и аморфном состоянии. Кристаллы характеризуются пространственной периодичностью в расположении равновесных положений атомов, которая достигается наличием дальнего порядка и носит название кристаллической решётки. Естественная форма кристаллов – правильные многогранники.

В аморфных телах атомы колеблются вокруг хаотически расположенных точек, у них отсутствует дальний порядок, но сохраняется ближний, при котором молекулы расположены согласованно на расстоянии, сравнимом с их размерами.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. **Элементарная ячейка** – элемент объёма из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Основными параметрами кристаллической ячейки являются:

- размеры рёбер элементарной ячейки. a , b , c – периоды решётки – расстояния между центрами ближайших атомов.
- углы между осями (α , β , γ).
- координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.

- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.
- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары.

В зависимости от пространственной симметрии, все кристаллические решётки подразделяются на семь кристаллических систем. По форме элементарной ячейки они могут быть разбиты на шесть сингоний. **Сингония** – классификация кристаллографических групп симметрии, кристаллов и кристаллических решёток в зависимости от системы координат.

Помимо основных трансляций, на которых строится элементарная ячейка, в кристаллической решётке могут присутствовать дополнительные трансляции, называемые решётками Браве. В трёхмерных решётках бывают гранецентрированная (F), объёмноцентрированная (I), базоцентрированная (A, B или C), примитивная (P) и ромбоэдрическая (R) решётки Браве.

1.4 Понятие об изотропии и анизотропии. Особенности металлов, как тел имеющих кристаллическое строение

Геометрическая правильность расположения атомов в кристаллических решётках придаёт металлам особенности, которых нет у аморфных тел.

1. Первой особенностью металлов является анизотропия свойств кристаллов, т. е. различие свойств кристаллов в разных направлениях.

2. Второй особенностью металлов как тел кристаллического строения является наличие у них плоскостей скольжения (спайности). По этим плоскостям происходит сдвиг или отрыв (разрушение) частиц кристаллов под действием внешних усилий.

3. Третьей особенностью является то, что процесс перехода их из твёрдого состояния в жидкое и наоборот происходит при определённой температуре, называемой температурой плавления (затвердевания). Аморфные тела переходят в жидкое состояние постепенно.

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле. Плоскость, про-

ходящая через узлы кристаллической решетки, называется **кристаллографической плоскостью**. Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется **кристаллографическим направлением**.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются **индексами Миллера**. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках [111]

В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы [hkl].

У металлических тел анизотропия свойств не выражена так резко, как у отдельных кристаллов. Металлы являются поликристаллическими телами, т. е. они состоят не из одного, а из бесчисленного количества кристаллов, по-разному ориентированных. Произвольность ориентировки каждого кристалла приводит к тому, что в любом направлении располагается приблизительно одинаковое количество различно ориентированных кристаллов. В результате получается, что свойства поликристаллических тел будут одинаковы во всех направлениях - это явление получило название «квазиизотропия» (ложная изотропия).

1.5 Дефекты кристаллического строения

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства: точечные, линейные, поверхностные, объемные.

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность, в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей. Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней” полуплоскости.

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название **винтовая дислокация**.

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

Плоские (двумерные) дефекты – это границы кристаллических зерен и двойников, межфазные границы, дефекты упаковок. Дефект упаковки – нарушение последовательности слоев плотнейшей упаковки шаров. Двойник – это кристаллический комплекс, две части которого соединяются либо двойниковой поверхностью, либо двойниковой осью.

Объемные дефекты – нарушения структуры, включающие в себя макроскопические ассоциации точечных дефектов (поры, пустоты, включения группировок частиц другой фазы, кристаллические и жидкие включения и т. п.).

1.6 Сущность процессов кристаллизации металлов и сплавов

Сущность процессов кристаллизации заключается в том, что переход из одного агрегатного состояния в другое возможно, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 1.1.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_S . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением, которое характеризуется степенью переохлаждения: $\Delta T = T_{\text{теор}} - T_{\text{крист}}$.

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

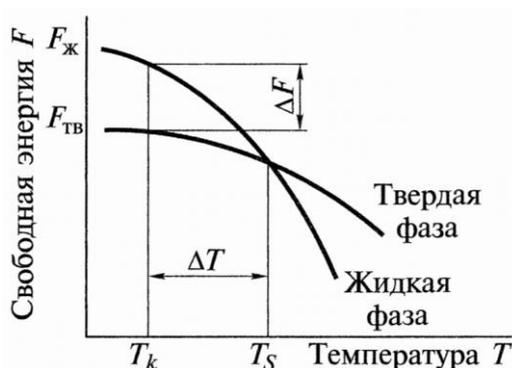


Рис.1.1. Изменение свободной энергии в зависимости от температуры.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии. Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура.

1.7 Механизм и закономерности кристаллизации металлов

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – центры кристаллизации или зародыши. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется. Минимальный размер способного к росту зародыша называется критическим размером, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы, уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 1.2).

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации T_S число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей T_a , то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая).

При переохлаждении до температуры соответствующей T_b – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

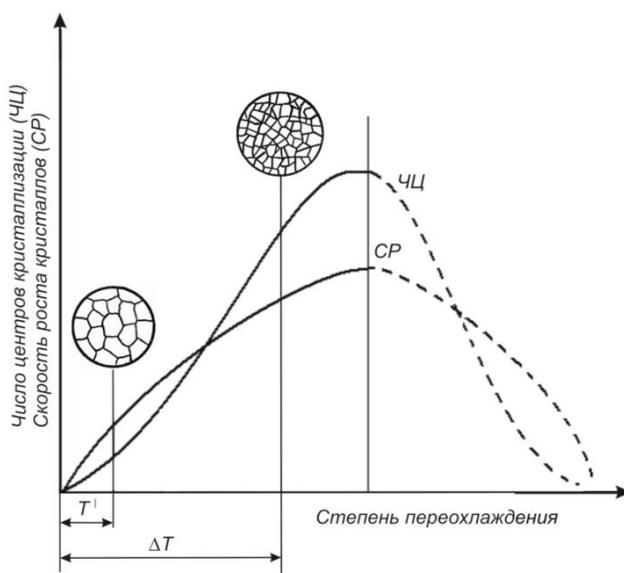


Рис. 1.2. Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения.

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

1.8 Особенности строения металлического слитка

Слиток состоит из трех зон (рис. 1.3):

1. мелкокристаллическая корковая зона;
2. зона столбчатых кристаллов;
3. внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

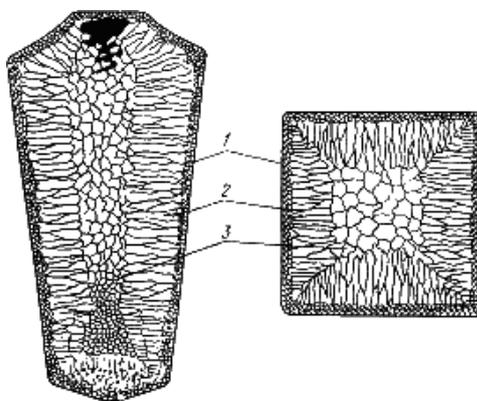


Рис. 1.3. Схема стального слитка.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено, и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты. Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

Так как теплоотвод от не закристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется транскристаллизацией.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка).

1.9. Понятие о ликвации

Слитки сплавов имеют неоднородный состав. Например, в стальных слитках по направлению от поверхности к центру и снизу вверх увеличивается концентрация углерода и вредных примесей – серы и фосфора. Химическая неоднородность по отдельным зонам слитка называется зональной ликвацией. Она отрицательно влияет на механические свойства. В реальных слитках помимо зональной встречаются и другие виды ликвации. Дендритная ликвация свойственна сплавам с широким температурным интервалом кристаллизации. Гравитационная ликвация образуется в результате разницы в плотностях твёрдой и жидкой фаз: например, в антифрикционном сплаве олова с сурьмой - твёрдая фаза (кристаллы сурьмы) опускаются на дно слитка, а эвтектика всплывает вверх.

ТЕМА 2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДИАГРАММ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

2.1 Основные понятия в теории сплавов

Система – группа металлов, выделяемых для наблюдения и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе.

Если вариантность $C = 1$ (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз.

Если вариантность $C = 0$ (нонвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе

Существует математическая связь между числом компонентов (K), числом фаз (Φ) и вариантностью системы (C). Это правило фаз или **закон Гиббса**:

$$C=K-\Phi+2 \quad (2.1)$$

Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится:

$$C=K-\Phi+1,$$

где C – число степеней свободы, K – число компонентов, Φ – число фаз, 1 – учитывает возможность изменения температуры.

2.2 Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов. В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы: механические смеси, твердые растворы, химические соединения.

Если элементы, входящие в состав сплава, при кристаллизации из жидкого состояния не растворяются друг в друге и не взаимодействуют, то образуется **механическая смесь**. При кристаллизации у каждого из таких компонентов образуется своя кристаллическая решетка. В структуре различаются зерна каждого из компонентов, т.е. образуются две фазы. При этом компоненты кристаллизуются обособленно друг от друга, но одновременно. Механическую смесь могут образовывать не только компоненты, но и два твердых раствора или один из компонентов и ограниченный

твердый раствор. В металловедении механическую смесь двух компонентов называют эвтектикой. **Эвтектика** – механическая смесь двух и более компонентов, кристаллизующихся при постоянной температуре одновременно и обособленно друг от друга.

Сплавы химические соединения образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

Особенности этих сплавов:

- постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается A_nB_m ;

- образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов

- ярко выраженные индивидуальные свойства;

- постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов

Сплавы твердые растворы – фазы переменного состава, в которых атомы различных элементов расположены в общей кристаллической решётке. Характерной особенностью твердых растворов является: наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:

- с неограниченной растворимостью компонентов;
- с ограниченной растворимостью компонентов.

При **неограниченной растворимости** компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

- изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
- -близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %.

- близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При **ограниченной растворимости** компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела. При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы: замещения; внедрения; вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента. Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя.

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2-2.5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.

2.3 Диаграмма состояния

Диаграмма состояния сплавов – графическое изображение фазового и структурного состояния сплавов при определенной температуре и определенной концентрации компонентов.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа. В результате получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки. Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называют критическими точками. Некоторые критические точки имеют названия, например, точки отвечающие началу кристаллизации называют точками *ликвидус*, а концу кристаллизации – точками *солидус*.

По кривым охлаждения строят диаграмму состава в координатах: по оси абсцисс – концентрация компонентов, по оси ординат – температура. Шкала концентраций показывает содержание компонента В.

По диаграмме состояния можно определить температуры фазовых превращений, изменение фазового состава, приблизительно, свойства сплава, виды обработки, которые можно применять для сплава.

2.3.1 Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси) (I рода)

Проведем анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);

2. Число фаз: $f = 3$ (кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, жидкая фаза).

3. Основные линии диаграммы:

- линия ликвидус $ac'b$, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
- линия солидус $ec'f$, параллельна оси концентраций стремится к осям компонентов, но не достигает их;

5. Типовые сплавы системы.

а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, на рис.

2.1.б показана кривая охлаждения компонента А.

б). Эвтектический сплав – сплав, соответствующий концентрации компонентов в точке с (сплав I). Кривая охлаждения этого сплава, аналогична кривым охлаждения чистых металлов (рис. 2.1.б)

Эвтектика – мелкодисперсная механическая смесь разнородных кристаллов, кристаллизующихся одновременно при постоянной, самой низкой для рассматриваемой системы, температуре.

При образовании сплавов механических смесей эвтектика состоит из кристаллов компонентов А и В: Эвт. (кр. А + кр. В)

Процесс кристаллизации эвтектического сплава: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинается одновременная кристаллизация двух разнородных компонентов. На кривой охлаждения отмечается температурная остановка, т.е. процесс идет при постоянной температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии трех фаз (жидкой и кристаллов компонентов А и В) число степеней свободы будет равно нулю $C=2-3+1=0$. В точке 1' процесс кристаллизации завершается. Ниже точки 1' охлаждается сплав, состоящий из дисперсных разнородных кристаллов компонентов А и В.

в) Другие сплавы системы аналогичны сплаву II, кривую охлаждения сплава смотрим на рис 2.1.б.

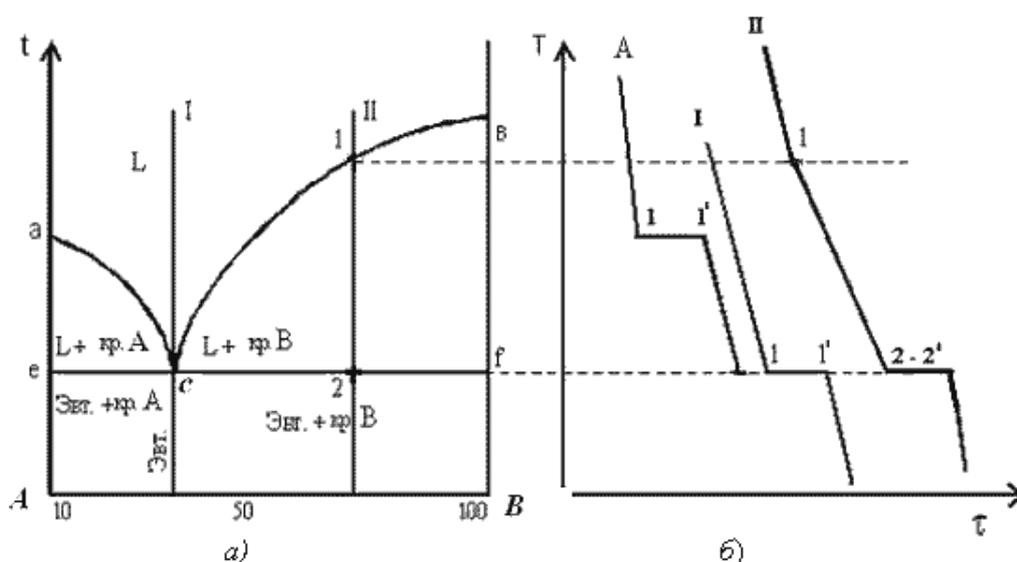


Рис. 2.1. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения сплавов (б).

Процесс кристаллизации сплава II: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации избыточного компонента В. На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов компонента В) число степеней свободы будет равно единице $C=2-2+1=1$. При охлаждении состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус до эвтектического. На участке 2–2' кристаллизуется эвтектика. Ниже точки 2' охлаждается сплав, состоящий из кристаллов первоначально закристаллизовавшегося избыточного компонента В и эвтектики.

2.3.2 Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (II рода)

Сначала получают термические кривые. Полученные точки переносят на диаграмму, соединив точки начала кристаллизации сплавов и точки конца кристаллизации, получают диаграмму состояния.

Проведем анализ полученной диаграммы.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В).
2. Число фаз: $f = 2$ (жидкая фаза L, кристаллы твердого раствора α)
3. Основные линии диаграммы:
 - асб – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;
 - adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.
4. Характерные сплавы системы:

Чистые компоненты А и В кристаллизуются при постоянной температуре, кривая охлаждения компонента В представлена на рис. 2.2,б.

Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I, кривая охлаждения которого представлена на рис. 2.2, б.

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов твердого раствора α) число степеней свободы будет равно единице $C=2-2+1=1$. При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α .

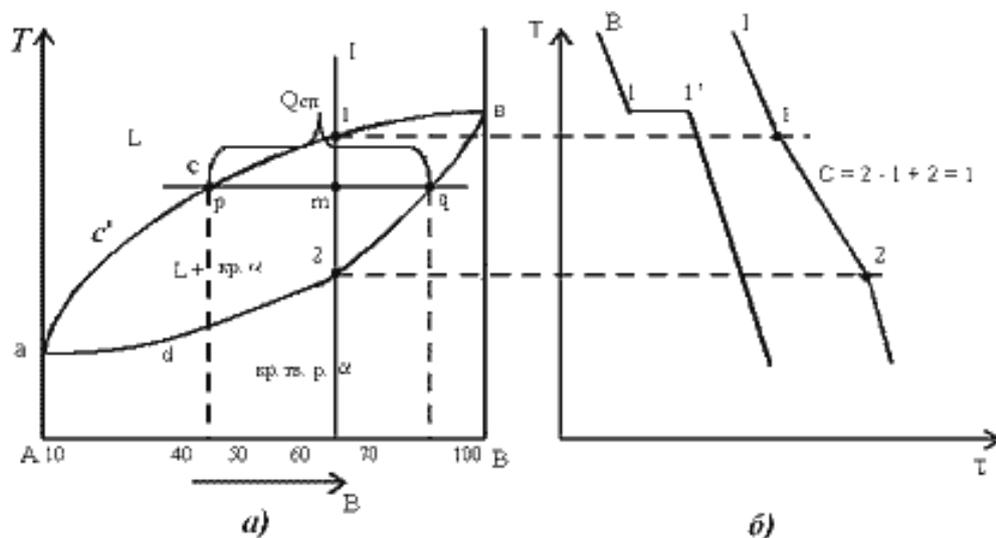


Рис.2.2. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б).

5. Количественный структурно-фазовый анализ сплава.

Пользуясь диаграммой состояния можно для любого сплава при любой температуре определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение. Для этого используется правило отрезков. Для проведения количественного структурно-фазового анализа через заданную точку проводят горизонталь (**коноду**)

до пересечения с ближайшими линиями диаграммы (ликвидус, солидус или оси компонентов).

а). Определение состава фаз в точке m :

Для его определения через точку m проводят горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы: ликвидус и солидус.

Состав жидкой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией ликвидус p на ось концентрации.

Состав твердой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией солидус q (или осью компонента) на ось концентрации.

Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса, а состав твердой фазы – по линии солидуса.

С понижением температуры состав фаз изменяется в сторону уменьшения содержания компонента В.

б). Определение количественного соотношения жидкой и твердой фазы при заданной температуре (в точке m):

Количественная масса фаз обратно пропорциональна отрезкам проведенной коноды. Рассмотрим проведенную через точку m коноду и ее отрезки.

Количество всего сплава ($Q_{\text{сп}}$) определяется отрезком pq .

Отрезок, прилегающий к линии ликвидус pm , определяет количество твердой фазы.

$$Q_{\text{тв}} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Отрезок, прилегающий к линии солидус (или к оси компонента) mq , определяет количество жидкой фазы.

$$Q_{\text{ж}} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

2.3.3 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (III рода)

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис.2.3.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (жидкая фаза и кристаллы твердых растворов (раствор компонента В в компоненте А) и (раствор компонента А в компоненте В));
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус $асb$, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус $adcfb$, состоит из трех участков;
 - dm – линия предельной концентрации компонента В в компоненте А;
 - fn – линия предельной концентрации компонента А в компоненте В.

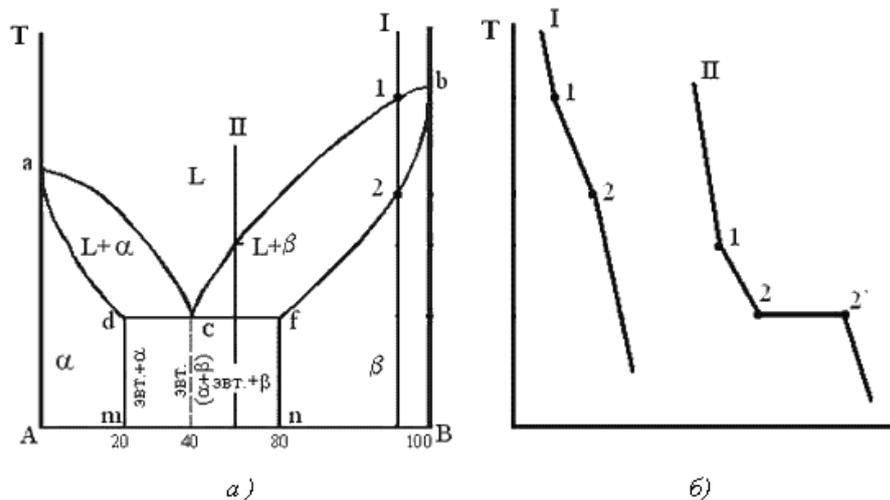


Рис. 2.3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б).

4. Типовые сплавы системы.

При концентрации компонентов, не превышающей предельных значений (на участках Am и nB), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам твердым растворам с неограниченной растворимостью, см кривую охлаждения сплава I на рис. 2.3.б. При концентрации компонентов, превышающей предельные значения (на участке dcf), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам механическим смесям, см. кривую охлаждения сплава II на рис. 2.3. б.

Сплав с концентрацией компонентов, соответствующей точке с, является эвтектическим сплавом. Сплав состоит из мелкодисперсных кристаллов твердых растворов α и β , эвт. (кр. тв. р-ра α + кр. тв. р-ра β)

Кристаллы компонентов в чистом виде ни в одном из сплавов не присутствуют.

2.3.4 Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения (IV рода).

В этих сплавах компоненты химически реагируют друг с другом, образуя химическое соединение A_mB_n . Это соединение представляет собой новую фазу и имеет соответствующую однородную область на диаграмме состояния (линия PF на рис.6). Линия хим. соединения проходит через точку P, соответствующую содержанию компонента B в A_mB_n и разделяет общую диаграмму A-B на две независимые части: $A+A_mB_n$ и A_mB_n+B , каждую из которых можно рассматривать отдельно и для каждой из них соединение A_mB_n играет роль «компонента». В каждой части тип диаграммы состояния может быть, вообще говоря, любым. В частности, на рисунке в качестве примера приведены системы $A+A_mB_n$ и A_mB_n+B эвтектического типа.

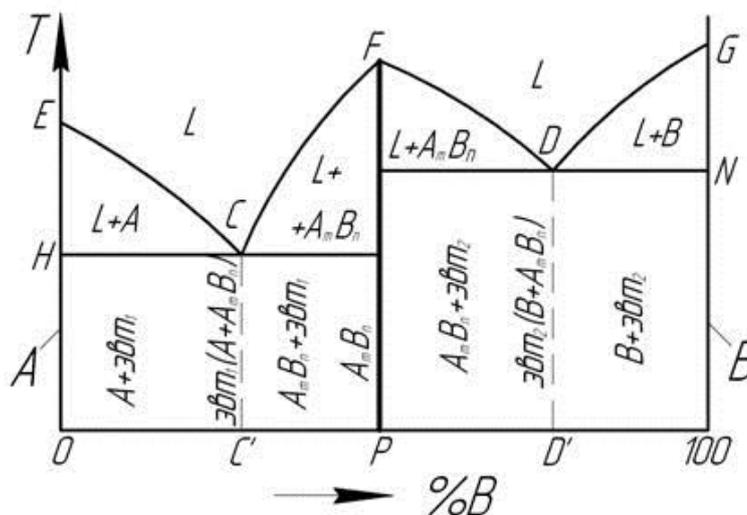


Рис. 2.4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

Однофазные области этой диаграммы:

- 1) жидкость L – выше линии ликвидус ECFDG;

- 2) компонент А – линия ОНЕ;
- 3) компонент В – линия 100NG;
- 4) химическое соединение A_mB_n – линия PF.

Структурные составляющие сплавов этой системы и их области на диаграмме:

- 1) кристаллы А – линия ОНЕ;
- 2) кристаллы В – линия 100NG;
- 3) кристаллы A_mB_n – линия PF;
- 4) эвтектика $эвт_1(A + A_mB_n)$ – линия CC' ;
- 5) эвтектика $эвт_2(A_mB_n + B)$ – линия DD' .

2.3.5 Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость)

По внешнему виду диаграмма похожа на диаграмму состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Отличие в том, что линии предельной растворимости компонентов не перпендикулярны оси концентрации. Появляются области, в которых из однородных твердых растворов при понижении температуры выделяются вторичные фазы.

На диаграмме:

- df – линия переменной предельной растворимости компонента В в компоненте А;
- ek – линия переменной предельной растворимости компонента А в компоненте В.

Кривая охлаждения сплава I представлена на рис. 2.5. б.

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре.

При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора β .

При достижении температуры, соответствующей точке 3, твердый раствор оказывается насыщенным компонентом В, при более низких температурах растворимость второго компонента уменьшается, поэтому из α -раствора начинает выделяться избыточный компонент в виде кристаллов β . За точкой 3 сплав состоит из двух фаз: кристаллов твердого раствора α и вторичных кристаллов твердого раствора β .

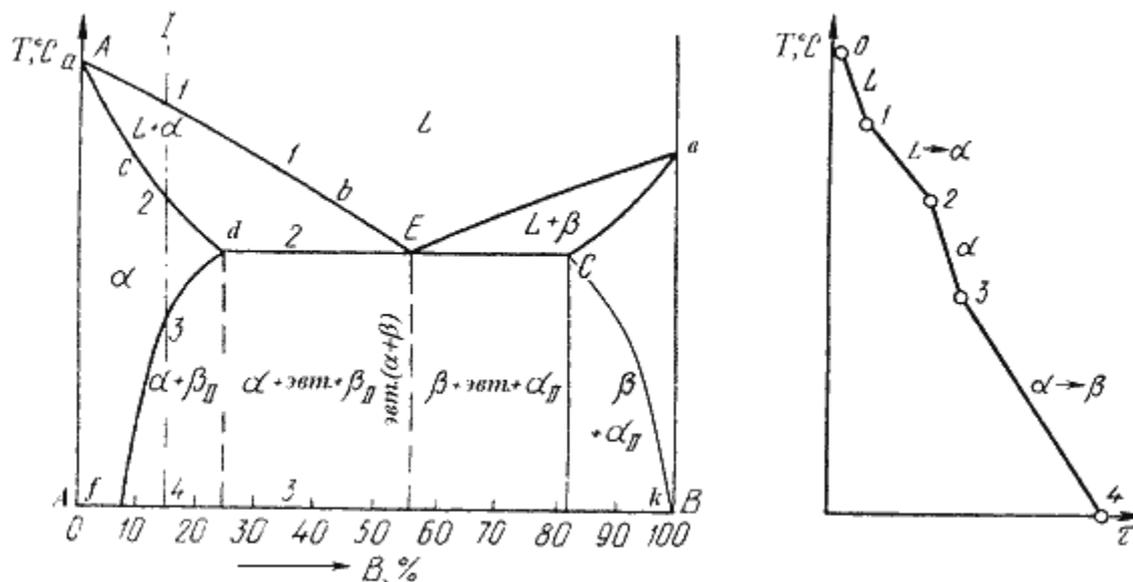


Рис. 2.5. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (а) и кривая охлаждения сплава (б).

2.4. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Так как вид диаграммы, также как и свойства сплава, зависит от того, какие соединения или какие фазы образовали компоненты сплава, то между ними должна существовать определенная связь. Эта зависимость установлена Курнаковым (рис. 2.6).

1. При образовании механических смесей свойства изменяются по линейному закону. Значения характеристик свойств сплава находятся в интервале между характеристиками чистых компонентов.

2. При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые

свойства, например, электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.

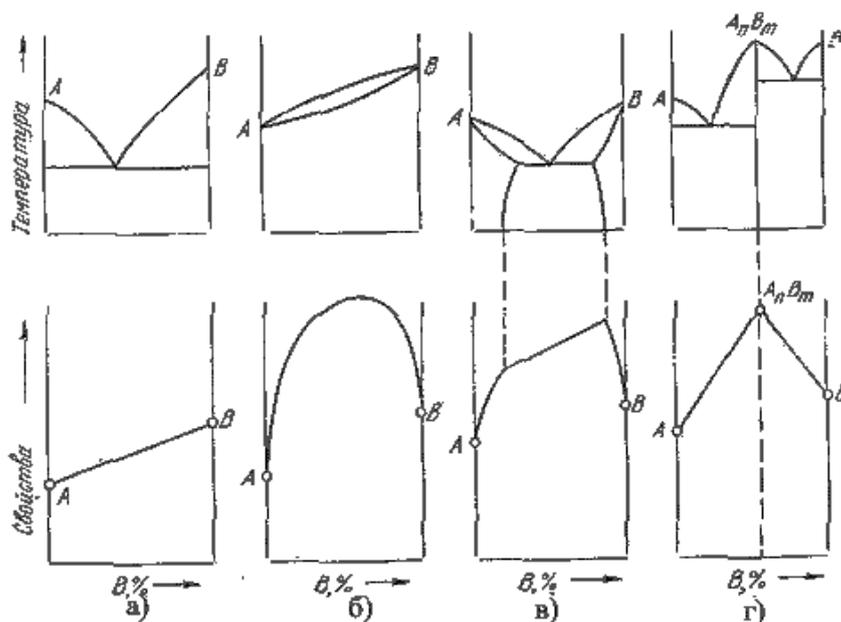


Рис. 2.6. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

3. При образовании твердых растворов с ограниченной растворимостью свойства в интервале концентраций, отвечающих однофазным твердым растворам, изменяются по криволинейному закону, а в двухфазной области – по линейному закону. Причем крайние точки на прямой являются свойствами чистых фаз, предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.

4. При образовании химических соединений концентрация химического соединения отвечает максимуму на кривой. Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой.

ТЕМА 3 «ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ Fe-C. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ, ЧУГУНЫ»

3.1 Аллотропические превращения железа при нагреве и охлаждении

Чистое Железо (Fe, атомный номер 26, радиус 0,127 нм) имеет температуру плавления 1539°C, плотность $7,68 - 7,85 \text{ г/см}^3$. Металл обладает невысокой твердостью и прочностью $HВ \approx 80$, предел прочности $\sigma_b \approx 250 \text{ МПа}$, предел текучести $\sigma_{0,2}$

= 120 МПа и хорошей пластичностью; относительное удлинение $\delta = 50 \%$; относительное сужение $\psi = 80 \%$.

В твердом состоянии испытывает два полиморфных превращения. Важнейшее из них – превращение при 911 °С. Ниже этой температуры железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК) с параметром $a = 0,286$ нм (рис.3.1). Это α -железо (Fe_α). Выше 911°С существует γ -железо (Fe_γ) с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК) и параметром $a = 0,356$ нм.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется аллотропией или полиморфизмом. Каждый вид решетки представляет собой аллотропическое видоизменение или модификацию.

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом.

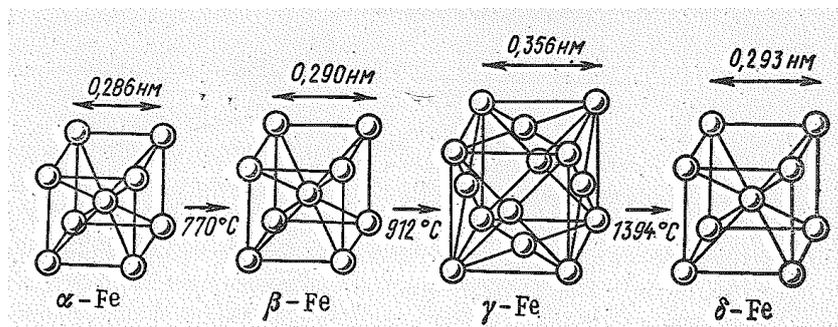


Рис.3.1. Аллотропические превращения железа.

Другой пример аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз. Углерод – химический элемент II периода IV группы периодической системы, химический знак - C, атомный номер 6, радиус 0,077 нм или 0,77 Å; масса 12,011; неметалл. Массовая доля углерода в земной коре составляет 0,1 %. Алмаз – прозрачное кристаллическое вещество с атомной кубической решеткой. Графит имеет темно-серую окраску с металлическим блеском. Он является жирным на ощупь. По своему строению это слоистое кристаллическое вещество с гексагональной структурой.

Углерод может растворяться в жидком железе и в решетках обеих полиморфных модификаций, а также образует с железом химическое соединение. Поэтому в сплавах могут присутствовать следующие фазы: жидкий раствор (Ж), феррит (Ф), аустенит (А), цементит (Ц), графит (Г).

3.2 Структурные составляющие системы железо-углерод

Твердые растворы внедрения углерода и других примесей в α -железе называют **ферритом**, а в γ -железе – **аустенитом**.

Феррит получил свое название от латинского наименования железа – «Ferrum». Различают низкотемпературный α -феррит с растворимостью углерода до 0,02 % и высокотемпературный δ -феррит с предельной растворимостью углерода 0,1 %. Атом углерода в решетке феррита располагается в центре объема куба. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных полиэдрических зерен. Твердость и механические свойства феррита близки к таковым технически чистого железа ($\sigma_b = 250$ МПа, $\sigma_{0,2} = 120$ МПа, $\delta = 50$ %, $\psi = 80$ %, НВ 80 – 90 кгс/мм² или 800 – 900 МПа), они зависят от количества элементов, присутствующих в нем. Микроструктура феррита представлена на рис.3. 2.

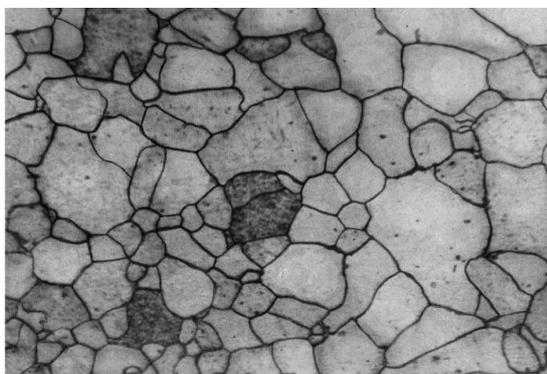


Рис.3.2. Микроструктура феррита.

Аустенит был назван так в честь английского ученого Роберта Аустена, который занимался исследованиями структуры составляющих системы железо - углерод и разработкой вариантов ее диаграммы состояния. Атом углерода в решетке γ -железа располагается в центре элементарной ячейки (рис. 3.3,б).

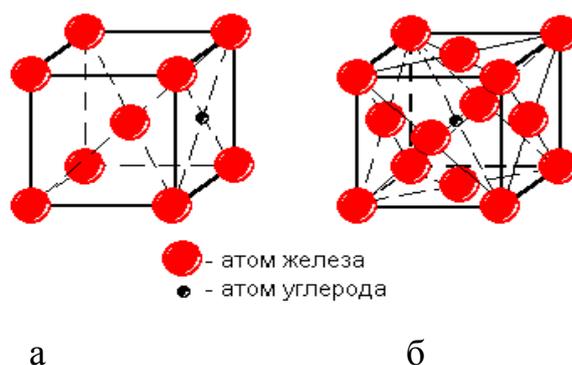


Рис.3.3. Кристаллическая решетка феррита (а) и аустенита (б).

Аустенит – парамагнитен, высокопластичен ($НВ = 170-220 \text{ кгс/мм}^2$ или $1700-2200 \text{ МПа}$), имеет низкие механические характеристики, такие как пределы текучести и Аустенит – парамагнитен, высокопластичен ($НВ = 170-220 \text{ кгс/мм}^2$ или $1700-2200 \text{ МПа}$), имеет низкие механические характеристики, такие как пределы текучести и прочности. Микроструктура аустенита - полиэдрические зерна (рис.3.4).

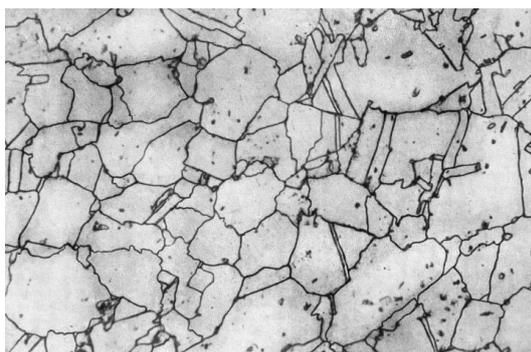


Рис.3.4. Микроструктура аустенита.

Железо и углерод, взаимодействуя друг с другом, могут образовывать ряд металлических карбидов с различными химическими формулами: Fe_3C , Fe_2C , FeC и другие. Наиболее распространенным и широко применяемым из них является карбид железа среднего состава Fe_3C – **цементит**. Стехиометрическое соотношение элементов в нем соответственно равно $3 : 1$. Содержание углерода составляет $6,67 \%$ масс.

Кристаллическая решетка карбида железа очень сложная. Она представляет собой орторомбическую структуру с плотной упаковкой атомов (в элементарной ячейке расположено 12 атомов железа и 4 углерода). Данное соединение обладает высокой твердостью, сравнимой только с алмазом, он легко царапает стекло ($НВ$

более 800 кгс/мм²), но чрезвычайно низкой практически нулевой пластичностью (большой хрупкостью), значительной жаропрочностью и обычно более высокой температурой плавления, чем исходный металл.

Кроме перечисленных фаз, в структуре сплавов железа с углеродом присутствуют две структурные составляющие: эвтектика и эвтектоид.

В системе железо – углерод эвтектика содержит 4,3 % С и кристаллизуется при температуре 1147°С. Она представляет собой смесь кристаллов аустенита и цементита и называется **ледебурит** ($L = A + Ц$).

Ледебурит - образуется в процессе эвтектического превращения по реакции:
 $Ж = \gamma + Fe_3C$.

По своей структуре он представляет собой чередующиеся пластинки аустенита и цементита. При температурах ниже 727°С аустенит в этой смеси изотермически превращается в перлит. Ледебурит такого состава называется низкотемпературным. Микроструктура ледебурита представлена на рис.3.5.

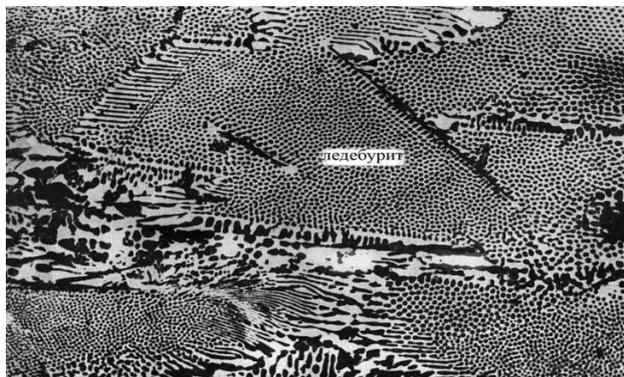


Рис.3.5. Микроструктура ледебурита.

Перлит – смесь пластин феррита и цементита образующаяся при 727°С по реакции: $A = \alpha + Fe_3C$.

Он имеет перламутровый цвет (отсюда и название), концентрация углерода в нем -0,8 % масс. Структура его также как и ледебурита состоит из следующих друг за другом пластинок феррита и цементита.

Перлит имеет наиболее удачное сочетание механических свойств из всех равновесных структур в сплавах железа с углеродом. В нем мягкие, вязкие пластины феррита чередуются с прочными, твердыми, жесткими пластинами цементита: $П =$

Ф + Ц (рис. 3.6). Такая структура хорошо сопротивляется самым разным механическим нагрузкам, обладает высокой прочностью и достаточной вязкостью. Твердость перлита составляет 180-220 НВ, в зависимости от размера зерна.

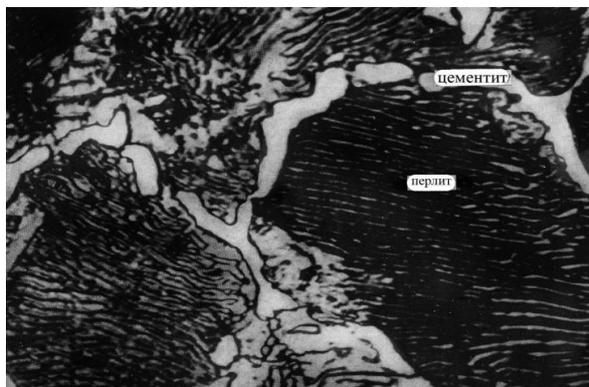


Рис.3.6. Микроструктура перлита и цементита вторичного.

3.3 Диаграмма состояния желез- цементит

Диаграмму системы железо-углерод можно проанализировать только до образования в ней карбида железа - Fe_3C – концентрация углерода 6,67 %. Это связано с тем, что наибольшее практическое значение имеет только часть диаграммы состояния железо-углерод, в которой показано формирование цементита, так как сплавы, содержащие большее количество углерода, очень хрупкие и практически не применяются в промышленности. Поэтому диаграмму состояния системы железо-углерод изображают только до концентрации углерода 6,67 % масс и называют диаграммой состояний железо-цементит (рис.3.7).

Кривая $ABCD$ - линия ликвидус, которая на участке AB соответствует температурам начала выпадения кристаллов феррита (α), а на участке BC соответствует температурам начала выпадения кристаллов аустенита (γ) из жидкого сплава (L). В области CD – она представляет геометрическое место точек, отвечающих температурам начала кристаллизации первичного цементита (Fe_3C_I) из жидкой фазы (L).

Линия $AHJECFD$ - солидус, криволинейный участок $AHJE$ которой, определяет окончание затвердевания жидкой фазы.

На горизонтальной линии HJB происходит неинвариантная реакция с участием трех фаз образования аустенита из жидкости и феррита.



Горизонтальный участок ECF является геометрическим местом точек, соответствующих также концу кристаллизации аустенита (EC) и первичного цементита - Fe_3C_I (CF), и одновременно отвечает температурам изотермического превращения жидкого сплава состава точки C в двухфазную эвтектику – ледебурит.

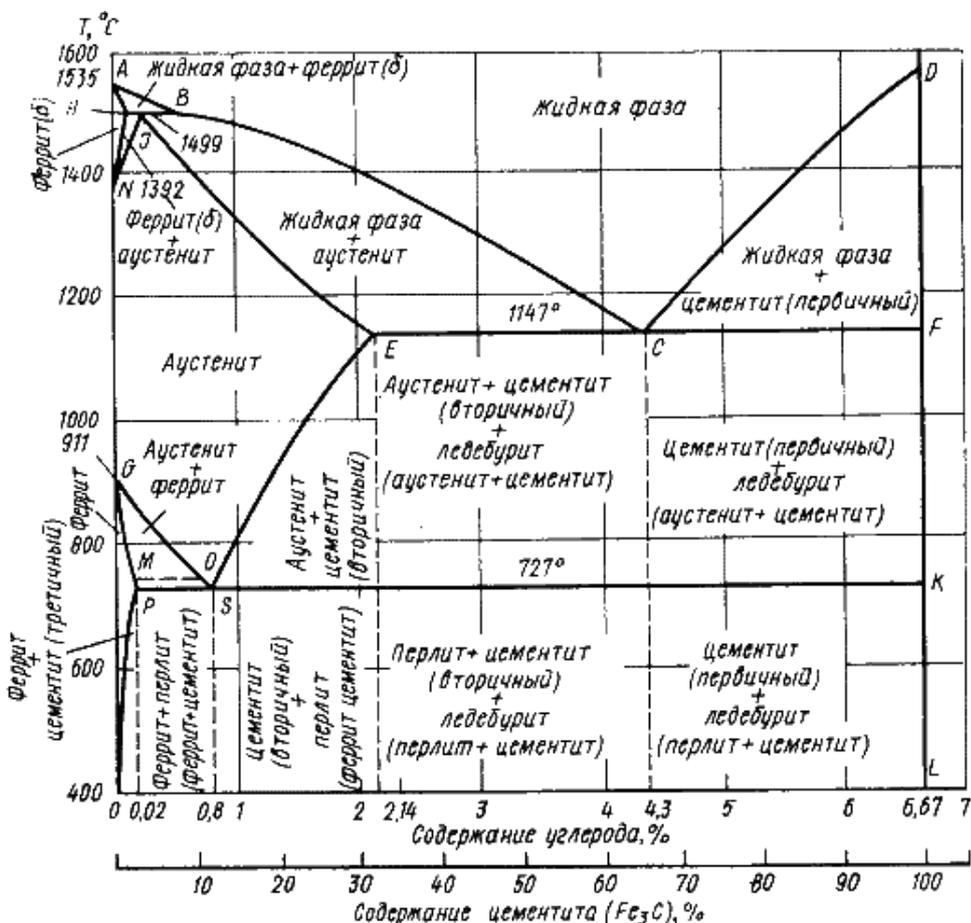


Рис. 3.7. Диаграмма железо-углерод.



Данная реакция наблюдается только у сплавов с содержанием углерода более 2,14 % масс.

На горизонтальной линии PSK происходит неинвариантная реакция с участием трех фаз образования перлита из аустенита.



Линии NH и NJ отражают начало и конец полиморфного превращения аустенита и δ -феррита, а линии GS и GP соответственно начало и конец полиморфного превращения аустенита и α -феррита.

Кривые DC , ES и PQ показывают на ограничение максимальной растворимости углерода в фазовых составляющих железоуглеродистых сплавов. Эти линии определяют максимальную растворимость углерода в той фазе, которая расположена на диаграмме левее данной кривой.

Диаграмму состояния $Fe - Fe_3C$ по оси абсцисс – концентрация углерода – делят на следующие участки: 0 - 0,02 % (точка P) - технически чистое железо; 0,02 - 0,80 % (отрезок PS) - доэвтектоидные стали; 0,80 % (точка S) - эвтектоидная сталь; 0,80 - 2,14 % - заэвтектоидные стали; 2,14 - 4,31 % (отрезок EC) - доэвтектические чугуны; 4,31 % (точка C) - эвтектический чугун; 4,31 - 6,67 % (отрезок CF) - заэвтектические чугуны.

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14 %, называют сталями. Они после затвердевания не содержат хрупкой структурной составляющей - ледебурита и при высоком нагреве имеют только аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью. Поэтому они легко деформируются при нормальных и повышенных температурах, т. е. являются ковкими сплавами.

3.4 Кристаллизация и формирование структуры сплавов

3.4.1 Кристаллизация стали

Первичная кристаллизация стали в зависимости от содержания углерода происходит по-разному. При содержании углерода от 0 до 0,5% из жидкости начинает выделяться феррит, а при содержании углерода от 0,5% до 2,14% из жидкости первоначально выделяется аустенит. Диаграмма состояния и кривые охлаждения типовых сплавов представлены на рис.3.8.

Рассмотрим кристаллизацию сплава 1, относящегося к доэвтектоидной стали, с содержанием углерода менее 0,5% (Рис.3.8,а).

Кристаллизация этого сплава начинается в точке t_1 выделением из жидкости кристаллов феррита. При температуре 1499⁰С в сплаве происходит перитектическая реакция, при которой выделившийся ранее феррит взаимодействует с жидкостью, в

результате образуется новая фаза – аустенит. Окончательное формирование структуры стали происходит в результате превращений аустенита при дальнейшем охлаждении. Основой этого превращения является полиморфизм, связанный с перегруппировкой атомов из ГЦК решетки аустенита в ОЦК решетку феррита, а также изменение растворимости углерода по линии ES в аустените и PQ в феррите.

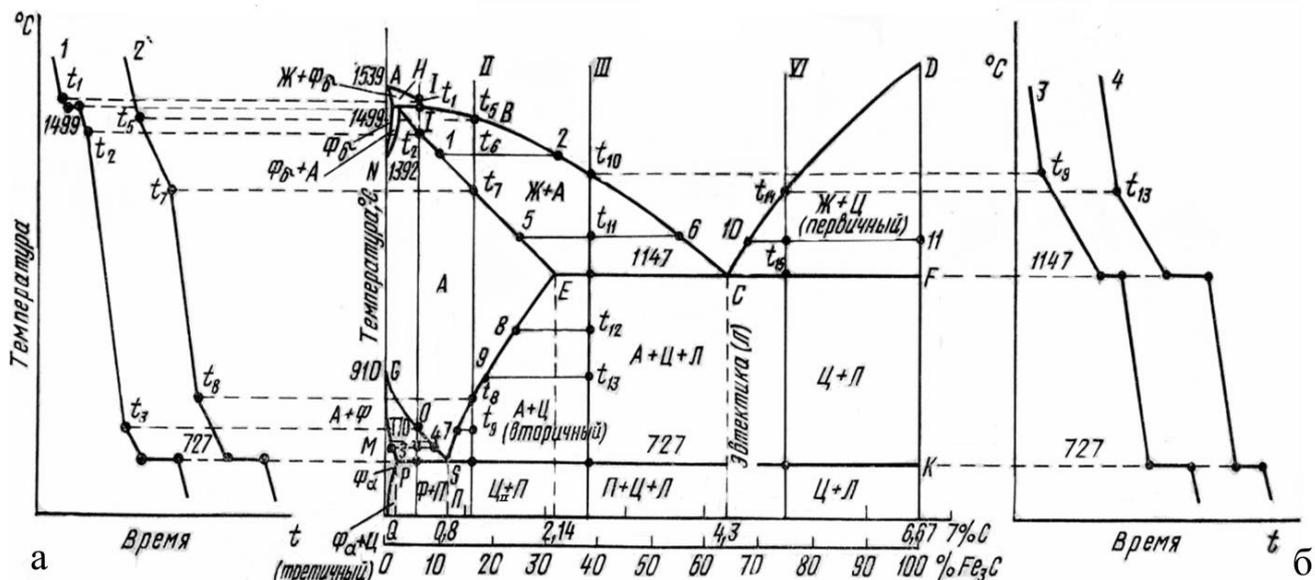


Рис.3.8. Кривые охлаждения при кристаллизации:

а) - кристаллизация сталей; б)- кристаллизация чугунов.

В данном сплаве в интервале температур $t_3-727^\circ\text{C}$ идет полиморфное превращение $A \rightarrow \Phi$. На стыках и границах зерен аустенита возникают зародыши феррита, которые растут и развиваются за счет атомов аустенитной фазы. Состав аустенита меняется по линии GS , а феррита – по линии GP . При 727°C концентрация углерода в аустените равна $0,8\%$ (точка S) и в феррите – $0,025\%$ (точка P). Ниже этой температуры происходит эвтектоидное превращение. В равновесии находятся три фазы: феррит состава точки P , аустенит состава точки S , цементит. Так как число степеней свободы равно нулю, т.е. имеется нонвариантное равновесие, то процесс протекает при постоянном составе фаз. На кривых охлаждения или нагрева наблюдается температурная остановка. Таким образом, структура доэвтектоидной стали характеризуется избыточными кристаллами феррита и эвтектоидной смесью феррита с цементитом, называемой перлитом. Количественные соотношения феррита и перлита за-

висят от состава сплава. Чем больше углерода в доэвтектоидной стали, тем больше в структуре ее перлита и, наоборот, чем меньше углерода, тем больше феррита и меньше перлита. При дальнейшем охлаждении в результате изменения растворимости углерода в феррите (соответственно линии PQ) выделяется третичный цементит. Однако в структуре обнаружить его при наличии перлита невозможно.

Сплавы с содержанием углерода менее 0,025 % (левее т. P) не испытывают эвтектоидного превращения.

Сплав 2 относится по составу к заэвтектоидной стали. Кристаллизация этого сплава начинается в точке t_5 выделением из жидкости кристаллов аустенита. В t_7 кристаллизация заканчивается и до температуры t_8 (линия ES) аустенит охлаждается без изменения состава. Несколько ниже этой температуры аустенит достигает предельного насыщения углеродом согласно линии растворимости углерода в аустените ES . В интервале температур $t_{10} - 727\text{ }^\circ\text{C}$ из пересыщенного аустенита выделяется высокоуглеродистая фаза – цементит, который называется вторичным. Состав аустенита меняется по линии ES и при температуре $727\text{ }^\circ\text{C}$ достигает точки S (0,8 %C). Ниже $727\text{ }^\circ\text{C}$ происходит эвтектоидное превращение: аустенит состава точки S (0,8 %C) распадается на смесь феррита состава точки P (0,025 %C) и цементита. Таким образом, структура заэвтектоидной стали характеризуется зернами перлита и вторичного цементита. При медленном охлаждении цементит, как правило, располагается в виде тонкой оболочки. В разрезе это выглядит как сетка цементита. Более благоприятной формой цементита является зернистая, она не приводит к значительному снижению пластических свойств стали. В реальной стали с 1,2%С (У12) количество вторичного цементита составляет всего около 6 %.

3.4.2 Кристаллизация чугунов

Все превращения в белых чугунах, начиная от затвердевания и до комнатных температур, полностью проходят по метастабильной диаграмме Fe-Fe₃C. Наличие цементита придает излому светлый блестящий цвет, что привело к термину “белый чугун”. Независимо от состава сплава обязательной структурной составляющей белого чугуна является цементитная эвтектика (ледебурит). На рис. изображена

структурная диаграмма равновесия железо-цементит и кривые охлаждения типичных сплавов.

Железоуглеродистые сплавы состава 2,14-4,3% С называются доэвтектическими белыми чугунами. Рассмотрим процесс кристаллизации и вторичных превращений на примере сплава 3 (рис.3.8,б). От температуры несколько ниже линии ликвидус AC до 1147°C , из жидкости выделяются кристаллы аустенита. Аустенит кристаллизуется в форме дендритов, которые, как правило, обладают химической неоднородностью, называемой дендритной ликвацией. Состав жидкой фазы меняется по линии ликвидус, стремясь к эвтектическому, а твердой фазы по линии солидус, стремясь к составу точки E . При температуре 1147°C концентрация жидкой фазы достигает точки C (4,3 % С), а аустенита – точки E (2,14 % С). Из жидкости эвтектического состава образуется смесь аустенита и цементита – ледебурит 1147°C . Таким образом, ниже эвтектической линии ECF структура характеризуется избыточными кристаллами аустенита и эвтектикой (ледебуритом). При охлаждении от 1147 до 727°C состав аустенита непрерывно меняется по линии ES , при этом выделяется цементит вторичный. Он выделяется как из избыточного аустенита, так и из аустенита эвтектики. Однако, если вторичный цементит, выделяющийся из аустенита эвтектики, присоединяется к эвтектическому цементиту, то из избыточного аустенита он выделяется в виде оболочек вокруг дендритов аустенита и представляет собой самостоятельную структурную составляющую. Ниже 727°C весь аустенит: и избыточный, и тот, который входит в состав эвтектики – претерпевает эвтектоидное превращение, при котором образуется перлит. Таким образом, ниже 727°C структура доэвтектического белого чугуна характеризуется следующими структурными составляющими: избыточным перлитом (бывшим аустенитом), ледебуритом превращенным, состоящим из перлита и цементита и цементитом вторичным

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от 4,3 до 6,67 % (сплав 4, рис.3.8,б) называются заэвтектическими белыми чугунами. Кристаллизация начинается при температуре t_{13} несколько ниже линии CD выпадением цементита, который называется цементитом первичным. Состав жидкой фазы меняется по линии CD , состав твердой остается без изменения. При температуре 1147°C заканчивается

кристаллизация избыточных кристаллов. Жидкость состава точки C (4,3 % C) согласно эвтектической реакции образует ледебурит. При дальнейшем охлаждении изменение состава аустенита по линии ES приводит к выделению цементита вторичного, который присоединяется к эвтектическому. Температура $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ является температурой эвтектоидного равновесия аустенита, феррита и цементита. Ниже этой температуры аустенит превращается в перлит. Таким образом, ниже $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ структура заэвтектического белого чугуна характеризуется избыточными кристаллами цементита первичного (белые пластины) и превращенным ледебуритом, состоящим из темных полосок или зернышек перлита и светлой основы – цементита.

3.5 Влияние постоянных примесей на структуру и свойства стали

Примеси в сталях и чугунах делят на 4 группы:

1. Постоянные примеси: кремний, марганец, сера, фосфор;
2. Скрытые примеси – газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.
3. Специальные примеси – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали – легированные сталями.
4. Случайные примеси (мышьяк, свинец, олово, сурьма) – химические элементы, которые не добавлялись специально в сталь, в том числе, косвенно, например, при раскислении стали, и которые нельзя удалить простыми металлургическими процессами.

Содержание марганца не превышает 0,5...0,8 %. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа FeS , так как образует с серой соединение сульфид марганца MnS . Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает 0,35...0,4 %. Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка. Кремний растворяется в феррите и повышает проч-

ность стали, особенно повышается предел текучести. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке.

Содержание фосфора в стали 0,025...0,045 %. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности и предел текучести, но снижает пластичность и вязкость. Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин. Повышение содержания фосфора на каждую 0,01 % повышает порог хладоломкости на 20...25°C.

Содержание серы в сталях составляет 0,025...0,06 %. Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы FeS, которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988 °C. Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

Углерод – важнейший компонент сталей и чугунов, от количества которого зависят ее свойства. С увеличением содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита – очень твердой и хрупкой фазы (твердость цементита HB = 800 больше твердости феррита HB = 80). Поэтому прочность и твердость стали растут с повышением содержания углерода, а пластичность и вязкость, наоборот, снижаются.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (FeO, SiO₂, Al₂O₃) нитридов (Fe₂N), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катанных заготовках и поковках флокенов, т.е. тонких трещин овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета. Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Легирующие элементы оказывают влияние на электронную и дислокационную структуру металла. Замещая атомы в решетке основы, они создают барьеры ближнего действия на пути движущихся дислокаций. Плотность дислокаций, их подвижность, значения констант диффузии и упругости, условия протекания фазовых превращений и в конечном итоге прочность твердого раствора связаны с легированием. Легированные стали характеризуются лучшим комплексом физико-химических (в том числе и механических) свойств по сравнению с углеродистыми: они отличаются повышенной жаростойкостью, сопротивлением коррозии, значительной ударной вязкостью, высоким пределом текучести, большим электросопротивлением и т. д. Оптимальные механические свойства обеспечиваются формированием в результате термической обработки дисперсных структур и более мелкого зерна.

1. Все легирующие элементы, растворяясь в феррите, аустените, цементите, а также образуя химические соединения (карбиды, интерметаллиды), упрочняют сталь. Пластичность и вязкость при этом падают.

2. Никель одновременно повышает и прочность, и вязкость.

3. Алюминий, кремний, хром и медь повышают коррозионную стойкость стали.

4. Алюминий, ванадий, молибден, вольфрам, титан измельчают зерно и тем самым повышают вязкость стали.

5. Марганец и кремний способствуют получению крупнозернистой структуры в стали.

6. Молибден и вольфрам устраняют хрупкость стали при отпуске.

7. Молибден, вольфрам, ванадий, титан повышают жаропрочность стали, а также ее красностойкость (твердость при высоких температурах).

8. Никель, марганец, медь, азот являются аустенизаторами, т. е. растворяясь в железе, расширяют область аустенита.

9. Карбидообразующие элементы: хром, молибден, ванадий, вольфрам и другие, растворяясь в железе, расширяют область феррита и поэтому называются ферритизаторами.

10. Ванадий, титан, ниобий и цирконий образуют труднорастворимые в аустените карбиды. Способствуют измельчению зерна, снижению порога хладноломко-

сти, уменьшают чувствительность стали к концентраторам напряжений (но только при микролегировании).

11. Все легирующие элементы, за исключением кобальта, кремния, алюминия, понижают температуру изотермического распада аустенита и способствуют увеличению количества остаточного аустенита при закалке. Они же уменьшают критическую скорость закалки стали, увеличивают прокаливаемость стали.

3.6. Получение чугунов

Выплавку чугуна осуществляют в печах шахтного типа – доменных печах. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твёрдым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

- Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.

- Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

3.7. Получение сталей

Основными исходными материалами для производства стали являются переплавленный чугун и стальной лом (скрап). Сущность производства стали заключается в снижении содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла, при этом происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора.

Наиболее важная задача этапа – удаление фосфора.

Второй этап – кипение металлической ванны (основной этап). При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты: $FeO + C = CO + Fe - Q$

Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины и вдувают кислород. Также создаются условия для удаления серы.

Третий этап – раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворённого в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах.

Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным.

Осаждающее раскисление осуществляется введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо.

В результате раскисления восстанавливается железо и образуются оксиды: MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , которые имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

В зависимости от степени раскисления выплавляют стали: спокойные, кипящие, полуспокойные.

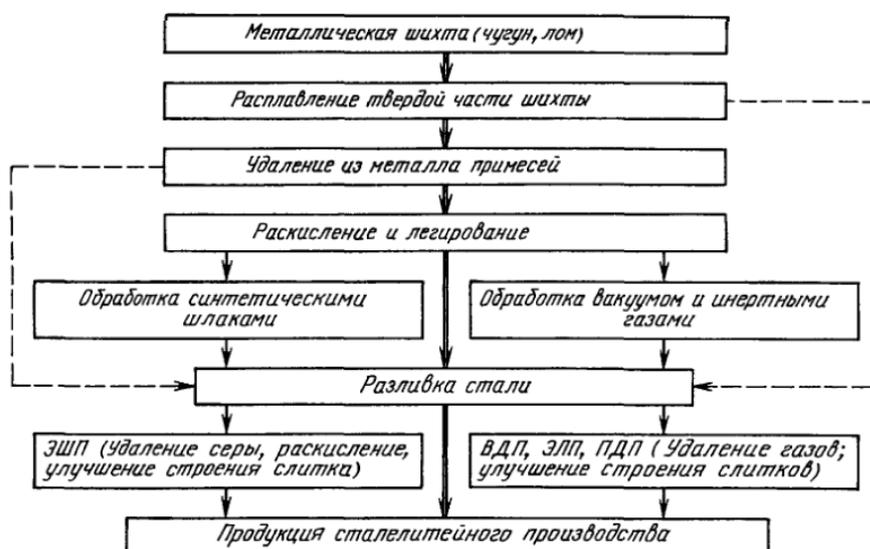


Рис.3.11. Схема технологических процессов производства стали.

Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Cu), при плавке и разливке не

окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

3.7.1. Производство стали в мартеновских печах

Основной принцип действия - вдувание раскаленной смеси горючего газа и воздуха в печь с низким сводчатым потолком, отражающим жар вниз, на расплав. Нагревание воздуха происходит посредством продувания его через предварительно нагретый регенератор (специальная камера, в которой выложены каналы огнеупорным кирпичом). Нагрев регенератора до нужной температуры осуществляется очищенными горячими печными газами. Происходит попеременный процесс: сначала нагрев регенератора продувкой печных газов, затем продувка холодного воздуха.

Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавков.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах.

В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора.

Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, её используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

3.7.2. Производство стали в кислородных конвертерах

Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера – 130...350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака. Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака.

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. Плавка в конвертерах вместимостью 130...300 т заканчивается через 25...30 минут.

3.7.3 Производство стали в электропечах

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру металла,
- в) возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов:

- а) на шихте из легированных отходов (методом переплава),
- б) на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросили-

ций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь.

В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали – конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные. Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры.

В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов *методом переплава*, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов *методом сплавления*.

После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами.

В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой – конструкционные, легированные другими элементами стали.

В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды.

При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

3.8 Принципы классификации и маркировки сталей

По структуре в отожженном (равновесном) состоянии различают следующие группы сталей:

- 1) техническое железо с содержанием углерода менее 0,02 %. Структура сплава однофазная – феррит ;
- 2) доэвтектоидные стали с содержанием углерода от 0,02 до 0,8%. Структура сплавов состоит из феррита и перлита, причем с увеличением содержания углерода доля перлита в структуре возрастает;
- 3) эвтектоидная сталь с содержанием углерода 0,8%. Структура стали – перлит: чередующиеся пластинки феррита и цементита;
- 4) заэвтектоидные стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 %.



Структура состоит из участков перлита, разделенных хрупкими цементитными оболочками.

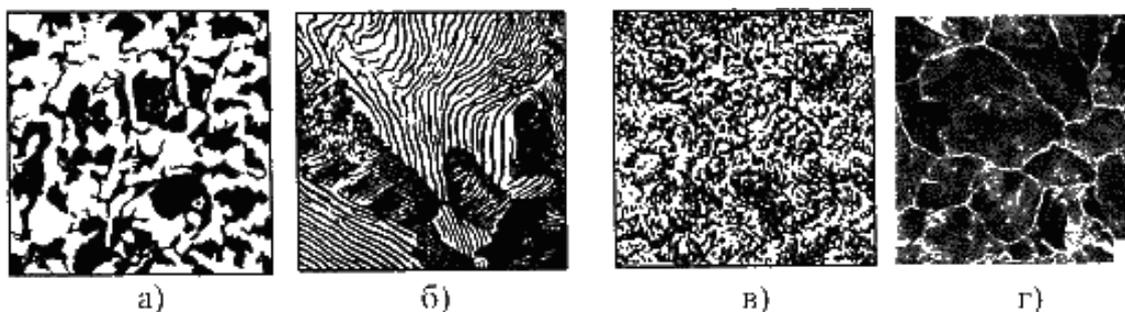


Рис. 3.16. Микроструктуры сталей:

а – доэвтектоидная сталь (феррит+перлит); б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь (перлит + вторичный цементит).

Классификация сталей по качеству лежит в основе маркировки сталей. Качество стали – это металлургическое понятие. Оно определяется содержанием вредных примесей: серы, фосфора и газов. Чем этих примесей меньше, тем качество стали выше. Дальнейшая обработка, механическая или термическая, не способна изменить качество стали, сложившееся в процессе выплавки. Выделяют четыре группы сталей (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Классификация стали по качеству.

Обыкновенного качества, маркировка «Ст»	Качественные, маркировка «Сталь»	Высококачественные, маркировка «А» в конце марки	Особо высококачественные, маркировка «Ш» в конце марки
ГОСТ 380-94 ≤ 0,05 % S ≤ 0,04 % P	ГОСТ 1050-88 ≤ 0,04 % S ≤ 0,035 % P	≤ 0,025 % S и P	≤ 0,015 % S и P

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-88) маркируют буквенно-цифровым кодом и по гарантии свойств, при поставке подразделяют на три группы: А, Б и В. Буквы «Ст» означают сталь, цифры от 0 до 6 – условный номер марки, например Ст0, Ст2 и т. д.

Стали группы А. Поставляются с определёнными регламентированными механическими свойствами. Их химический состав не регламентируется. Эти стали применяются в конструкциях, узлы которых не подвергаются горячей обработке — ковке, горячей штамповке, термической обработке и т. д. В связи с этим механические свойства горячекатаной стали сохраняются.

Стали группы Б. Поставляются с определённым регламентированным химическим составом, без гарантии механических свойств. Эти стали применяются в изде-

лиях, подвергаемых горячей обработке, технология которой зависит от их химического состава, а конечные механические свойства определяются самой обработкой.

Стали группы В. Поставляются с регламентируемыми механическими свойствами и химическим составом. Эти стали применяются для изготовления сварных конструкций. Их свариваемость определяется химическим составом, а механические свойства вне зоны сварки определены в состоянии поставки. Такие стали применяют для более ответственных деталей.

По степени раскисления:

Степень раскисления определяется содержанием кремния (Si) в этой стали. По степени раскисления углеродистые стали обыкновенного качества делятся на: спокойные (СП) – не менее 0,12 % (Si), полуспокойные (ПС) – 0,07-0,12 % (Si), кипящие (КП) – не более 0,07 % (Si)

Раскислением называют последний этап выплавки стали, когда в расплав добавляют более активные, чем железо, металлы с целью отнять у железа кислород, восстановить его из оксида FeO. Марганец и кремний вводятся в жидкую сталь в виде ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция, алюминий – в виде металла технической чистоты.

Маркировка конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества: Ст1кп2; БСт2пс; ВСт3Гпс; Ст4-2; ... ВСт6сп3. Буква перед маркой показывает группу стали. Сталь группы А буквой не обозначается. Ст — показывает, что сталь обыкновенного качества. Первая цифра — номер по ГОСТу (от 0 до 6). Буква Г после первой цифры — повышенное содержание марганца (Mn) (служит для повышения прокаливаемости стали). сп; пс; кп – степень раскисления стали (Для стали группы А отсутствие обозначения подразумевает «сп»). Вторая цифра — номер категории стали (от 1 до 6 — основные механические свойства). Сталь 1-й категории цифрой не обозначается.

Качественными углеродистыми сталями являются стали марок: Сталь08; Сталь10; Сталь15 ...; Сталь78; Сталь80; Сталь85. Сталь – слово «Сталь» указывает, что данная углеродистая сталь качественная. Цифра – указывает на содержание в стали углерода (С) в сотых долях процента.

Стали повышенной обрабатываемости (автоматные) являются стали марок: например А12, А20, А35, где вначале стоит буква «А». Имеют высокое содержание серы и фосфора, а также они, специально легированны селеном (Se), теллуrom (Te) или свинцом (Pb). Указанные элементы способствуют повышению скорости резания, уменьшают усилие резания и изнашиваемость инструмента, улучшают чистоту и размерную точность обработанной поверхности, облегчают отвод стружки из зоны резания и т. д.

Легированные конструкционные стали. Две цифры в начале маркировки указывают на конструкционные стали. Это содержание в стали углерода в сотых долях процента. Буква без цифры – определённый легирующий элемент с содержанием в стали менее 1 %. (А – азот, Р – бор, Ф – ванадий, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Х – хром, П – фосфор, Ч – редкоземельные металлы, В – вольфрам, Т – титан, Ю – алюминий, Б – ниобий)

Буква и цифра после неё — определённый легирующий элемент с содержанием в процентах (цифра). Буква А в конце маркировки – указывает на высококачественную сталь. Например 38Х2Н5МА – это среднелегированная высококачественная хромоникелевая конструкционная сталь. Химический состав: углерод – около 0,38 %; хром – около 2 %; никель – около 5 %; молибден – около 1 %.

3.9 Применение сталей

Применение **углеродистых конструкционные стали** обыкновенного качества: Ст1; Ст2 – проволока, гвозди, заклёпки. Ст3; Ст4 – крепёжные детали, фасонный прокат; Ст5; Ст6 – слабонагруженные валы, оси.

Стали **углеродистые качественные** Сталь08, Сталь08КП, Сталь08ПС относятся к мягким сталям, применяемым чаще всего в отожжённом состоянии для изготовления деталей методом холодной штамповки – глубокой вытяжки. Стали марок Сталь10, Сталь15, Сталь20, Сталь25 обычно используют как цементируемые, а высокоуглеродистые Сталь60 ... Сталь85 – для изготовления пружин, рессор, высокопрочной проволоки и других изделий с высокой упругостью и износостойкостью. Сталь30 ... Сталь50 и аналогичные стали с повышенным содержанием марганца

Сталь30Г, Сталь40Г, Сталь50Г применяют для изготовления самых разнообразных деталей машин.

Стали повышенной обрабатываемости используют в массовом производстве для изготовления деталей на станках-автоматах. Стали с повышенным содержанием серы и фосфора обладают пониженными механическими свойствами и их используют для изготовления малонагруженных неответственных деталей.

Легированные конструкционные стали применяются для наиболее ответственных и тяжелонагруженных деталей машин. Практически всегда эти детали подвергаются окончательной термической обработке — закалке с последующим высоким отпуском в районе 550-680 °С (улучшение), что обеспечивает наиболее высокую конструктивную прочность.

Хромистые, обладающие хорошей твердостью, прочностью, сравнительно недорогие. К ним относятся стали марок 15Х, 20Х, 30Х, 45Х, боросодержащие 40ХР, с цирконием 40ХЦ.

Марганцевые, например 15Г, 20Г, 40Г, 45Г2, отличающиеся износоустойчивостью. Особенно износоустойчива сталь марки Г13, которую применяют для гусениц "тракторов, железнодорожных стрелок.

Кремнистые и хромокремнистые (33ХС, 55ХС), обладающие высокой твердостью и упругостью; применяются для пружин, рессор.

Хромованадиевые (45ХФ, 40ХФА) особо прочные, плотные, хорошо противостоящие истиранию, применяемые для автомобильных деталей, осей, валов.

Хромомолибденовые (20ХМА, 30ХМА) очень прочные, хорошо сваривающиеся, штампуемые, используемые для осей, роторов.

Хромомарганцевокремнистые стали — хромансиль (25ХГСА, 30ХГСА), которые заменяют хромомрлибде - новую сталь и значительно дешевле ее.

Хромоникелевые (12Х2Н4А, 20ХН3А), очень прочные и пластичные; применяются для изготовления коленчатых валов, поршней, деталей турбин.

Хромоникелевольфрамовые, хромоникелеванадиевые и другие стали марок 40ХН2МА, 13Х3НФА, 45ХН2МФА; применяют для высоконагруженных деталей машин: зубчатых колес, шатунов, Деталей турбин и т. д.

Стали конструкционные теплоустойчивые. К теплоустойчивым конструкционным относятся стали, используемые в энергетическом машиностроении для изготовления котлов, сосудов, паронагревателей, паропроводов, а также в других отраслях промышленности для работы при повышенных температурах. Рабочие температуры теплоустойчивых сталей достигают 600-650 °С, причём детали из них должны работать без замены длительное время (до 10000-20000 ч.).

При давлениях 6 МПа и температурах до 400 °С используются углеродистые котельные стали (12К, 15К, 18К, 20К). Для деталей энергоблоков, работающих при давлении до 25.5 МПа и температурой до 585 °С применяются стали, легированные хромом, молибденом, ванадием. Содержание углерода 0.08-0.27 %. Термообработка этих сталей заключается в закалке или нормализации с обязательным высоким отпуском.

Стали конструкционные подшипниковые. Особенностью эксплуатации подшипников являются высокие локальные нагрузки. В связи с этим к чистоте стали предъявляются чрезвычайно высокие требования, особенно по неметаллическим включениям карбидной неоднородности. Обеспечение высокой статической грузоподъёмности достигается применением в качестве материала для подшипников заэвтектонидных легированных хромом сталей, обработанных на высокую твёрдость. Сталь ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ.

Стали конструкционные рессорно-пружинные. Общее требование, предъявляемое к рессорно-пружинным сталям, — обеспечение высокого сопротивления малым пластическим деформациям (предел упругости) и релаксационной стойкости (сопротивление релаксации напряжений). 14ХН4А, 38Х2Н5М, 20ХН3А, 50ХФА, 55С2. Пружины, рессоры, упорные шайбы, тормозные ленты, фрикционные диски, шестерни, фланцы, корпуса подшипников, зажимные и подающие цанги и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости, и детали, работающие без ударных нагрузок.

Инструментальные стали предназначены для изготовления инструментов 4-х типов: режущих, измерительных, штампов холодного деформирования и штампов горячего деформирования. Важнейшее условие работоспособности инструментов —

высокая износостойкость, а так же высокая твердость (в 2-3 раза большей, чем у обрабатываемого материала), прочностью и теплостойкостью (т.е. способностью сохранять высокую твердость при повышенных температурах, т.к. происходит нагрев режущей кромки). Для сталей теплостойкость определяется сопротивлением разупрочнению при отпуске (т.е. максимальная температура, до которой сохраняется мартенситная структура). Для штампов важна ударная вязкость. У10А, У11, У11А, У8ГА, 55Х7ВСМФ, 5ХВ2СФ, 5ХНВ, 5ХНВС, 6Х3МФС, 8ХФ, 9Г2Ф,....

Ферритные криогенные стали. Широкое распространение в качестве материала для криогенной техники получили ферритные низкоуглеродистые железоникелевые стали, содержание 3,5-9 % Ni и менее 0,1 % углерода. Эти стали более технологичны и имеют более высокие прочностные свойства по сравнению с хромоникелевыми аустенитными сталями. Никель, уменьшая энергию взаимодействия дислокаций с атомами примесей внедрения в кристаллической решетке железа, эффективно снижает порог хладноломкости и повышает работу развития трещины в условиях вязкого разрушения. Чем больше содержание никеля в стали, тем ниже ее рабочая температура Ni = 3-4 % T = -120 °С, Ni=6-9 % T=-196 °С. Практическое применение для изготовления криогенного оборудования получили стали: ОН6 (6-7 % Ni, 0,03-0,06 % С) и ОН9 (8,5-9,5 %Ni, 0,06-0,07 % С). Эти стали обычно подвергают нормализации (Н) и двойной нормализации с отпуском (ДНО). Термическая обработка обычно указывается в маркировке: ОН9Н, ОН9ДНО.

3.10. Принципы классификации и маркировки чугунов и их применение

Чугуны маркируют двумя буквами, обозначающих разновидность чугуна, и двумя цифрами, соответствующими минимальному значению временного сопротивления σ_v при растяжении в МПа. Серый чугун обозначают буквами "СЧ" (ГОСТ 1412-85), высокопрочный - "ВЧ" (ГОСТ 7293-85), ковкий - "КЧ" (ГОСТ 1215-85), чугун с вермикулярным графитом – ЧВГ (ГОСТ 28384 -89): СЧ 10 - серый чугун с пределом прочности при растяжении 100 МПа, ВЧ 70 - высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении 700 МПа, КЧ 35 - ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 350 МПа, ЧВГ 40 – чугун с вермикулярным графитом с пределом прочности при растяжении 400 МПа.

Антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585-85) – обозначаются первыми буквами АЧ и порядковым номером, например, АЧС-1 – антифрикционный серый чугун с порядковым номером марки 1, АЧВ-2 – антифрикционный высокопрочный чугун с порядковым номером марки 2, АЧК-2 – антифрикционный ковкий чугун с порядковым номером марки 2.

Жаростойкие чугуны (ГОСТ 7769 – 82) – обозначаются буквами ЖЧ, после которых идет буквенное обозначение легирующих элементов (Н – никель, Д – медь и др., аналогично обозначению легирующих элементов в стали) и цифры, указывающие концентрацию элементов в %; например, ЖЧХ-2,5 – жаростойкий чугун хромистый с содержанием Cr 2,5%, ЖЧС-5,5 – жаростойкий чугун, легированный Si с содержанием 5,5%.

Серые чугуны – это литейный чугун. Серый чугун поступает в производство в виде отливок. Серый чугун является дешевым конструкционным материалом. Он обладает хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатывается резанием, сопротивляется износу, обладает способностью рассеивать колебания при вибрационных и переменных нагрузках. Свойство гасить вибрации называется демпфирующей способностью. Демпфирующая способность чугуна в 2-4 раза выше, чем стали. Высокая демпфирующая способность и износостойкость обусловили применение чугуна для изготовления станин различного оборудования, коленчатых и распределительных валов тракторных и автомобильных двигателей и др. Выпускают следующие марки серых чугунов (в скобках указаны числовые значения твердости HB) :СЧ 10(143-229), СЧ 15 (163-229), СЧ 20 (170-241), СЧ 25 (180-250), СЧ 30(181-255), СЧ 35 (197-269), СЧ 40 (207-285), СЧ 45 (229-289). Серые чугуны применяют для изготовления деталей, работающих с небольшими нагрузками, в основном, на сжатие. Это могут быть колонны, опоры, корпуса, станины, крышки, суппорты, зубчатые колеса, канализационные трубы, ванны, батареи.

Высокопрочный чугун. Механические свойства высокопрочного чугуна позволяют применять его для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях, вместо поковок или отливок из стали. Такие чугуны выдерживают значительные растягивающие нагрузки, поэтому применяются для более ответственных

деталей: кузнечно-прессового оборудования, станин прокатных станов, коленчатых валов автомобилей, поршней, вентилях, крыльчаток, распределительных валиков. Отливки из высокопрочного чугуна широко используются в автомобиле- и тракторостроении вместо более дорогих стальных поковок. Их можно подвергать упрочняющей термообработке. Низкое содержание серы и фосфора и небольшие пределы содержания других химических элементов обеспечиваются тем, что такой чугун выплавляют не в вагранке, а в электрической печи. После термической обработки механические свойства чугуна получаются весьма высокими: $\sigma_{\text{в}} = 620\text{-}650$ МПа; $\delta = 8\text{-}12$ % и твердость НВ = 192-240.

Ковкий чугун – условное название более пластичного чугуна по сравнению с серым. Ковкий чугун никогда не куется. Отливки из ковкого чугуна получают длительным отжигом отливок из белого чугуна с перлитно-цементитной структурой. Толщина стенок отливки не должна превышать 40-50 мм. При отжиге цементит белого чугуна распадается с образованием графита хлопьевидной формы. У отливок с толщиной стенок более 50 мм при отжиге будет образовываться нежелательный пластинчатый графит. Ковкий чугун широко применяют в автомобильном, сельскохозяйственном и текстильном машиностроении. Из него изготавливают детали высокой прочности, способные воспринимать повторно-переменные и ударные нагрузки и работающие в условиях повышенного износа, такие как картер заднего моста, тормозные колодки, ступицы, пальцы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин, шестерни, крючковые цепи и др.

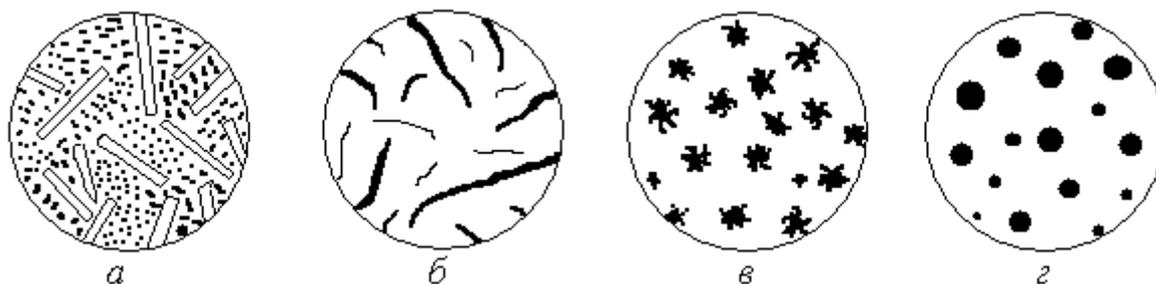


Рис.3.17. Виды чугунов:

а – белый заэвтектический; *б* – серый; *в* – ковкий; *г* – высокопрочный
(*б*, *в*, *г* – структура металлической основы не показана).

ТЕМА 4. ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ. ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ И ОХЛАЖДЕНИИ

4.1. Превращения при термической обработке стали

Основой для изучения термической обработки стали является диаграмма железо – углерод (область сталей).

При рассмотрении разных видов термообработки железо-углеродистых сплавов (стали, чугуны) используются следующие условные обозначения критических точек этих сплавов (рис. 4.1).

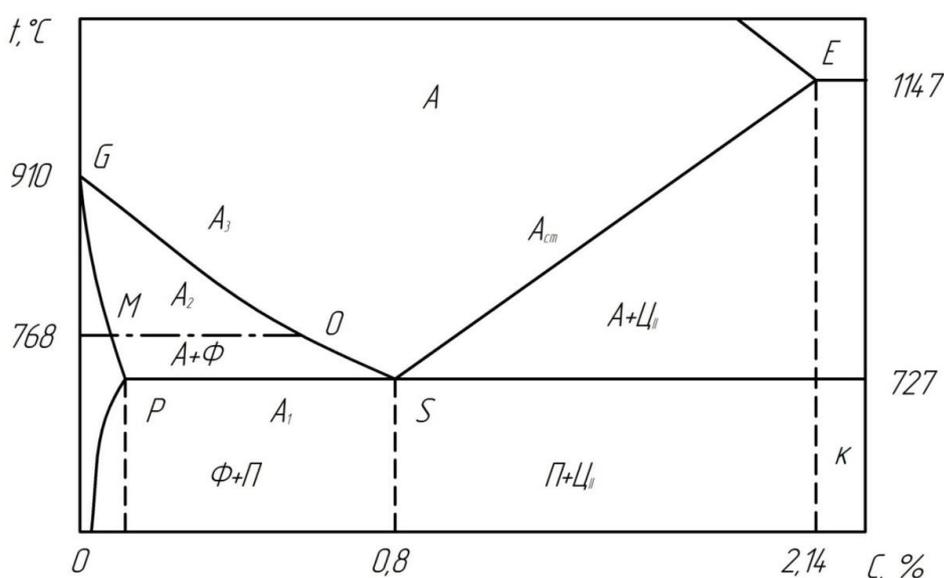


Рис. 4.1. Обозначение критических точек стали.

Температуры равновесных превращений (критические точки) принято обозначать буквой А с соответствующим индексом:

Эвтектоидную температуру (линия PSK) обозначают A_1 (727 °C), температуру магнитного превращения A_2 (точка Кюри 768 °C), температуру линии GS – A_3 , температуру полиморфного превращения $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\delta$ – A_4 , температуру линии SE – A_{cm} .

Вследствие гистерезиса температуры превращений при нагреве всегда выше соответствующих температур при охлаждении, поэтому введена дополнительная индексация – при нагреве – индекс *c*, при охлаждении – индекс *r*.

Четыре основных превращения при термической обработке в стали:

1. Превращение **перлита в аустенит**, протекающее выше точки A_1 : $(\alpha + Fe_3C \rightarrow \gamma)$
2. Превращение **аустенита в перлит**, протекающее ниже A_1 : $(\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C)$
3. Превращение **аустенита в мартенсит**: $\gamma \rightarrow M$
4. Превращение **мартенсита в перлит** (в феррито-карбидную смесь): $M \rightarrow \alpha + Fe_3C$.

С увеличением степени переохлаждать (т.е. чем ниже температура изотермической выдержки) растет число зародышей новых зерен, число феррито-цементитных пластинок увеличивается, а их размеры и расстояния между ними сильно сокращаются. Образуются механические смеси феррита и цементита – перлит, сорбит, троостит. Они различаются только по степени дисперсности. При этом повышается их твердость.

При медленном охлаждении со скоростью V_1 (вместе с печью) образуется сравнительно грубая пластинчатая смесь – обычный перлит. Твердость по Роквеллу $HRC = 10$; $\sigma_v = 600$ МПа (рис. 4.2).

При охлаждении на воздухе со скоростью V_2 образуется **сорбит**, который отличается от перлита более тонкодисперсным строением $HRC = 20$; $\sigma_v = 850$ МПа.

При охлаждении в масле со скоростью V_3 образуется еще более высокодисперсный **троостит**, $HRC = 30$; $\sigma_v = 1100$ МПа.

Лучшую пластичность и вязкость, а вместе с тем и прочность, имеет структура сорбита. Стали с сорбитной структурой более износостойкие. Они используются для изготовления нагруженных изделий. Стали со структурой троостита обладают значительной упругостью и используются для изготовления пружин, рессор.

При переохлаждении до температуры $200^\circ C$ скорость диффузии атомов железа и углерода практически равна нулю, следовательно, при этой температуре скорость превращения переохлажденного аустенита в перлит также равна нулю. Скорость диффузии мала, превращение носит бездиффузионный характер и весь углерод, растворенный в решетке аустенита, остается в решетке феррита.

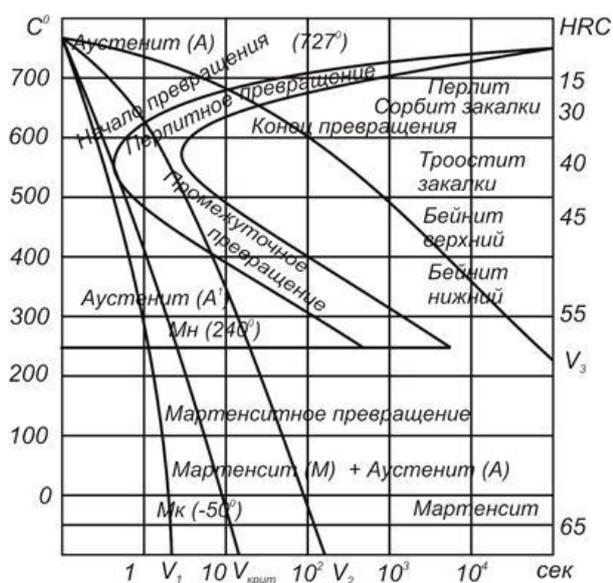


Рис.4.2. Диаграмма изотермического превращения аустенита.

В результате образуется пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе – **мартенсит**. При этом ОЦК-решетка сильно искажается, превращаясь из кубической в тетрагональную. Мартенсит – очень твердая и хрупкая структура. Свойства зависят от количества углерода: $HRC = 55-65$, $\sigma_{\text{в}} = 1600 - 2200$ МПа.

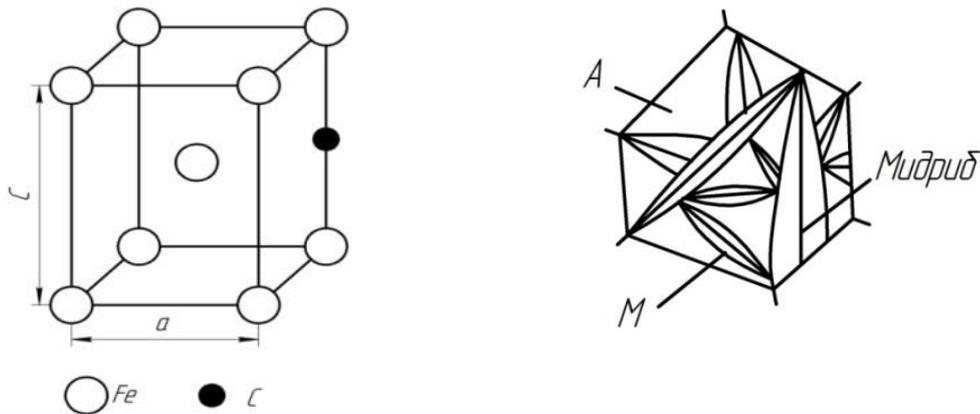


Рис.4.3. Структура мартенсита.

В интервале температур между перлитным и мартенситным превращениями происходит промежуточное превращение – **бейнитное**. В отличие от перлитного превращения, протекающего по диффузионному механизму, бейнитное превращение протекает как по диффузионному, так и по бездиффузионному (мартенситному) механизму. Поэтому бейнитное превращение иначе называют промежуточным. При таких степенях переохлаждения диффузия атомов возможна, а диффузия атомов железа практически проходить не может. Результатом распада аустенита в бейнитной

области является структура бейнита – пересыщенного углеродом феррита, имеющего игольчатое строение. Обладает благоприятным сочетанием свойств прочности ($\sigma_B = 1350$ МПа), твердости (HRC = 40) и пластичности.

4.2 Отжиг

Отжиг – термическая обработка, заключающаяся в нагреве металла до определенной температуры, выдержки и охлаждении с отключенной печью (т.е. с минимально возможной скоростью, порядка 50-100 град/час).

Цели отжига – снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений. Для стали применяют различные виды отжига: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный, низкий, отжиг на зернистый перлит, нормализация.

Различают 2 вида отжига:

Отжиг 1-го рода – без фазовой перекристаллизации – применяется для приведения металла в более равновесное структурное состояние: снимается наклёп, понижается твёрдость, возрастают пластичность и ударная вязкость, снимаются внутренние напряжения (в связи с процессами отдыха и рекристаллизации).

Отжиг 2-го рода осуществляется с фазовой перекристаллизацией: металл нагревается до температуры выше критических точек, затем следует выдержка различной продолжительности и последующее сравнительно медленное охлаждение.

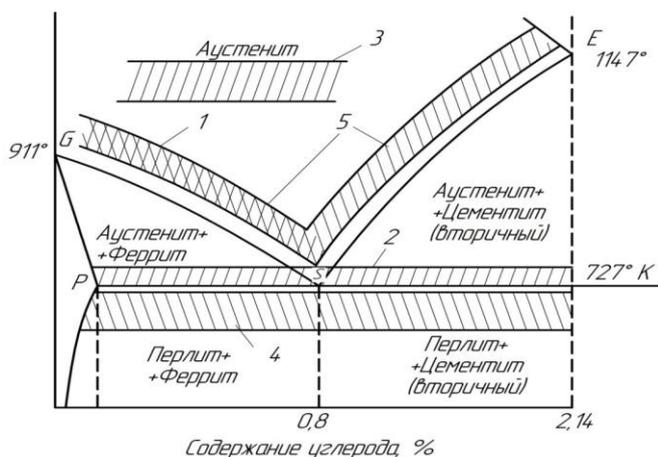


Рис. 4.4. Области температур нагрева для различных видов отжига:

- 1 - полный отжиг; 2 - неполный отжиг; 3 - диффузионный отжиг;
- 4 - рекристаллизационный отжиг; 5 – нормализация

Полный отжиг осуществляется главным образом после горячей механической обработки и литья углеродистых и легированных сталей. Основной целью полного отжига кованых и литых деталей является измельчение зерна, смягчение металла для улучшения его обработки режущим инструментом и устранение внутренних напряжений. Это достигается нагревом, не превышающим $20-40^{\circ}\text{C}$ верхней критической точки A_{C3} , и медленным охлаждением. Время выдержки при температуре отжига обычно складывается из времени, необходимого для полного прогрева всей массы деталей, и времени, нужного для окончания структурных превращений. В результате полного отжига деталей, изготовленных из доэвтектоидной углеродистой стали, получается пластинчатый перлит, а зерна феррита располагаются в виде разорванной сетки.

Неполный отжиг. Если до отжига структура стали была удовлетворительная, но сталь обладает повышенной твердостью и в деталях имеются внутренние напряжения, то целесообразнее применять неполный отжиг. Детали при таком отжиге нагревают при температуре, немного превышающей точку A_{C1} . Неполный отжиг изменяет структуру перлита, однако, структура феррита может оставаться неизменной. Внутренние напряжения снимаются полностью, и сталь получает пониженную твердость и хорошо обрабатывается механически.

Рекристаллизационный отжиг предназначен для снятия наклепа и внутренних напряжений после холодной деформации и подготовки структуры к дальнейшему деформированию. Нагрев необходимо осуществлять выше температуры рекристаллизации, которая для железа составляет 450°C . Обычно, для повышения скорости рекристаллизационных процессов применяют значительно более высокие температуры, которые, однако, должны быть ниже линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C. Поэтому температура нагрева для рекристаллизационного отжига составляет $650-700^{\circ}\text{C}$. В результате рекристаллизационного отжига образуется однородная мелкозернистая структура с небольшой твердостью и значительной вязкостью. Этот вид отжига применяют в основном для малоуглеродистых сталей, предназначенных для холодной деформации.

Диффузионный отжиг (гомогенизация) заключается в нагреве стали до 1000-1100°C, длительной выдержке (10-15 часов) при этой температуре и последующем медленном охлаждении. В результате диффузионного отжига происходит выравнивание неоднородности стали по химическому составу. Благодаря высокой температуре нагрева и продолжительной выдержке получается крупнозернистая структура, которая может быть устранена последующим полным отжигом. Этот вид отжига применяют в основном для легированных сталей.

Нормализация – это термическая операция, которая заключается в нагреве стали до аустенитного состояния (выше A_3 или выше A_{cm}) и охлаждение на воздухе. При нормализации охлаждение проводят на спокойном воздухе. При этом скорость охлаждения составляет 200–250 град/час. Нормализация – более дешевая операция, чем отжиг, т.к. печи используют только для нагрева и выдержки при температуре нормализации. Охлаждение осуществляют на воздухе, вне печи. Цель нормализации – устранить дефекты предыдущих операций горячей обработки (литья иковки), или подготовить структуру к последующим технологическим операциям (например, обработке резанием или закалке).

Изотермический отжиг. В заводской практике с целью экономии времени чаще проводят изотермический отжиг. Сталь нагревают выше критической точки, быстро охлаждают до температуры, лежащей на 50-100 град ниже равновесной точки A_1 и выдерживают до полного распада аустенита. Поскольку температуру контролировать легче, чем скорость охлаждения, такой отжиг дает более стабильные результаты. В настоящее время изотермический отжиг применяют чаще, чем отжиг с непрерывным охлаждением, особенно для легированных сталей, так как это сокращает продолжительность операции.

Патентирование. Патентирование применяется для получения высокопрочной канатной проволоки. При этом сталь нагревают до температуры превышающей A_3 на 1050-2000 °С, а затем охлаждают до 450-550 °С в соляной или свинцовой ванне и наматывают на барабан. После такого отжига сталь имеет структуру мелкозернистого троостита. Затем сталь подвергается волочению, что позволяет получить предел прочности до 2000-3000 МПа.

4.3 Закалка

Закалка – это термическая операция, которая заключается в нагреве сплава до температуры выше критических точек и охлаждении с высокой скоростью. В зависимости от того происходит ли в сплаве полиморфное превращение, цель закалки различна. Если в сплаве не протекает полиморфного превращения, закалкой можно зафиксировать при комнатной температуре высокотемпературное структурное состояние. Если в сплаве протекает полиморфное превращение, что происходит, например, в углеродистой стали, закалку применяют для получения другой структуры – мартенсита.

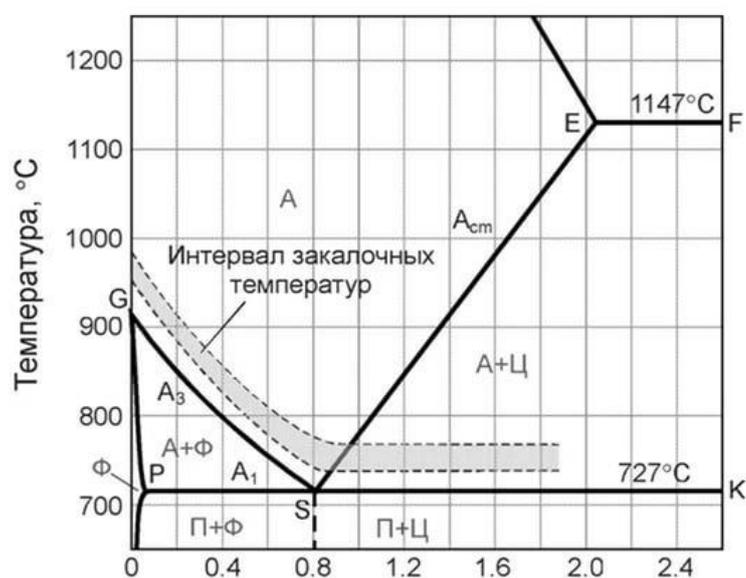


Рис. 4.5. Температурный интервал нагрева под закалку.

В зависимости от температуры нагрева, закалку подразделяют на полную и неполную.

В случае **полной закалки** (рис. 4.6.) материал нагревают на 30-50°C выше линии GS для доэвтектоидной стали и эвтектоидной, и выше линии SK для заэвтектоидной стали. При этом сталь приобретает структуру аустенит и аустенит + цементит, затем при быстром охлаждении преимущественно образуется мартенсит (для доэвтектоидной стали) и мартенсит +цементит (для заэвтектоидной стали).

При **неполной закалке** (рис.4.7.) производят нагрев выше линии PSK диаграммы на 30 - 50°C, что приводит к образованию феррита + аустенита (для доэв-

тектоидной стали) и аустенита (для заэвтектоидной стали). При быстром охлаждении будет образован феррит + мартенсит (для доэвтектоидной стали) и аустенит + мартенсит (для заэвтектоидной стали). Неполная закалка, как правило, применяется для инструментальных сталей.

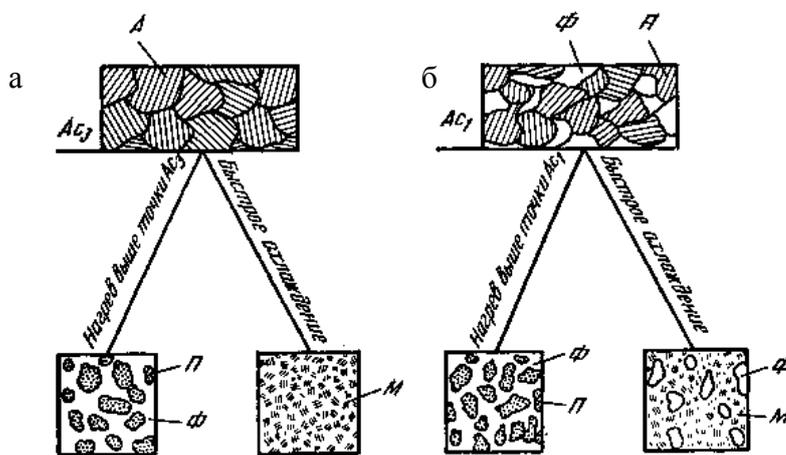


Рис. 4.6. Структурные превращения в доэвтектоидной стали при закалке:
а – полная закалка; б – неполная закалка.

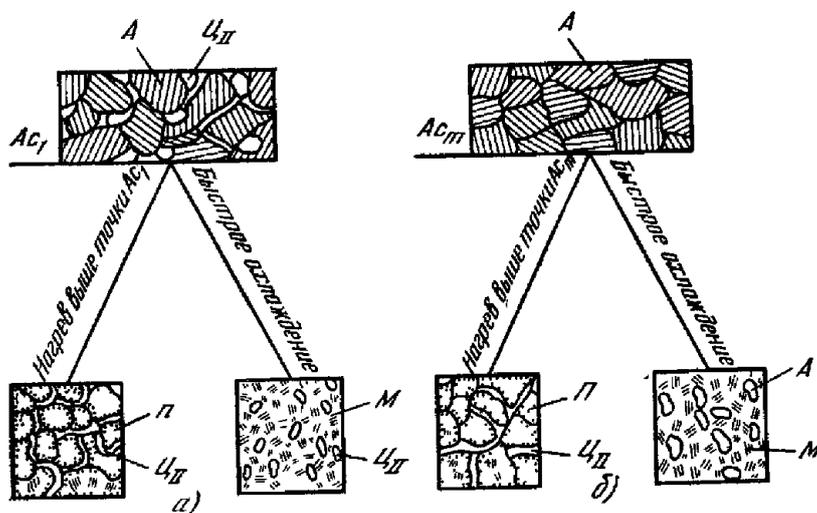


Рис. 4.7. Структурные превращения в заэвтектоидной стали при закалке: а – неполная закалка; б – полная закалка.

Закалка в одном охладителе – нагретую до определённых температур деталь погружают в закалочную жидкость, где она остаётся до полного охлаждения. Этот

способ применяется при закалке несложных деталей из углеродистых и легированных сталей.

Прерывистая закалка в двух средах — этот способ применяют при закалке высокоуглеродистых сталей. Деталь сначала быстро охлаждают в быстро охлаждающей среде (например воде), а затем в медленно охлаждающей (масло).

Струйчатая закалка заключается в обрызгивании детали интенсивной струёй воды и обычно её применяют тогда, когда нужно закалить часть детали. При этом способе не образуется паровая рубашка, что обеспечивает более глубокую прокаливаемость, чем простая закалка в воде. Такая закалка обычно производится в индукторах на установках ТВЧ.

Ступенчатая закалка — закалка, при которой деталь охлаждается в закалочной среде, имеющей температуру выше мартенситной точки для данной стали. При охлаждении и выдержке в этой среде закаливаемая деталь должна приобрести во всех точках сечения температуру закалочной ванны. Затем следует окончательное, обычно медленное, охлаждение, во время которого и происходит закалка, то есть превращение аустенита в мартенсит.

Изотермическая закалка. В отличие от ступенчатой при изотермической закалке необходимо выдерживать сталь в закалочной среде столько времени, чтобы успело закончиться изотермическое превращение аустенита.

4.4 Отпуск

Закаленная сталь очень твердая, но она хрупкая, у нее низкая пластичность и большие внутренние напряжения. В таком состоянии изделие не работоспособно, не надежно в эксплуатации. Поэтому для уменьшения внутренних напряжений и повышения пластичности после закалки всегда следует еще одна операция термической обработки, которая называется отпуск.

Отпуск — заключительная термическая операция, состоящая в нагреве закаленного сплава ниже температуры фазового превращения (для углеродистой стали это ниже температуры A_{c1}), выдержке и охлаждении на воздухе. Целью отпуска является получение более равновесной структуры, снятие внутренних напряжений,

повышение вязкости и пластичности, создание требуемого комплекса эксплуатационных свойств стали.

Низкий отпуск углеродистой стали проводят при температуре 150-200 °С. При этом из мартенсита выделяется часть избыточного углерода с образованием мельчайших карбидных частиц. Но поскольку скорость диффузии здесь еще мала, некоторая часть углерода в мартенсите остается.

Целью низкого отпуска является снижение внутренних напряжений и некоторое уменьшение хрупкости при сохранении высокой твердости, прочности и износостойкости изделий. Структура стали в результате низкого отпуска представляет собой мартенсит отпуска или мартенсит отпуска и вторичный цементит. Закалке и низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент, а так же изделия, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью. Закалке и низкому отпуску подвергают стали с 0,7-1,3 %С.

Средний отпуск проводят при температуре 350-450 °С. При этом из мартенсита уже выделяется весь избыточный углерод с образованием цементитных частиц. Тетрагональные искажения кристаллической решетки железа снимаются, она становится кубической. Мартенсит превращается в феррито-цементитную смесь с очень мелкими, в виде иголок, частицами цементита, которая называется трооститом отпуска.

При этом происходит некоторое снижение твердости при значительном увеличении предела упругости и улучшения сопротивляемости действию ударных нагрузок. Закалку и средний отпуск проводят для пружин, рессор, ударного инструмента. Средний отпуск применяют для стали с содержанием углерода 0,5–0,65 %.

Высокий отпуск проводят для среднеуглеродистых сталей с содержанием углерода 0,3-0,45 %. Он заключается в нагреве закаленной стали до температуры 550-650 °С. Цель высокого отпуск – достижение оптимального сочетания прочности, пластичности и вязкости. Структура стали после закалки и высокого отпуска – сорбит отпуска (мелкая смесь феррита и зернистого цементита, более крупного по сравнению с цементитом тростита отпуска). Термическая обработка, состоящая из закалки и последующего высокого отпуска, является основным видом термической

обработки изделий из конструкционных сталей, подвергающихся в процессе эксплуатации действию высоких напряжений и ударных, часто знакопеременных нагрузок. Закалку с последующим высоким отпуском называют улучшением.

ТЕМА 5. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

5.1 Общая характеристика химико-термической обработки стали

Химико-термической обработкой (ХТО) называют поверхностное насыщение стали химическими элементами путем их диффузии в атомарном состоянии из внешней среды при высокой температуре. В ходе данных процессов обязательно изменяется химический состав, микроструктура и свойства поверхностных слоев изделий. При ХТО обрабатываемые детали нагревают в каких-либо химически активных средах. Основные параметры обработки – температура нагрева и продолжительность выдержки. ХТО обычно осуществляется за длительное время. Температуру процесса выбирают конкретно для каждого вида обработки.

Первостепенными процессами любого вида ХТО являются диссоциация, абсорбция и диффузия. Диссоциация – разложение химического соединения для получения химических элементов в более активном, атомарном состоянии. Абсорбция – поглощение поверхностью детали атомов указанных неметаллов. Диффузия – перемещение абсорбированного элемента вглубь изделия. Скорости всех трех процессов обязательно должны согласовываться друг с другом. Для абсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом с образованием либо твердого раствора, либо химического соединения, так как при отсутствии этого химико-термическая обработка невозможна.

Скорость диффузии атомов в решетку железа неодинакова и зависит от состава и строения образующихся фаз. При насыщении углеродом или азотом, составляющими с железом твердые растворы внедрения, диффузия протекает быстрее, чем при насыщении металлами, образующими твердые растворы замещения. Поэтому в данном случае, используют более высокие температуры и длительное время обработки.

При определении толщины диффузионного слоя, полученного при насыщении стали тем или иным элементом, обычно указывается не полная его величина с измененным составом, а только глубина до определенной твердости или структуры (эффективная толщина).

Основными видами химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование, нитроцементация, цианирование и диффузионная металлизация.

5.2 Цементация

Цементацией называется процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом с целью повышения работоспособности деталей металлургических машин (всевозможные шестерни, зубчатые муфты и втулки, пальцы), испытывающих в процессе эксплуатации статические, динамические и переменные нагрузки и подверженных изнашиванию. При этом изделия, состоящие из низкоуглеродистых сталей (0,10 - 0,25% С), нагревают в среде, содержащей углерод. Выбор таких сталей необходим для того, чтобы сердцевина изделия, не насыщающаяся углеродом при цементации, сохраняла высокую вязкость после закалки.

Цементацию осуществляют в твёрдом карбюризаторе (угол, углекислый барий, углекислый натрий), в газовом карбюризаторе, в кипящем слое, в растворах электролитов, в пастах.

Изделия, подлежащие цементации в твёрдом карбюризаторе, после предварительной очистки укладывают в емкости, куда добавляют карбюризатор. После этого емкость помещают в печь. Смесь нагревают до 900-950°С. Продолжительность выдержки при рабочей температуре зависит от требуемой толщины слоя и размеров ящика. Для получения пласта глубиной 0,7-1,5 мм выдержка составляет 6-15 ч.

В основе процесса цементации лежат следующие химические превращения. В емкости имеется воздух, кислород которого при высокой температуре взаимодействует с углеродом карбюризатора, образуя СО. При этом угарный газ в присутствии железа разлагается по уравнению: $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}_{\text{ат}}$. Углерод, выделяющийся в результате этой реакции, в момент его образования является атомарным и диффундирует в аустенит: $\text{C}_{\text{ат}} \rightarrow \text{F}_\gamma \rightarrow \text{F}_\gamma(\text{C})$ - аустенит. Процесс твердого науглероживания имеет ряд недостатков: большое время (много вспомогательных операций),

трудно поддается автоматизации и контролю; требуется большое количество обслуживающего персонала; оборудование очень громоздкое.

Наиболее распространенным способом является газовое науглероживание, имеющее ряд преимуществ. В ходе него можно точно получить заданную концентрацию углерода в слое; сокращается длительность процесса, так как отпадает необходимость прогрева ящиков, наполненных малотеплопроводным карбюризатором; обеспечивается возможность полной механизации и автоматизации процессов и значительно упрощается последующая термическая обработка изделий. При нем детали нагревают в атмосфере углеродсодержащих газов. Для этого используют природные или искусственные газы. Метан - более активный карбюризатор. Основной реакцией, обеспечивающей науглероживание при газовой цементации, является диссоциация оксида углерода, образующегося в процессе окисления углеводородных газов, и диффузия формирующегося атомарного углерода в аустенит по вышеуказанным реакциям.

После цементации изделия приобретают мелкозернистую структуру заэвтектоидной стали, состоящей из перлита и вторичного цементита. Однако непосредственно по окончании процесса науглероживания детали не получают требуемых свойств. Это достигается термической обработкой. После цементации изделия подвергают закалке с отпуском. Это обеспечивает получение в поверхностном слое изделий высокой твердости при сохранении мягкой вязкой сердцевины, возникновение напряжений сжатия, увеличивающих предел выносливости и долговечность деталей.

5.3 Азотирование

Азотированием называется ХТО, при которой поверхностный слой детали насыщается азотом. Процесс осуществляется в атмосфере аммиака, который при нагревании разлагается. При этом увеличиваются не только твердость и износостойкость, а также предел выносливости и коррозионная стойкость в таких средах, как воздух, вода, пар и т. д.

Азотирование широко применяется для зубчатых колес, цилиндров мощных двигателей, многих деталей станков и других изделий.

В зависимости от условий работы деталей различают две разновидности процесса: для повышения поверхностной твердости и износостойкости, а также для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное).

Продолжительность процесса в обоих случаях зависит от требуемой толщины азотированного слоя. Чем выше температура насыщения, тем ниже твердость и больше его глубина. Снижение твердости насыщаемого слоя связано с коагуляцией частиц нитридов легирующих элементов.

В первом случае детали насыщают азотом при 500- 520°C, процесс продолжается от 24 до 90 ч. Содержание азота в поверхностном слое достигает 10- 12 %, толщина - порядка 0,3-0,6 мм, твердость доходит до 1000-1200 единиц HV. Для ускорения процесса его проводят двух ступенчато: вначале при 500-520°C, а затем при 560-600°C. Последующее охлаждение осуществляют вместе с печью в потоке аммиака.

Во втором случае азотирование проводят при 650-700 °C. Скорость диффузии увеличивается, продолжительность процесса сокращается до нескольких часов. На поверхности изделий образуется слой толщиной 0,01 - 0,03 мм, который обладает высокой коррозионной стойкостью. Для сокращения длительности процесса применяют азотирование в плазме тлеющего разряда.

Механизм процесса в обоих способах описывается следующими превращениями, включающими диссоциацию аммиака и поглощение атомарного азота железом: $2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{N}_{\text{ат}}$ и $\text{N}_{\text{ат}} \rightarrow \text{Fe}_\alpha \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{N}) \rightarrow \gamma'(\text{Fe}_4\text{N}) \rightarrow \varepsilon(\text{Fe}_{2-3}\text{N})$.

Азотированный слой на железе состоит из нитридной зоны, представляющей собой смесь твердых растворов на основе нитридов железа Fe_{2-3}N (ε , 8,0 - 11,2 % N_2) и Fe_4N (γ' , 5,60-5,95 % N_2), и подслоя азотистого феррита (α), в котором при охлаждении выделяется нитрид железа Fe_4N . При азотировании выше 600 °C между нитридным слоем и α -фазой образуется слой азотистого аустенита (γ).

Азотирование – завершающая операция при изготовлении деталей. Они подвергаются ей после окончательной механической и термической обработок – закалки с высоким отпуском. После этого в изделиях формируется структура сорбита, ко-

торая сохранится в его сердцевине и после насыщения и обеспечит ему повышенную прочность и вязкость. Такие детали имеют серый цвет.

Сравнивая цементацию и азотирование, можно отметить следующее: продолжительность первого вида обработки меньше; упрочненный слой получается более глубоким и допускает большие удельные давления при эксплуатации; твердость науглероженного слоя в 1,5 - 2,0 раза меньше и сохраняется при нагреве только до 180 – 125°C, в то время как азотированный удерживает твердость до 600-650°C.

5.4 Нитроцементация

Нитроцементацией называют процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом при 840-860°C в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа и аммиака. Продолжительность процесса 4-10 ч. Основное назначение нитроцементации – повышение твердости, износостойкости и предела выносливости стальных деталей.

Для нитроцементации легированных сталей рекомендуется использовать контролируемую эндотермическую атмосферу, к которой добавляют от 1,5 до 5,5 % объемн. необработанного природного газа и 1,0-3,5 % объемн. NH₃.

После нитроцементации следует закалка непосредственно из печи, реже вслед за повторным нагревом, применяют и ступенчатую закалку. Далее за закалкой проводят отпуск при 160-180 °С.

При оптимальных условиях насыщения структура нитроцементованного слоя должна состоять из мелкокристаллического мартенсита, небольшого количества мелких равномерно распределенных карбонитридов и 25- 30 % остаточного аустенита. Твердость поверхности после закалки и низкого отпуска HRC 58-60. Высокое содержание остаточного аустенита обеспечивает хорошую прирабатываемость.

5.5. Цианирование

Цианированием называют также совместное насыщение поверхности стали углеродом и азотом вследствие окисления расплавленных цианистых солей при нагревании до 820-960 °С.

Для получения слоя небольшой толщины (0,15 - 0,35 мм) процесс проводят при 820-860°C в ваннах, содержащих 20-25% цианистого натрия – NaCN, 25-50%

хлорида натрия – NaCl и 25-50% кальцинированной соды – Na₂CO₃. Продолжительность насыщения определяется требуемой глубиной слоя и составляет 30-90 минут. Вслед за цианированием закалку выполняют непосредственно из цианистой ванны и дают низкотемпературный отпуск (180-200°C). Твердость цианированного слоя после термической обработки – HRC 58-62; толщина 0,15-0,30 мм. Этот вид цианирования применяют для мелких деталей.

Для получения слоя большой глубины (0,5-2,0 мм) цианирование проводят при 930 – 960°C в ванне, содержащей 8% NaCN, 82% BaC₄ и 10% NaCl. Зеркало ванны покрывают графитом для предупреждения больших потерь тепла и угара цианистых солей. Продолжительность выдержки изделий в ванне составляет 1,5 - 6,0 ч. При высоких температурах сталь с поверхности в большей степени насыщается углеродом (до 0,8 - 1,2% C) и в меньшей степени - азотом (0,2 - 0,3% N). После цианирования детали охлаждают на воздухе, а затем закаливают с нагревом в соляной ванне или печи и подвергают низкотемпературному отпуску. Структура цианированного слоя после закалки такая же, как цементованного. Глубокое цианирование применяют на некоторых заводах вместо цементации.

5.6 Сульфазотирование

Сульфазотирование применяют для улучшения приработки, повышения износостойкости и противозадирных свойств, особенно при «сухом» и «полусухом» трении, применяют сульфазотирование, т. е. одновременное насыщение поверхности изделий азотом, углеродом и серой. Сульфазотированный слой имеет строение аналогичное азотированному слою, но на поверхности образуется тонкая оксисульфидная пленка. Процесс осуществляется при 560-620°C в атмосфере аммиака и эндогаза с добавками серосодержащих веществ H₂S, CS₂ и SO₂.

5.7 Борирование

Борирование стали - химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий бором при температурах 900...950 °C. Цель борирования – повышение твердости, износостойкости и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05...0,15 мм, состоящий из боридов FeB и Fe₂B, обладает весьма высокой твердостью, стойкостью к абразивному изнашива-

нию и коррозионной стойкостью. Борирование применяют также для повышения износостойкости поверхностного слоя стального изделия при повышенных температурах. Изделия, подвергшиеся борированию, обладают повышенной до 800°C окислительной стойкостью и теплостойкостью до 900-950°C. Твердость борированного слоя в сталях перлитного класса составляет 15 000-20 000 МПа. Борирование особенно эффективно для повышения стойкости (в 2...10 раз) штампового инструмента.

Борирование может осуществляться в твердых, жидких (электролизное и безэлектролизное борирование) и газообразных средах. При борировании в твердых средах, обрабатываемые детали помещаются в герметически закрываемые контейнеры, называемые боризаторами. Процесс твердофазного борирования, или борирования в порошковых средах, осуществляется в вакууме или водородных средах. Жидкофазное (безэлектролизное) борирование применяют только в случае обработки деталей сложной конфигурации. Углерод в процессе борирования оттесняется от поверхности стали и в насыщаемой зоне образуется зона сплошных боридов, химический состав форма и структура которых напрямую зависит от химического состава стали. Углерод и легирующие элементы уменьшают глубину насыщаемого слоя, чем выше их содержание, тем меньше глубина борирования.

5.8 Силицирование

Силицирование – поверхностное или объемное насыщение материала кремнием. Силицирование производится обработкой материала в парах кремния, образующихся при высокой температуре над кремниевой засыпкой, или в газовой среде, содержащей хлорсиланы, восстанавливающиеся водородом по реакции: $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 4\text{HCl}$.

Температура процесса насыщения 1100-1200° С. Глубина слоя достигает 0,8 мм, но продолжительность около суток. При насыщении из газовой фазы используют газ SiH_4 – моносилан. Силицирование чаще проводят одновременно с насыщением детали Al, этот процесс называют алюмосилицированием. В результате на поверхности образуется FeAl интерметаллидная фаза и Al_2O_3 . Силицирование применяют для деталей, работающих при повышенных температурах. Внедрение Si в поверхность позволяет повысить жаростойкость, т.е. сопротивление поверхности

окислению при высоких температурах. После силицирования на поверхности образуется окислы кремния, либо двойные окислы - шпинели FeSi_2O_4 , FeAl_2O_4 .

5.9 Диффузионное насыщение металлами

Насыщение поверхности стали металлами в ходе их высокотемпературной химико-термической обработки в соответствующих насыщающих средах называется диффузионной металлизацией. Целью такого вида химико-термической обработки является изменение состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали путем введения в него таких металлов, как хром, алюминий, титан, цинк, вольфрам, ванадий, ниобий. Диффузионная металлизация, в зависимости от насыщающего элемента, может проводиться в диапазоне температур от 400 до 1700 °С. Техническое исполнение этого вида химико-термической обработки может быть выполнено рядом способов, например, погружением обрабатываемой детали в ванну с расплавленным металлом. Такой метод применим в том случае, когда температура плавления насыщающего металла оказывается значительно ниже температуры плавления стали. В случае необходимости насыщения поверхности стальной детали тугоплавкими металлами возможно использование погружения детали в расплавы солей насыщающего металла, насыщения поверхности детали из газовой фазы, состоящей галогенидов диффундирующего металла, диффузии насыщающего металла путем его испарения из сублимированной фазы, метода циркуляционного газового насыщения и т. п.

Подобная химико-термическая обработка может включать в себя как насыщение только одним элементом, например, насыщение поверхности детали хромом – хромирование, насыщение алюминием – алитирование, так и насыщение группой металлов – хромоалитирование (одновременное насыщение хромом и алюминием), одновременное насыщение поверхности детали металлами и неметаллами – карбохромирование (насыщение поверхности углеродом и хромом). Совместное насыщение поверхности детали рядом элементов может проводиться как одновременно, так и последовательно.

В результате диффузионной металлизации в поверхности стали возникают слои высоколегированных твердых растворов диффундирующих элементов в желе-

зе, создавая принципиально иные физико-химические свойства поверхностных, защитных слоев изделия. Изделие, поверхность которого обогащена этими элементами, приобретает ценные свойства, к числу которых относятся высокая жаростойкость, коррозионная стойкость, повышенная износостойкость и твердость.

Алитирование – насыщение поверхности стали алюминием. В результате алитирования сталь приобретает высокую окислительную стойкость (до 850-900 °С), так как в процессе нагрева на поверхности алитированных изделий образуется плотная пленка окиси алюминия Al_2O_3 , предохраняющая металл от окисления.

Алитирование проводят в порошкообразных смесях (50% Al или ферроалюминия, 49% Al_2O_3 и 1% NH_4Cl или 99% ферроалюминия и 1% NH_4Cl) при температуре 1000°С и выдержке в течение 8ч. В результате образуется слой в 0,4-0,5 мм, насыщенный алюминием. Алитирование выполняется также металлизацией в расплаве алюминия (с 6-8% железа) при 700-800°С с последующей выдержкой и др. методами.

Структура алитированного слоя представляет собой твердый раствор алюминия в α -железе. Твердость алитированного слоя (на поверхности) до 500 HV, износостойкость низкая. Алитирование поверхности стальных и др. металлических деталей проводится с целью повышения окислительной стойкости до температуры 1100 °С и сопротивления атмосферной коррозии. Чаще всего алитируются детали из малоуглеродистых аустенитных сталей. Алитирование применяют также при изготовлении клапанов автомобильных двигателей, лопаток и сопел газовых турбин, деталей аппаратуры для крекинга нефти и газа, труб пароперегревателей, печной арматуры и т. п. Алитирование в расплавленном алюминии широко пользуются вместо горячего цинкования (листы, проволока, трубы, строит, детали).

Хромирование – способ химико-термической обработки, состоящий в высокотемпературном (900-1300 °С) диффузионном насыщении поверхности обрабатываемой детали хромом в насыщающих средах с целью придания ей жаростойкости (до 800 °С), коррозионной стойкости в пресной и морской воде, растворах солей и кислот, эрозионной стойкости. Диффузионное насыщение поверхности стали хромом, также уменьшает скорость ползучести материала, повышает его сопротивление

термическим ударам. Хромирование также повышает предел выносливости стали при комнатных и повышенных температурах, что связано с возникновением в слое сжимающих напряжений.

Хромирование сталей, содержащих свыше 0,3-0,4 % С, повышает также твердость и износостойкость. Диффузионный слой, получаемый при хромировании технического железа, состоит из твердого раствора хрома в α -железе. Карбидный слой обладает высокой твердостью. Твердость слоя, полученного хромированием железа, 250-300 HV, а хромированием стали – 1200 - 1300 HV.

Хромированию подвергаются стали различных классов – ферритных, перлитных и аустенитных, сталей различного назначения.

Структура хромированного слоя напрямую зависит от содержания в стали углерода. Если в малоуглеродистых сталях этот слой обычно состоит из твердого раствора замещения хрома в α -железе, то в случае высокоуглеродистых материалов может образовываться слой карбидов, состоящий, например, для сталей с 0,8-1,0 % углерода из карбидов Cr_{23}C_6 , расположенных в верхних слоях насыщенной хромом поверхности и карбида Cr_7C_3 лежащего ниже. Под карбидными слоями располагается эвтектоидный слой, состоящий из троостита и карбида Cr_7C_3 . Кроме углерода на параметры хромированного слоя влияет легирующий комплекс стали.

Наиболее широко применяется метод диффузионного хромирования в порошках, содержащих хром или феррохром и активные добавки в виде галогенидов аммония (контактный метод). При этом подвергающиеся химико-термической обработке детали укладываются в специальные контейнеры (ящики) с двойными крышками для повышения герметичности и подвергаются высокотемпературным нагревам в соответствующих смесях в течение 6-12 ч. Особо широкое применение этого метода объясняется простотой применяемого оборудования, отсутствием необходимости создания специальных производств и участков.

Кроме однокомпонентного насыщения поверхности стали хромом достаточно широкое применение нашли процессы совместного насыщения: углеродом и хромом – карбохромирование, хромом и кремнием – хромосилицирование, хромом и алюминием – хромоалитирование.

Карбохромирование – это процесс последовательного насыщения поверхности детали углеродом, а затем хромом, способствующий повышению твердости, износостойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости материала. Режимы и способы данной химико-термической обработки соответствуют режимам и способам цементации и хромирования изделий.

Хромосилицирование – это одновременное насыщение поверхности детали хромом и кремнием. Температура хромосилицирования составляет, в зависимости от состава обрабатываемого материала и способа хромосилицирования, 900-1200 °С. Детали, подвергшиеся хромосилицированию, по сравнению с хромированными деталями, обладают повышенной окислительной стойкостью и кислотостойкостью, повышенным сопротивлением эрозии в области высоких температур.

Хромоалитирование – это совместное или последовательное насыщение поверхности детали хромом и алюминием. Температура процесса находится в пределах 900–1200 °С. Хромоалитирование проводится для создания в поверхности детали слоев с повышенной, по отношению к хромированным деталям, жаростойкостью, достигающей 900 °С, и эрозионной стойкостью. В зависимости от требований, предъявляемых к обрабатываемому изделию, возможно получение хромоалитированных слоев с различными соотношениями в концентрациях диффундирующих элементов.

Титанирование – процесс диффузионного насыщения поверхности сталей титаном. Насыщение осуществляется при температурах порядка 1100 °С, глубина насыщения обычно не превышает 0,3 мм. С помощью титанирования стальным деталям придается исключительно высокая коррозионная стойкость, характерная для титана главным образом в средах различных кислот. Титанирование может проводиться в твердых (порошкообразных), жидких и газообразных насыщающих средах. Процесс по технологическим и химическим особенностям близок к хромированию – так же, как при хромировании, в поверхностных слоях малоуглеродистых сталей в процессе насыщения их титаном создается а-твердый раствор титана в железе, который содержит до 30 % титана. Также возможно образование в поверхностном слое сталей интерметаллидного соединения $TiFe_2$. В сталях с высоким содержанием

углерода в поверхностных слоях дополнительно образуются карбидные соединения, резко повышающие твердость насыщенного слоя.

Цинкование – процесс диффузионного насыщения поверхности детали цинком. Химико-термические методы цинкования включают в себя горячее цинкование или цинкование погружением, цинкование в порошке цинка – шерардизация, цинкование в парах цинка. Кроме этих методов используется электролитическое цинкование, металлизация напылением и нанесение цинкосодержащих красок. Цинкование – процесс, способствующий резкому повышению коррозионной стойкости. Повышение коррозионной стойкости при цинковании стальных деталей достигается за счет двух химических процессов: цинк, по отношению к железу являясь электроположительным металлом, тормозит коррозию поверхности детали.

ТЕМА 6. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

6.1 Влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей

Легированными называют стали, в которые кроме железа и углерода вводят легирующие добавки для обеспечения требуемой структуры и придания сталям специальных свойств. Основными легирующими элементами являются Mn, Si, Cr, Ni, W, Mo, Co, Ti, V, Zr, Nb и др. Большинство легирующих элементов распределяется между ферритом, аустенитом и карбидной фазой.

Твердые растворы легирующих элементов в α -Fe (ОЦК решетка) называются *легированным ферритом*, а в γ -Fe (ГЦК решетка) – *легированным аустенитом*. Наибольшей растворимостью в феррите и аустените обладают элементы, имеющие близкие к железу размеры атомов и изоморфные кристаллические решетки. При различии в размерах атомов компонентов до 8 % образуется непрерывный ряд твердых растворов замещения, а при различии до 15...17 % наблюдается их ограниченная растворимость в твердом растворе.

Легированный феррит является основой структуры некоторых нержавеющей сталей и может быть самостоятельной фазой или (и) входить в строение перлита.

Легированный аустенит является основной структурной составляющей многих нержавеющей, жаропрочных и немагнитных сталей.

Элементы с очень малым атомным диаметром (Н, В, С, N) образуют с железом твердые растворы внедрения малой концентрации.

Интерметаллиды образуются только в высоколегированных сталях и сплавах со специальными свойствами, в которых они играют роль упрочнителей, однако при этом снижаются пластичность и сопротивление разрушению. В обычных массовых промышленных сталях интерметаллические соединения легирующих элементов не встречаются.

Карбидная фаза. По отношению к углероду легирующие элементы делятся на две группы: карбидообразующие (т. е. образующие соединения железа с углеродом) и некарбидообразующие (графитизирующие).

Легирующие элементы, расположенные в периодической системе Д. И. Менделеева справа от железа (Co, Ni, Cu, Al, Si), не образуют в стали карбидов. Эти элементы, растворяясь в феррите и аустените, образуют твердые растворы замещения. Некарбидообразующие элементы (Si, Al, Cu) понижают устойчивость цемента и других карбидов.

Карбидообразующие элементы имеют высокую степень химического сродства к углероду и образуют более прочные и устойчивые при нагревании карбиды, чем карбид железа (цементит).

К карбидообразующим относятся элементы, расположенные в периодической системе слева от железа. По степени способности к карбидообразованию эти элементы располагаются в такой последовательности: Ti, Zr, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn. Чем дальше от железа находится легирующий элемент, тем более устойчивые карбиды он образует. Устойчивость карбидов от марганца к цирконии возрастает, а растворимость в феррите, аустените и цементите уменьшается. При небольшом содержании Mn, Cr, Mo, W они растворяются в феррите и цементите, образуя легированный феррит и легированный цементит. В *легированном цементите* – $(Fe, Mn)_3C$, $(Fe, Cr)_3C$ и др. – атомы этих элементов частично замещают атомы железа, не изменяя его структуру. При повышении содержания этих элементов (Cr, W, Mo) образуют-

ся *сложные карбиды* следующих типов – $(Cr, Fe)_7C_3$, $(Cr, Fe)_{23}C_6$, Fe_3W_3C , Fe_3Mo_3C и др. Легированный цементит и сложные карбиды указанного типа при нагревании сравнительно легко растворяются в аустените.

К сильным карбидообразователям относятся Nb, V, Zr, Ti, которые практически не растворяются ни в феррите, ни в цементите. Они образуют *собственные специальные карбиды* типа NbC, VC, ZrC, TiC. Даже при очень высокой температуре эти карбиды не полностью растворяются в аустените из-за их высокой энергии межатомной связи, которую в известной степени характеризует их температура плавления ($WC - 2900\text{ }^\circ C$, $VC - 3100\text{ }^\circ C$, $TiC - 3450\text{ }^\circ C$, $ZrC - 3800\text{ }^\circ C$). Карбиды в сталях являются упрочняющей фазой из-за их высокой твердости и высокого сопротивления сдвигу. Наличие карбидообразующих элементов в стали оказывает также значительное влияние на величину зерна (уменьшая их рост при нагреве) и на процессы, происходящие при термообработке (при нагреве и при охлаждении в процессе отжига и, особенно, при закалке и отпуске). Недостатком карбидов является их хрупкость.

Легирующие элементы по-разному влияют на свойства стали.

Марганец повышает прочность, износостойкость, а также глубину прокаливаемости стали при термической обработке.

Кремний способствует получению более однородной структуры, положительно сказывается на упругих характеристиках стали. Кремний способствует магнитным превращениям, а при содержании его в количестве 15...20 % придает стали кислотоупорность.

Хром повышает твердость, прочность, а при термической обработке увеличивает глубину прокаливаемости, положительно сказывается на жаропрочности, жаростойкости, повышает коррозионную стойкость.

Никель действует так же, как и марганец. Кроме того, он повышает электросопротивление и снижает значение коэффициента линейного расширения.

Вольфрам уменьшает величину зерна, повышает твердость и прочность, улучшает режущие свойства при повышенной температуре.

Молибден действует аналогично вольфраму, а также повышает коррозионную стойкость.

Концентрация некоторых легирующих элементов может быть очень малой. В количестве до 0,1 % вводят Nb, Ti, а содержание бора обычно не превышает 0,005 %. Легирование стали, когда концентрация элемента составляет около 0,1 % и менее называют микролегированием.

Установлено, что в основном легирующие элементы повышают твердость феррита. Наиболее сильно повышают твердость сталей Mn и Si Cr и особенно Ni почти не уменьшают вязкость стали, никель наиболее резко снижает порог хрупкости. Кроме того, Ni, Cr, Mn и некоторые другие элементы, хорошо (растворимые в аустените, повышают его устойчивость при охлаждении, увеличивая прокаливаемость стали.

Особенно повышается прокаливаемость при одновременном легировании стали Cr и Ni. Поэтому возможность достижения высокой прочности, пластичности, вязкости, прокаливаемости делает Ni и Cr важнейшими легирующими элементами в конструкционных сталях.

6.2 Инструментальные, конструкционные, легированные стали и стали с особыми свойствами (нержавеющие, жаропрочные, износостойкие).

По назначению легированные стали разделяются на конструкционные, инструментальные и стали с особыми физическими свойствами (коррозионностойкие, жаропрочные, жаростойкие и др.).

Конструкционные стали по структуре преимущественно относятся к перлитному или мартенситному классу. По свойствам и структуре в отожженном состоянии легированные стали мало отличаются от углеродистых. Наиболее высокий комплекс механических свойств легированных сталей достигается при применении к ним термообработки. В отличие от углеродистых, легированные стали имеют более высокую прокаливаемость.

Различают следующие виды конструкционных сталей: строительные (ГОСТ 19281-89), цементуемые и улучшаемые (ГОСТ 4543-71), рессорно-пружинные (ГОСТ 14959-79).

Строительные стали используются для изготовления различных металлических конструкций (ферм, емкостей для хранения газообразных и жидких продуктов и т.д.). Эти стали содержат углерод в небольшом количестве (0,12-0,22%) и легирующие элементы, наиболее эффективно упрочняющие феррит (Si, Mn, Ni, Cr). Применяются они преимущественно в состоянии поставки (после горячей прокатки без термообработки).

Благодаря низкому содержанию углерода строительные стали обладают высокой пластичностью, обеспечивающей их технологичность при выполнении операций холодной гибки, а также хорошей свариваемостью. Широкое практическое применение получили стали: **09Г2, 10Г2С1, 10ХСНД** и др.

Цементуемые легированные стали применяются для изготовления деталей, работающих в условиях поверхностного износа и значительных механических нагрузок. Содержание углерода в этих сталях колеблется в пределах 0,10-0,25%. Термическая обработка после цементации проводится по режимам, принятым для цементуемых изделий. Легирующие элементы и низкое содержание углерода в цементуемых сталях обеспечивают после закалки и низкотемпературного отпуска высокую прочность сердцевины изделий в сочетании с достаточно высокой пластичностью. Цементуемые легированные стали: **15Х, 20Х, 20ХН, 18ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А** и др.

Улучшаемые легированные стали содержат от 0,2 до 0,5% углерода и до 7-8% легирующих элементов. Наиболее распространенными являются хромистые, хромокремнемарганцевые, хромоникелевые, хромоникелемолибденовые, хромоникелевомолибденованадиевые и др. Термическая обработка этих сталей состоит из закалки и высокого отпуска (550-650 °С). Структура стали после такой обработки (улучшения) – сорбит. Широкое применение получили улучшаемые стали: **40Х, 40ХНМ, 38ХН3МФА** и др.). Выбор конкретных сталей для определенного назначения производится, исходя из их прочности и прокаливаемости.

Рессорно-пружинные легированные стали, используемые для изготовления пружин, рессор и других подобных деталей, должны обладать высоким пределом упругости и пределом выносливости в сочетании с удовлетворительной пластично-

стью. Сочетание перечисленных свойств этих сталей достигается повышенным содержанием в них углерода (0,45-0,75%), введением в состав легирующих элементов и применением после закалки среднетемпературного отпуска (350-520 °С) для получения структуры троостита. Рессорно-пружинные легированные стали: **65Г, 60С2А, 50ХФ, 60С2Н2Ф** и др.

Инструментальные стали разделяются на стали для режущего и измерительного инструмента, штамповые стали для холодного и горячего инструмента.

Стали для режущего инструмента разделяются на две группы. В первую группу входят стали, не обладающие, подобно углеродистым инструментальным сталям, теплостойкостью (красностойкостью). Инструменты из таких сталей могут работать только при относительно низких скоростях резания, обуславливающих разогрев режущей кромки до температур не выше 200-250 °С. Основное назначение легирующих элементов состоит в увеличении прокаливаемости и уменьшением чувствительности к перегреву при закалке. По структуре в отожженном состоянии большинство сталей этой группы относится к эвтектоидным. Термообработка инструмента состоит из закалки и последующего низкого отпуска (140-180 °С). Твердость после термообработки должна быть не ниже 62HRC. К этой группе принадлежат стали: **Х, 9ХС, ХВГ**, и др. Стали этой группы используют также для изготовления измерительного инструмента.

Ко второй группе относятся быстрорежущие стали, обладающие высокой теплостойкостью (красностойкостью). Они применяются для изготовления режущих инструментов, работающих при высоких скоростях резания. Основными легирующими элементами в быстрорежущих сталях являются: вольфрам (5,5-18,5%), хром (3,8- 4,5%), ванадий (1,0-2,6%). Отдельные марки содержат повышенное количество ванадия (до 5,1%), кобальт (5-10,5%) и молибден.

Обозначение марок быстрорежущей стали состоит из букв и цифр. Первая буква «Р» означает, что сталь относится к группе быстрорежущих, цифра за буквой «Р» указывает среднее содержание вольфрама в процентах. Среднее содержание в стали элемента в процентах обозначается цифрой, следующей за буквой: например,

ванадия цифрой после буквы «Ф», кобальта – цифрой после буквы «К», молибдена – цифрой, следующей за буквой «М».

Быстрорежущие стали по структуре принадлежат к ледебуритному (карбидному классу). Термообработка инструмента из этих сталей состоит из закалки в масле с высоких температур, значительно превышающих критические точки (для более полного растворения вторичных карбидов в аустените) и последующего трехкратного отпуска при температурах, обеспечивающих высокую твердость и теплостойкость (550-570 °С).

В отдельных случаях инструменты из быстрорежущей стали после закалки подвергают обработке холодом для уменьшения количества остаточного аустенита. Твердость инструмента после термообработки составляет 63-65 HRC. Применяемые стали: **P9, P18, P12, P9Ф6, P6M5** и др.).

Для скоростной обработки металлов применяют инструмент, оснащенный **твердыми сплавами** (ГОСТ 3882-74) . По сравнению с быстрорежущими сталями рабочая температура резания инструмента из твердых сплавов может быть увеличена до 800-1000 °С.

Основой всех твёрдых сплавов являются прочные карбиды металлов, не разлагающиеся и не растворяющиеся при высоких температурах. Особенно важны для твёрдых сплавов карбиды вольфрама, титана, тантала, хрома, частично марганца. Карбиды металлов слишком хрупки и часто тугоплавки, поэтому для образования твёрдого сплава зёрна карбидов связываются подходящим металлом; в качестве связки используют кобальт (иногда никель или молибден).

Изделия из твёрдых сплавов получают методами порошковой металлургии (спеканием при температуре 1500-2000 °С). После чего они поддаются только обработке шлифованием или физико-химическим методам обработки (лазер, ультразвук, травление в кислотах и др). Порошковые твердые сплавы закрепляются на оснащаемом инструменте методами пайки или механическим закреплением.

Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей и таких неметаллических материалов, как стекло, фарфор и т. п.

Наиболее распространенными твердыми сплавами являются ВК6, ВК8, Т15К6, ТТ7К12. В маркировке цифры после букв К и Т указывают количество кобальта и карбидов титана (тантала) соответственно, остальное- карбид вольфрама.

Штамповые стали, используемые для изготовления штампов, предназначенных для холодного деформирования, должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и прочностью в сочетании с достаточно удовлетворительной пластичностью. Для штампов сложной формы, пуансонов и другого инструмента, испытывающего ударные нагрузки, используют доэвтектоидные стали (4XB2C, 5XB2C и др.). Термическая обработка штампов состоит из закалки и отпуска при температуре 250-430 °С. Твердость после обработки составляет 48-56HRC.

Для штампов, работающих в условиях сильного износа, используются стали ледебуритного класса (X12M, X12Ф1). Твердость штампов после закалки и низкого отпуска лежит в пределах 60-63HRC.

Стали для штампов, предназначенных для горячего деформирования, должны обладать высокой прочностью при высоких температурах (жаропрочностью), способностью выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования трещин (сопротивлением термической усталости), износостойкостью и достаточно высокой теплопроводностью. Стали этой группы по структуре в отожженном состоянии относятся к доэвтектоидным, и содержат в своем составе легирующие элементы, повышающие прокаливаемость и прочность стали при высоких температурах (Cr, W, Mo, V и др.). Для обеспечения достаточной вязкости отпуск штампов после закалки производят при более высоких температурах, чем отпуск штампов для холодного деформирования. Применяемые стали: **5ХНМ, ХГМ, 4Х2В5ФМ, 3Х2В8Ф** и др.

Коррозионностойкие стали. К коррозионностойким (нержавеющим) сталям относятся стали и сплавы, обладающие высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в различных электролитах (водных растворах солей, щелочей, кислот) и других агрессивных средах. Нержавеющие стали содержат в своем составе не менее 12% хрома. Высокая коррозионная стойкость подобных сталей обусловлена образованием на поверхности защитной пленки из оксидов хрома, препятствующей контакту между сталью и внешней агрессивной средой.

Нержавеющие стали разделяются на две основные подгруппы. К первой группе относятся хромистые нержавеющие стали со средним содержанием хрома 12, 17 и 25%, принадлежащие по структуре к мартенситному, мартенсито-ферритному и ферритному классам. С увеличением содержания хрома повышается коррозионная стойкость стали. Широкое применение нашли **12X13** (мартенсито-ферритного класса) и сталь **20X13** (мартенситного класса), используемые для изготовления лопаточного аппарата паровых турбин и компрессоров. Для работы в более агрессивных средах применяются стали: **20X17H2, 08X17T, 15X25T** и др.

Ко второй подгруппе относятся хромоникелевые нержавеющие стали. По структуре в зависимости от состава эти стали принадлежат аустенитному, аустенито-ферритному и аустенито-мартенситному классам. Широкое применение нашли стали этой группы: **08X18H9T, 08X18H10T, 12X18H9T** и др.

Для работы в сильных агрессивных средах применяются хромоникелевые стали с более высоким содержанием хрома и никеля, дополнительно легированные медью и молибденом (**10X17H13M2T, 06X23H8M3DT** и др.).

Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. Для материалов, используемых при высоких температурах, основными характеристиками являются жаростойкость (окалиностойкость) и жаропрочность. Стали, обладающие высокой сопротивляемостью окислению (газовой коррозии) при высоких температурах называются жаростойкими.

К жаропрочным относятся стали, обладающие необходимой прочностью при высоких температурах. Жаропрочность достигается введением в состав стали легирующих элементов, повышающих прочность межатомных связей основного твердого раствора (феррита и аустенита), а также образующих вторичные упрочняющие фазы (карбиды, интерметаллиды), обладающие высокой термической стойкостью (устойчивостью против коагуляции при длительном воздействии высоких температур).

Жаропрочные стали и сплавы в зависимости от состава и температурной области применения разделяются на 4 основные группы.

К первой группе относятся перлитные жаропрочные стали, используемые для деталей с рабочей температурой до 570 °С.

Основными легирующими элементами этой группы являются хром, молибден, вольфрам, ванадий и в отдельных случаях титан, ниобий и бор в незначительных количествах. Термическая обработка сталей состоит в нормализации или закалки в масле с последующим высоким отпуском. Широкое практическое применение нашли стали: 12ХМФ, 15Х1М1Ф (корпусные элементы турбин), 34ХМ1А, 25Х2М1ФА, 20Х3МВФА (цельнокованные роторы), 25Х1МФ (крепежные детали) и др.

Вторую группу составляют **хромистые жаропрочные стали мартенситного класса**, содержащие 12% Cr и другие легирующие элементы (Mo, W, V, Nb, B) в сравнительно небольших количествах. Стали этой группы применяются для деталей, работающих при температурах до 560-600 °С. Термическая обработка – улучшение. Хромистые жаропрочные стали используются для изготовления лопаточного аппарата паровых и газовых турбин. Применяемые стали: 15Х11МФ, 18Х11МФ5, 20Х12ВНМФ и др.

Третью группу составляют **хромоникелевые стали аустенитного класса**, дополнительно легированные молибденом, вольфрамом, ниобием, титаном и др. Они используются для деталей турбин, работающих при температурах до 700 °С (стали 08Х16Н13М2Б, ХН35ВТ и др.). Термическая обработка жаропрочных аустенитных сталей состоит из нагрева до высоких температур (1050-1150 °С) с последующим быстрым охлаждением (аустенизации) и одноступенчатого или двухступенчатого отпуска (старения) в интервале температур 700-850 °С. В процессе отпуска из аустенита выделяются дисперсные частицы упрочняющих фаз (карбидов, интерметаллидов).

К четвертой группе относятся жаропрочные сплавы на никелевой основе, предназначенные для работы при температуре до 750-850 °С. Сплавы на никелевой основе принадлежат к сложнoleгированным сплавам, отличительными особенностями которых является сравнительно высокое содержание хрома (10-20%), а также наличие в составе алюминия и титана в умеренных количествах (1-6%). Алю-

миний и титан образуют интерметаллическое соединение $Ni_3(AlTi)$, являющееся основной упрочняющей фазой в подобных сплавах. Это соединение получило название γ' -фазы. Выделение высокодисперсных частиц этой фазы из твердого раствора происходит в процессе отпуска закаленных сплавов. В наиболее жаропрочных сплавах объемная доля упрочняющих фаз достигает 60% (расстояние между частицами составляет 200-400 Å). Дополнительное повышение жаропрочности достигается введением в состав сплава молибдена (3-4%), вольфрама (4-9%), ниобия (1-1,5%), кобальта (5-16%), а также бора и церия в незначительных количествах. Термообработка сплавов состоит из закалки в воде с температур 1150-1180 °С и последующего длительного одноступенчатого отпуска (старения) при 750-800 °С или многоступенчатого старения. Основным достоинством сплавов является высокая жаропрочность, по показателям которой они превосходят жаропрочные стали всех рассмотренных групп. Применяемые сплавы ХН65ВМТ, ХН55ВМТК и др.

6.3. Механические свойства

Механическими свойствами называется совокупность свойств, характеризующих способность металлических материалов сопротивляться воздействию внешних усилий (нагрузок).

Механические испытания делят на

- статические, при которых нагрузка, действующая на образец, остаётся постоянной или возрастает крайне медленно;
- динамические (ударные);
- испытания при повторных или знакопеременных нагрузках.

К механическим свойствам можно отнести:

6.3.1 Твёрдость

Твёрдость - физический показатель, свойство материала сопротивляться пластической деформации, вызванной местным контактным воздействием (обычно сводящегося к внедрению в материал более твёрдого тела - [индентора](#)). Обозначения: для метода Роквелла (ГОСТ 9013-75) HRA, HRB, HRC; для метода Бринелля (ГОСТ 9012-75) HB, метод Викерса (ГОСТ 2999-75) HV.

О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. В испытаниях на **твердомере Бринелля** в качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия. Нагрузка P , в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна – $P=30D^2$, литой бронзы и латуни – $P=10D^2$, алюминия и других очень мягких металлов – $P=2,5D^2$.

Продолжительность выдержки τ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с. Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля.

Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F .

Метод Роквелла основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой. Индентор для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром $1/16''$ ($d=1,6$ мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P_0 (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой.

В методе Виккерса твердость определяется по величине отпечатка. В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки P к площади поверхности отпечатка F .

Нагрузка Р составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе. Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра). Аналогичен способу Виккерса.

В **методе царапания** алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

В **методе Шора** измеряется глубина вдавливания в материал определенного индентора под действием силы в заданных условиях. Твердость при вдавливании обратно пропорциональна глубине вдавливания и зависит от модуля упругости и вязкоэластичных свойств материала.

6.3.2 Пластичность

Пластичность - свойство металлов деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять измененную форму после снятия этих сил. Пластичность - одно из важных механических свойств металла, которое в сочетании с высокой прочностью делает его основным конструкционным материалом. Ее характеристиками являются *относительное удлинение* перед разрывом δ и *относительное сужение* перед разрывом Ψ . Эти характеристики определяют при испытании металлов на растяжение, а их численные значения вычисляют по формулам (в процентах):

$$\delta_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \cdot 100, \quad (6.5)$$

$$\Psi_p = \frac{F_0 - F_p}{F_0} \times 100, \quad (6.6)$$

где l_0 и l_p - длина образца до и после разрушения соответственно;

F_0 и F_p - площадь поперечного сечения образца до и после разрушения.

6.3.3 Прочность

Прочность - способность металлов оказывать сопротивление деформации или разрушению статическим, динамическим или знакопеременным нагрузкам. Прочность металлов при статических нагрузках испытывают на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Испытание на разрыв является обязательным. Прочность при динамических нагрузках оценивают удельной ударной вязкостью, а при знакопеременных нагрузках - усталостной прочностью.

Прочность при испытании на растяжение оценивают следующими характеристиками (рис.6.3).

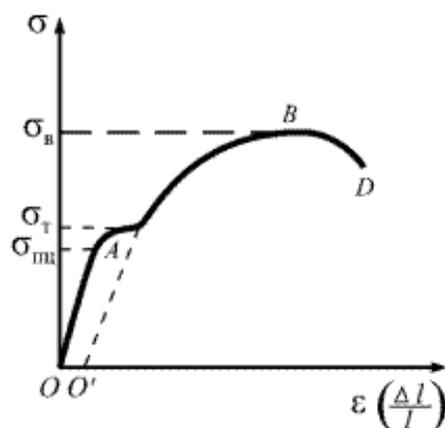


Рис.6.3. Диаграмма испытаний на растяжение.

Предел прочности на разрыв (предел прочности или временное сопротивление разрыву) σ_B - это напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке P_{\max} , предшествующей разрушению образца:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0} \quad (6.7)$$

Эта характеристика является обязательной для металлов.

Предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ - это условное напряжение $P_{пц}$, при котором начинается отклонение от пропорциональной зависимости между деформацией и нагрузкой:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0} \quad (6.8)$$

Предел текучести σ_T - это наименьшее напряжение P_T , при котором образец деформируется (течет) без заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad (6.9)$$

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ - напряжение, после снятия которого остаточная деформация достигает величины 0,2 %.

6.4.4 Ударная вязкость

Ударная вязкость – способность материала поглощать механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки.

Основным отличием ударных нагрузок от испытаний на растяжение-сжатие или изгиб является гораздо более высокая скорость выделения энергии. Таким образом, ударная вязкость характеризует способность материала к быстрому поглощению энергии.

Обычно оценивается работа до разрушения или разрыва испытываемого образца при ударной нагрузке, отнесённой к площади его сечения в месте приложения нагрузки. Выражается в Дж/см² или в кДж/м². Ударную вязкость обозначают КСV, КСУ, КСТ. КС – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (T).

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.

Трещиностойкость - свойство материалов сопротивляться развитию трещин при механических и других воздействиях. Количественной характеристикой трещиностойкости материала является критический коэффициент интенсивности напряжений в условиях плоской деформации в вершине трещины K_{Ic} . Для оценки склонности материала к хрупкому разрушению применяют испытания на ударный изгиб образцов с надрезом, в результате которых определяют ударную вязкость.

6.3.5 Усталость

Усталость - процесс постепенного накопления повреждений в материале при действии циклических нагрузок, приводящий к образованию трещин и разрушению.

Термин «усталость» часто заменяют термином «выносливость», который показывает сколько перемен нагрузок может выдержать металл или сплав без разрушения. Предел выносливости обозначают как σ_R , где коэффициент R принимается равным коэффициенту асимметрии цикла. Таким образом, **предел выносливости** материала в случае симметричных циклов нагружения обозначают как σ_{-1} , а в случае пульсационных как σ_0 . Число циклов условно принято для сталей равным 10^7 , для цветных металлов - 10^8 .

Явление усталости наблюдается при изгибе, кручении, растяжении-сжатии и при других способах нагружения.

6.4 Технологические и эксплуатационные свойства

Ограниченный предел выносливости – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

Живучесть – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

Литейные свойства - характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

Способность материала к обработке давлением - это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь. Она

контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным. Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб. Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

Свариваемость - это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

Способность к обработке резанием - характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. **Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

2. **Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

3. **Жаростойкость** – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

4. **Жаропрочность** – способность металлов и сплавов длительно сопротивляться началу и развитию пластической деформации и разрушению под действием постоянных нагрузок при высоких температурах.

5. **Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

6. **Антифрикционность** – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

6.5 Методы исследования структуры металлов и сплавов

6.5.1 Макроскопический анализ

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

Строение металлов и сплавов, видимое невооружённым глазом или при небольших увеличениях с помощью лупы (до 30 раз), называется макроструктурой. Макроструктура изучается путём макроанализа.

Так как металлы -- вещества непрозрачные, то их строение изучают в изломе или специально приготовленных образцах -- макрошлифах. Образец вырезают из определённого места, в определённой плоскости в зависимости от того, что подвергают исследованию -- литьё, поковку, штамповку, прокат, сварную или термически обработанную деталь -- и что требуется выявить и изучить - первичную кристаллизацию, дефекты, нарушающие сплошность металла, неоднородность структуры. Поэтому образцы вырезают из одного или нескольких мест слитка, заготовки или детали как в продольном, так и в поперечном направлениях. Поверхность образца (темплета) выравнивают на наждачном круге, затем шлифуют. После шлифования темплет травят в специальных реактивах, которые по-разному растворяют структурные составляющие и растравливают дефекты.

Макроанализ шлифов выявляет различные пороки в слитках и отливках (усадочные раковины, газовые пузыри, трещины...); вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; расположение волокон в кованных и штампованных заготовках; трещины, возникающие при обработке давлением или термической обработке, дефекты в сварных швах.

6.5.2 Микроскопический анализ

Более тонким методом исследования структуры и пороков металлов является микроанализ, т. е. изучение структуры металлов при больших увеличениях

с помощью металлографического микроскопа. Микроструктурный анализ – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Металлографический микроскоп рассматривает металл в отражённом свете, чем и отличается от биологического микроскопа, где предмет рассматривается в проходящем свете. Значительно большее увеличение можно получить при помощи электронного микроскопа, в котором лучи света заменены потоком электронов (увеличение достигается при этом до 100 000 раз).

В **просвечивающем микроскопе** поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают косвенные и прямые методы исследования. При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину. При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла.

В **растровом микроскопе** изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

Для изучения микроструктуры также приготавливаются шлифы -- микрошлифы, но после шлифования дополнительно производится полирование до зеркального блеска, затем производят травление шлифа.

Микроанализ позволяет выявить:

- величину, форму и расположение зёрен,
- отдельные структурные составляющие сплава, на основании которых можно определить химический состав отожженных углеродистых сталей,
- качество тепловой обработки, например, глубину проникновения закалки,

- такие дефекты, как пережог, обезуглероживание, наличие неметаллических включений.

6.5.3. Рентгеноструктурный анализ и рентгеновская дефектоскопия

Рентгеноструктурный анализ основан на способности атомов в кристаллической решётке отражать рентгеновские лучи. Отражённые лучи оставляют на фотопластинке (рентгенограмме) группу пятен или колец. По характеру расположения этих колец (пятен) определяют тип кристаллической решётки, а также расстояние между атомами (положительными ионами) в решётке.

Рентгеновское просвечивание основано на способности рентгеновских лучей проникать в глубь тела. Благодаря этому можно, не разрезая металлических изделий, увидеть на рентгеновском снимке различные внутренние дефекты металла: трещины, усадочные раковины, пороки сварки.

Методы регистрации пороков в материале основаны на том, что рентгеновские лучи, проходя через металл, частично поглощаются. При этом менее плотные части металлического изделия (участки с пороками) поглощают лучи слабее, чем плотные (сплошной металл). Это приводит к тому, что на рентгеновском снимке участки с пороками будут иметь тёмные или светлые пятна на фоне сплошного металла.

Современные рентгеновские аппараты позволяют просвечивать стальные изделия на глубину до 60 – 100 мм.

Для выявления дефектов в металлических изделиях большой толщины начали применять гамма-лучи. Природа гамма-лучей аналогична рентгеновским, но длина волны их меньше. Благодаря большой проникающей способности гамма-лучей ими можно просвечивать стальные детали толщиной до 300 мм.

6.7 Механизмы разрушения материалов

Процессы повреждения и разрушения определяются материалом, напряженно-деформированным состоянием и средой. Необходимо идентифицировать микромеханизмы, способные вызвать разрушение, и определить области температур и напряжений, в которых эти механизмы действуют.

В макроскопических теориях прочности различают два вида разрушения: 1) отрыв в результате действия растягивающих напряжений и 2) срез под действием касательных напряжений. В таблице представлены соответствующие схемы для ряда испытаний.

Разрушение материала происходит в результате зарождения и роста (или увеличения числа) дефектов типа дислокации, пор и трещин. Эти дефекты могут приводить к хрупкому или вязкому разрушению, усталости, разрушению в процессе ползучести, причем в одних случаях разрушение носит межзеренный, а в других – внутризеренный характер. Поэтому весьма важно уметь выделить доминирующий механизм.

Следует отметить, что чистота материала, вариации легирования, процесс изготовления, размер зерна, текстура лишь незначительно влияют на границы областей разрушения, показанные на прилагаемых картах механизмов. Конструкторы должны, помимо прочего, иметь в виду, что при прогнозировании долговечности и поведения реальных деталей на основе результатов лабораторных испытаний особое внимание следует уделять информации о режимах, так как, например, при высоких напряжениях и температурах активны одни механизмы, а при низких – другие. Также необходимо учитывать возможность независимого накопления двух видов повреждений в случае суперпозиции процессов, зависящих от времени и циклического нагружения.

ТЕМА 7. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

7.1 Характеристика цветной металлургии

Цветная металлургия – отрасль металлургии, которая включает добычу, обогащение руд цветных металлов и выплавку цветных металлов и их сплавов. Все цветные металлы разделяются на несколько групп:

- тяжелые цветные металлы - Cu, Pb, Zn, Ni, Sn;
- легкие металлы - Al, Mg, Ti и др.;
- малые цветные металлы - Co, Sb, Bi, Hg, Cd;
- благородные металлы - Au, Ag, Pt и др.;

- редкие металлы - Li, Be, Zr, Nb, Ga, In;
- редкоземельные элементы (Y, La, Ce и др.).

Используют цветные металлы как в виде чистых металлов, так и в виде сплавов, в виде легирующих добавок, как покрытия для защиты изделий из коррозии, а также в виде порошков - в машиностроении, судостроении, авиации и ракетной технике, электро- и радиотехнике, электронике, в приборостроении и атомной технике и др. Масштабы производства цветных металлов различаются очень сильно – от превышающих десятки млн. тонн в год для Al или Cu до нескольких тонн (Re) и менее (для радиоактивных металлов).

7.2 Медные сплавы

Медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, прочностью вязкостью и коррозионной стойкостью. Структура решетки – кубическая гранцентрированная. $T_{\text{плав.}} = 1083 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кип.}} = 2360 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Средний предел прочности зависит от вида обработки и составляет от 220 до 420 МПа, относительное удлинение – 4-60 %, твердость – 35-130 НВ, плотность – 8,94 г/см³.

Обладая замечательными свойствами, медь в то же время как конструкционный материал не удовлетворяет требованиям машиностроения, поэтому ее легируют, т. е. вводят в сплавы такие металлы, как цинк, олово, алюминий, никель и другие, за счет чего улучшаются ее механические и технологические свойства.

В чистом виде медь применяется ограниченно, более широко – ее сплавы. По химическому составу медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы и медноникелевые, по технологическому назначению – на деформируемые, используемые для производства полуфабрикатов (проволоки, листа, полос, профиля), и литейные, применяемые для литья деталей.

В настоящее время медные сплавы широко используется в электромашиностроении, при строительстве линий электропередач, для изготовления оборудования телеграфной и телефонной связи, радио- и телевизионной аппаратуры. Из меди изготавливают провода, кабели, шины и другие токопроводящие изделия.

Латуни – сплавы меди с цинком и другими компонентами. Латуни, содержащие, кроме цинка, другие легирующие элементы, называются сложными, или спе-

циальными, и именуются по вводимым, кроме цинка, легирующим компонентам. Например: Л90 – это латунь, содержащая 90 % Cu, остальное – Zn; латунь алюминиевая ЛА77-2 – содержит 77 % Cu, 2 % Al, остальное – Zn и т. д. По сравнению с медью латуни обладают большой прочностью, коррозионной стойкостью и упругостью. Они обрабатываются литьем, давлением и резанием. Из них изготавливают полуфабрикаты (листы, ленты, полосы, трубы конденсаторов и теплообменников, проволоку, штамповки, запорную арматуру – краны, вентили, медали и значки, художественные изделия, музыкальные инструменты, сальфоны, подшипники).

Бронзы – сплавы на основе меди, в которых в качестве добавок используются олово (Sn), алюминий (Al), бериллий (Be), кремний (Si), свинец (Pb), хром (Cr) и другие элементы.

Бронзы подразделяются на безоловянные (БрА9Мц2Л и др.), оловянные (БрОЗц12С5 и др.), алюминиевые (БрА5, БрА7 и др.), кремниевые (БрКН1–3, БрКМц3–1), марганцевые (БрМц5), бериллиевые бронзы (БрБ2, БрБНТ1,7 и др.).

Бронзы используются для производства запорной арматуры (краны, вентили), различных деталей, работающих в воде, масле, паре, слабоагрессивных средах, морской воде.

Абиссинское золото – медный сплав, имитирующий золото по цвету; содержит 88 % меди, 11,5 % цинка и 0,5 % золота.

Французское золото – имитирующий драгметаллы бронзовый сплав, идущий на выделку художественных, галантерейных и отчасти ювелирных изделий; состоит из 58,3 % красной меди, 16,7 % олова и 25 % цинка и действительно имеет подобные золотому цвет и блеск.

Северное золото – медно-алюминиевый сплав золотистого цвета, также известный как жёлтый нордик. Состав: медь – 89 %, алюминий – 5 %, цинк – 5 %, олово – 1 %.

7.3 Алюминиевые сплавы

По распространенности в природе алюминий занимает третье место после кислорода и кремния и первое место среди металлов. По использованию в технике он занимает второе место после железа. В свободном виде алюминий не встречается.

ся, его получают из минералов – бокситов, нефелинов и алунитов, при этом сначала производят глинозем, а затем из глинозема путем электролиза получают алюминий. Механические свойства алюминия невысоки: сопротивление на разрыв – 50-90 МПа (5–9 кгс/мм²), относительное удлинение – 25-45 %, твердость – 13-28 НВ. В чистом виде алюминий применяется редко, в основном широко используются его сплавы с медью, магнием, кремнием, железом и т. д.

Алюминий первичный – получают путем обогащения глинозема. В природе металл в чистом виде не встречается ввиду его высокой химической активности. Соединяясь с другими элементами, он образует бокситы, нефелины и алуниты. Впоследствии из этих руд получают глинозем, а из него с помощью сложных химико-физических процессов - чистый алюминий: А0- А9, А95-А99.

Алюминий технический – называют материал с процентным содержанием инородных примесей менее 1%. Технические марки алюминия по ГОСТу 4784-97 характеризуются очень низкой прочностью, но высокой антикоррозионной стойкостью. Благодаря отсутствию в составе легирующих частиц на поверхности металла быстро образуется защитная оксидная пленка, которая отличается устойчивостью: АД, АД0, АДоч,.....

К деформируемому алюминию относят материал, который подвергают горячей и холодной обработке давлением: прокатке, прессованию, волочению и другим видам. В результате пластических деформаций из него получают полуфабрикаты различного продольного сечения: алюминиевый пруток, лист, ленту, плиту, профили и другие:

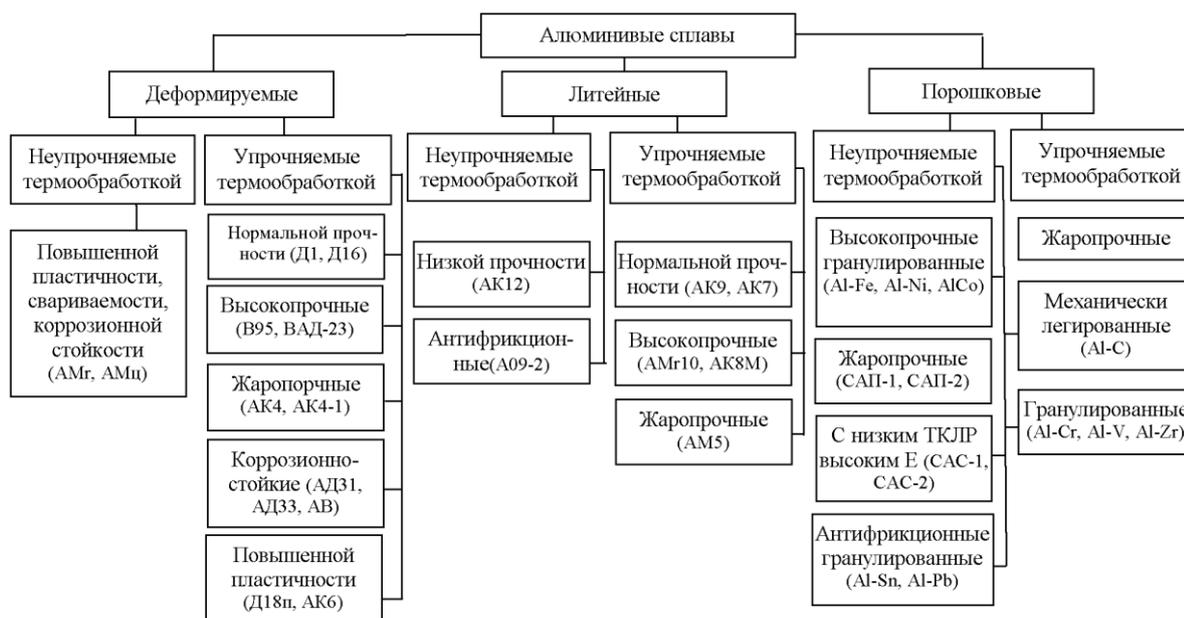
АК12 содержит 12 % кремния, остальное – алюминий; АК7М2П – 7 % кремния, 2 % меди, остальное – алюминий.

Литейные марки алюминия используются для производства фасонных изделий. Их главной особенностью является сочетание высокой удельной прочности и низкой плотности, что позволяет отливать изделия сложных форм без образования трещин: АМг5, АК8М, АЛ1,...

На качество изготавливаемых изделий оказывает влияние и то, какие имеет алюминий физические свойства. И применение низкосортных сортов материала не

ограничивается созданием полуфабрикатов. Очень часто он используется для раскисления стали – удаления из расплавленного железа кислорода, который растворен в нем и повышает тем самым механические свойства металла. Для проведения данного процесса чаще всего применяются марки : АВ86, АВ88, АВ92,....

Наиболее широко применяется в различных отраслях промышленности сплав алюминия с кремнием – силумин, который изготавливается четырех марок – СИЛ–00, СИЛ–0, СИЛ–1 и СИЛ–2. Кроме алюминия (основа) и кремния (10–13 %), в этот сплав входят: железо – 0,2–0,7 %, марганец – 0,05-0,5 %, кальций – 0,7-0,2 %, титан – 0,05-0,2 %, медь – 0,03 % и цинк – 0,08 %. Из силуминов изготавливают различные детали для автомобилей, тракторов, пассажирских вагонов. Алюминиевые деформируемые сплавы в чушках, предназначенные для обработки давлением и при получении других алюминиевых сплавов, нормируются определенными стандартами.



Сплавы для обработки давлением состоят из алюминия (основа), легирующих элементов (медь – 5 %, магний – 0,1–2,8 %, марганец – 0,1-0,7 %, кремний – 0,8-2,2 %, цинк – 2-6,5 % и небольшого количества других примесей). Марки этих сплавов: ВД1, АВД1, АВД1-1, АКМ, из алюминиевых сплавов изготавливают полуфабрикаты – листы, ленты, полосы, плиты, слитки, слябы.

Алюминиевые лигатуры - вспомогательный сплав, применяемый для введения в жидкий металл легирующих элементов: А1В3, А1Сo10, А1Sr5, А1Ni10,....

Кроме того, цветная металлургия производит алюминиевые антифрикционные сплавы, применяемые для изготовления монометаллических и биметаллических подшипников методом литья. В зависимости от химического состава стандартом предусмотрены следующие марки этих сплавов: АОЗ-7, АО9-2, АО6-1, АО9-1, АО20-1, АМСТ. Стандартом также определены условия работы изделий, изготовленных из этих сплавов: нагрузка от 19,5 до 39,2 МН/м² (200–400 кгс/см²), температура от 100 до 120 °С, твердость – от 200 до 320 НВ.

7.4 Титановые сплавы

Титан имеет малую плотность 4,5 г/см³, тугоплавок (температура плавления 1665 °С), весьма прочен и пластичен. На поверхности его образуется стойкая окисная пленка, за счет которой он хорошо сопротивляется коррозии в пресной и морской воде, а также в некоторых кислотах. При температурах до 882 °С он имеет гексагональную плотно упакованную решетку, при более высоких температурах – объемно – центрированный куб. Механические свойства листового титана зависят от химического состава и способа термической обработки. Предел прочности его – 300-1200 МПа (30-120 КГС/мм²), относительное удлинение – 4-10 %. Вредными примесями титана являются азот, углерод, кислород и водород. Они снижают его пластичность и свариваемость, повышают твердость и прочность, ухудшают сопротивление коррозии.

При температуре свыше 500 °С титан и его сплавы легко окисляются, поглощая водород, который вызывает охрупчивание. При нагревании выше 800 °С титан энергично поглощает кислород, азот и водород, эта его способность используется в металлургии для раскисления стали. Он служит легирующим элементом для других цветных металлов и для стали.

Имеет широкое применение в авиа-, ракето- и судостроении. Из титана и его сплавов изготавливают полуфабрикаты: листы, трубы, прутки и проволоку. Основными промышленными материалами для получения титана являются ильменит, рутил, перовскит и сфен (титанит). Технология получения: сначала вырабатывают титановую губку, а затем путем переплавки в вакуумных печах из нее производят ковкий титан.

В зависимости от химического состава и механических свойств стандартом установлены следующие марки губчатого титана: ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110, ТГ–120, ТГ–130. В обозначении марок буквы «ТГ» означают – титан губчатый, «Тв» – твердый, цифры означают твердость по Бринеллю. В губчатый титан входят примеси: железо – до 0,2 %, кремний – до 0,04 %, никель – до 0,05 %, углерод – до 0,05 %, хлор – до 0,12 %, азот – до 0,04 %, кислород – до 0,1 %. Для изготовления различных полуфабрикатов (листы, трубы, прутки, проволока) предназначены титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением.

В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие их марки: ВТ1–00, ВТ1–0, ОТ4–0, ОТ4–1, ОТ4, ВТ5, ВТ5–1, ВТ6, ВТ20, ВТ22, ПТ–7М, ПТ–7В, ПТ–1 м. Основные компоненты: алюминий – 0,2–0,7 %, марганец – 0,2–2 %, молибден – 0,5–5,5 %, ванадий – 0,8–5,5 %, цирконий – 0,8–3 %, хром – 0,5–2,3 %, олово – 2–3 %, кремний – 0,15–0,40 %, железо – 0,2–1,5 %. Железо, кремний и цирконий в зависимости от марки сплава могут быть основными компонентами или примесями.

7.5. Цинковые сплавы

Цинк кристаллизуется в гексагональной системе и обладает различной способностью к деформациям, что зависит от ориентации отдельных кристаллов по отношению к деформирующим силам. Цинк хорошо поддается обработке давлением и отличается хорошей коррозионной стойкостью, он имеет и относительно удовлетворительные механические свойства, но низкий предел ползучести. Большой недостаток цинка и цинковых сплавов – склонность к изменению своих размеров и свойств со временем. Кроме этого, цинковые сплавы обладают очень низкой коррозионной стойкостью.

Стандарт устанавливает также марки цинка и области их применения: ЦВ00 (содержание цинка – 99,997 %) – для научных целей, получения химических реактивов, изготовления изделий для электротехнической промышленности; ЦВ0 (цинк – 99,995 %) – для полиграфической и автомобильной промышленности; ЦВ1, ЦВ (цинк – 99,99 %) – для производства отливок под давлением, предназначенных для изготовления деталей особо ответственного назначения, для получения окиси цинка,

цинкового порошка и чистых реактивов; ЦОА (цинка 99,98 %), ЦО (цинка 99,975 %) – для изготовления цинковых листов, цинковых сплавов, обрабатываемых давлением, белил, лигатуры, для горячего и гальванического цинкования; Ц1С, Ц1, Ц2С, Ц2, Ц3С, Ц3 – для различных целей.

В промышленности широко применяются цинковые сплавы: латуни, цинковые бронзы, сплавы для покрытия различных стальных изделий, изготовления гальванических элементов, типографские и др. Цинковые сплавы в чушках для литья нормируются стандартом. Эти сплавы используются в автомобиле и приборостроении, а также в других отраслях промышленности. Стандартом установлены марки сплавов, их химический состав, определены изготавливаемые из них изделия:

- 1) ЦАМ4–10 – особо ответственные детали;
- 2) ЦАМ4–1 – ответственные детали;
- 3) ЦАМ4–1В – неответственные детали;
- 4) ЦА4О – ответственные детали с устойчивыми размерами;
- 5) ЦА4 – неответственные детали с устойчивыми размерами.

Цинковые антифрикционные сплавы, предназначенные для производства монOMETаллических и биметаллических изделий и полуфабрикатов методами литья. Марки сплавов: ЦЛМ 9-1,5Л; ЦАМ 10-5Л. Первая цифра означает среднее содержание Al, вторая Cu. Содержание Mg 0,03-0,06 %. Механические свойства: прочность в обеих марках не менее 245 МПа; относительное удлинение не менее 1 % для ЦАМ 9-1,5Л и 0,4% для ЦАМ 10-5Л; НВ соответственно не менее 95 и 100. Сплавы марок ЦАМ 9-1,5Л и ЦАМ 10-5 ч, предназначенные для изготовления цинковых антифрикционных сплавов, изготавливают в виде чушек. Содержание примесей в чушках меньше, чем в сплавах.

7.6 Магниевые сплавы

Магниевые сплавы – сплавы на основе магния; разделяются на литейные и деформируемые. Из литейных магниевых сплавов изготавливают литые детали, из деформируемых – прессованные и катаные полуфабрикаты, поковки и штамповки. Литейные и деформируемые магниевые сплавы пригодны для работы при криоген-

ных, нормальных и повышенных температурах, наиболее жаропрочные из них – до 350-400 °С.

Магниевые сплавы являются самым легким конструкционным металлическим материалом. Удельный вес их в зависимости от состава находится в пределах 1,76-2,0 г/см³, примерно в 4 раза меньше стали и в 1,5 раза меньше алюминия и его сплавов. Использование магниевых сплавов позволяет уменьшить вес и значительно повысить жесткость конструкций. Относит, жесткость при изгибе двутавровых балок равного веса и одинаковой ширины для стали равна 1, для алюминия – 8,9, а для магния – 18,9.

Магниевые сплавы отлично обрабатываются режущим инструментом, вдвое быстрее, чем алюминий и в десять раз быстрее, чем углеродистые стали. Однако при работе с магниевыми сплавами необходимо соблюдать правила противопожарной безопасности. Недостаток магниевых сплавов – пониженная коррозионная стойкость по сравнению с алюминиевыми сплавами, а также высокий коэффициент линейного расширения, который на 10-15% выше, чем у алюминиевых сплавов.

Магниевые сплавы легируют алюминием, цинком, марганцем, цирконием, редкоземельными элементами, торием и др. металлами. Большая группа сплавов разработана на основе системы Mg-Al-Zn с добавками марганца. К ней относятся широко применяемые высокопрочные сплавы: литейный сплав МЛ15 ($\sigma_B = 23-26$ кг/мм², $\delta = 5-10$ %); деформируемые сплавы МА2-1 для листов и плит ($\sigma_B = 25-28$ кг/мм², $\delta = 8-16$ %), МА5 для прессованных изделий ($\sigma_B = 28-32$ кг/мм², $\delta = 4-12$ %).

Высокопрочные сплавы на основе системы Mg-Zn-Zr марок МЛ12 и МЛ15 предназначаются для литья ($\sigma_B = 22$ и 21 кг/мм², $\delta = 5$ и 3 % соответственно), а ВМ65-1 – для прессован, полуфабрикатов и штамповок ($\sigma_B = 30-32$ кг/мм², $\delta = 8-12$ %). Отливки из сплавов с цирконием имеют более равномерные механические свойства, чем из сплавов с алюминием, близкие к свойствам отдельно отлитых образцов (сплавы МЛ9, МЛ 10, МЛН, МЛ12, МЛ14, ВМЛ1, ВМЛ2, МЛ 15). Редкоземельные металлы и торий значительно повышают прочность магниевых сплавов при повышенных температурах. Магниевые сплавы литейные с неодимом при комнатной температуре имеют механические свойства на уровне высокопрочных магниевых

сплавов. Сплавы с добавками смеси редкоземельных металлов (МЛН – для литья, ВМ17 – для деформируемых полуфабрикатов) и неодима (МЛ9, МЛ10 – для литья и МАИ – для деформируемых полуфабрикатов) пригодны для длительной (100-часовой) работы при температурах до 250° и кратковременной (5 час.) до 350°.

На основе системы Mg-Th разработаны жаропрочные магниевые сплавы – литейные МЛ14, ВМЛ1 и деформируемые МА13 (для листов, пресован, и штампован, полуфабрикатов) и ВМД1 (пресован, изделия, штамповки), которые могут применяться длительно при 300-370° и кратковременно при 400-450°С.

К наиболее вредным примесям, попадающим в магниевые сплавы из шихты и в процессе плавления, относятся никель, железо, кремний и медь, снижающие коррозионную стойкость. В исключительных случаях в присутствии неодима и марганца небольшая добавка никеля (до 0,25%) вводится для повышения жаропрочности (сплав МАИ).

Бериллий и кальций обычно содержатся в магнии в ничтожных количествах ($Be < 0,0001\%$, $Ca \sim 0,0015\%$). В качестве легирующих добавок кальций (до 0,5%) вводится в нек-рые сплавы (МЛ 7-1, МА9) для повышения жаропрочности, а бериллий (до 0,05%) в сплавы, идущие на оболочки ядерного топлива с целью повышения сопротивления окисляемости. Их также используют в качестве технологических добавок для снижения окисляемости сплавов в расплавленном состоянии, в этом случае содержание ограничивается. Бериллий укрупняет зерно и может поэтому вызывать снижение механических и технологических свойств при содержании в литейных сплавах более 0,002%, а в деформирован, более 0,02%. В сплавы типа МЛ5 иногда вводится до 0,1% Са для уменьшения микрорыхлоты, т. к. Са повышает растворимость водорода в твердом магнии.

Магниевые сплавы широко применяются в автомобильной, тракторной промышленности, из них изготавливаются картеры двигателей, маслосборники, коробки передач, диски колес и другие детали; в электротехнике и радиотехнике для корпусов приборов, телевизоров, деталей электродвигателей; в оптической промышленности для корпусов биноклей, фотоаппаратов; в текстильной промышленности для изготовления бобин, шпулек, катушек и др.; в полиграфической – для матриц, кли-

ше, валиков и др. деталей; в судостроении (для протекторов), в авиационной и ракетной технике и во мн. др. областях народного хозяйства.

ТЕМА 8. СТАЛИ И СПЛАВЫ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

8.1 Магнитные стали и сплавы

Ферромагнетизмом (способностью в значительной степени сгущать магнитные силовые линии) обладают желе-зо, кобальт и никель. Эта способность характеризуется магнитной проницаемостью. У ферромагнитных материалов относительная магнитная проницаемость достигает десятков и сотен тысяч единиц, для других материалов она близка к единице. Магнитные свойства материала характеризуются остаточной индукцией и коэрцитивной силой.

Магнитно-твердые стали и сплавы применяют для изготовления постоянных магнитов. Они имеют большую коэрцитивную силу. Это высокоуглеродистые и легированные стали, специальные сплавы. Углеродистые стали (У 10-У 12) после закалки имеют достаточную коэрцитивную силу ($H_c=5175$ А/м); но, так как они прокаливаются на небольшую глубину, их применяют для изготовления небольших магнитов. Хромистые стали по сравнению с углеродистыми прокаливаются значительно глубже, поэтому из них изготавливают более крупные магниты. Магнитные свойства этих сталей такие же, как и углеродистых. Хромокобальтовые стали (например, марки ЕХ5К5) имеют более высокую коэрцитивную силу – $H_c=7166$ А/м. Магнитные сплавы, например ЮНДК24 (9% А1; 13,5% Ni; 3% Си, 24% Со; остальное железо), имеют очень высокую коэрцитивную силу – $H_c = 39810$ А/м, поэтому из них изготавливают магниты небольшого размера, но большой мощности.

Магнитно-мягкие стали и сплавы. Магнитно-мягкие стали и сплавы имеют малую коэрцитивную силу и большую магнитную проницаемость. К ним относят электротехническое железо и сталь, железоникелевые сплавы (пермаллой).

Электротехническое железо (марки Э, ЭА, ЭАА) содержит менее 0,04% С, имеет высокую магнитную проницаемость $M_a=(2,78-3,58) \cdot 10^9$ Гн/м и применяется для сердечников, полюсных наконечников электромагнитов и др. *Электротехническая сталь* содержит менее 0,05% С и кремний, сильно увеличивающий магнитную

проницаемость. Электротехническую сталь по содержанию кремния делят на четыре группы: с 1% Si- марки Э11, Э12, Э13; с 2% Si- Э21, Э22; с 3% Si- Э31, Э32; с 4% Si - Э41-Э48. Вторая цифра (1-8) характеризует уровень электротехнических свойств.

Железоникелевые сплавы (пермаллои) содержат 45-80% Ni их дополнительно легируют Cr, Si, Mo. Магнитная проницаемость этих сплавов очень высокая. Например, у пермаллоя марки 79НМ (79% Ni; 4% Mo) $\mu_a = 175,15 \cdot 10^9$ Гн/м. Применяют пермаллои в аппаратуре, работающей в слабых электромагнитных полях (телефон, радио).

Ферриты - магнитно-мягкие материалы, получаемые спеканием смеси порошков ферромагнитной окиси железа и окислов двухвалентных металлов (ZnO, NiO, MgO и др.). В отличие от других магнитно-мягких материалов у ферритов очень высокое удельное электросопротивление, что определяет их применение в устройствах, работающих в области высоких и сверхвысоких частот.

8.2 Сплавы с высоким электрическим сопротивлением

Их применяют для изготовления электронагревателей и элементов сопротивлений (резисторов) и реостатов. Сплавы для электронагревателей обладают высокой жаростойкостью, высоким электрическим сопротивлением, удовлетворительной пластичностью в холодном состоянии.

Указанным требованиям отвечают *железохромоалюминиевые сплавы*, например марок Х13Ю4 (0,15 % С; 12-15% Cr; 3,5-5,5% Al), ОХ23Ю5 (<0,05% С; 21,5-23,5% Cr; 4,6-5,3% Al), *никелевые сплавы*, например марок Х15Н60 - ферро-нихром, содержащий 25% Fe, Х20Н80- нихром. Стойкость нагревателей из железохромоалюминиевых сплавов выше, чем у нихромов. Сплавы выпускают в виде проволоки и ленты, применяют для бытовых приборов (сплавы Х13Ю4, Х15Н60, Х20Н80), а также для промышленных и лабораторных печей (ОХ23Ю5).

Сплавы с заданным коэффициентом теплового расширения. Они содержат большое количество никеля. Сплав 36Н, называемый инваром (<0,05% Cu 35-37% Ni), почти не расширяется при температурах от -60 до +100°C. Его применяют для изготовления деталей приборов, требующих постоянных размеров в интервале климатических изменений температур (детали геодезических приборов и др.).

Сплав 29НК, называемый *коваром* (<0,03% С; 28,5-29,5% Ni;17-18% Со), имеет низкий коэффициент теплового расширения в интервале температур от -70° до +420°С. Его применяют для изготовления деталей, впаиваемых в стекло при создании вакуумно-плотных спаев.

8.3 Сплавы с заданными упругими свойствами

В ряде случаев требуется металл с постоянным, не изменяющимся с температурой, модулем упругости (Гука – Е, Юнга – G). Такие сплавы применяются для пружин различных точных приборов, для камертонов и т.п. Их называют элинварами. Их состав на основе никеля, хрома и железа.

К таким сплавам относят сплав 40КХНМ (0,07-0,12% С; 15-17% Ni;19-21%Cr;6,4-7,4% Мо;39-41%Со). Это высокопрочный с высокими упругими свойствами, немагнитный, коррозионостойкий в агрессивных средах сплав. Применяют его для изготовления заводных пружин часовых механизмов, витых цилиндрических пружин, работающих при температурах до 400°С. Элинвар марки Н35ХМВ (1,2 % углерода, никеля 35 %, хрома 9 %, молибдена 2 %, вольфрама 3 %) обеспечивает температурную погрешность хода часов порядка 0,5 с в сутки на 1°С. Сплав марки 42НХТЮ (0,05 % углерода, никеля 42 %, хрома 5,5 %) высокопрочный, и применяется для упругих элементов, работающих до температур 100°С.

ТЕМА 9. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Неметаллические материалы – это органические, и неорганические полимерные материалы: различные виды пластических масс, композиционные материалы на неметаллической основе, каучуки и резины, клеи, герметики, лакокрасочные покрытия, а также графит, стекло, керамика. В качестве конструкционных материалов они служат важным дополнением к металлам, в некоторых случаях с успехом заменяют их, а иногда сами являются незаменимыми. Достоинством неметаллических материалов являются такие их свойства, как достаточная прочность, жесткость и эластичность при малой плотности, светопрозрачность, химическая стойкость, диэлектрические свойства, делают эти материалы часто незаменимыми. Также следует отметить их технологичность и эффективность при использовании. Трудоемкость

при изготовлении изделий из неметаллических материалов в 5-6 раз ниже, они в 4-5 раз дешевле по сравнению с металлическими. В связи с этим непрерывно возрастает использование неметаллических материалов в машиностроении, авиационной и бытовой технике и др.

9.1 Керамика

Керамика – это многокомпонентный, гетерогенный материал, получаемый спеканием высокодисперсных минеральных частиц (оксидов, карбидов, нитридов и др.). Керамика обычно представляет собой сложную многофазную систему. В ее составе различают кристаллическую, стекловидную и газовую фазы (как правило, в виде закрытых пор).

Кристаллическая фаза представляет собой определенные химические соединения или твердые растворы (рис.9.1.). Эта фаза составляет основу керамики и определяет значения механической прочности, термостойкости и других ее основных свойств. Стекловидная фаза находится в керамике в виде прослоек стекла, связывающих кристаллическую фазу. Обычно керамика содержит 1-10% стекло фазы, которая снижает механическую прочность и ухудшает тепловые показатели. Однако стеклообразующие компоненты облегчают технологию изготовления изделий. Газовая фаза представляет собой газы, находящиеся в порах керамики; по этой фазе керамику подразделяют на плотную, без открытых пор и пористую. Наличие даже закрытых пор нежелательно, так как снижается механическая прочность материала.

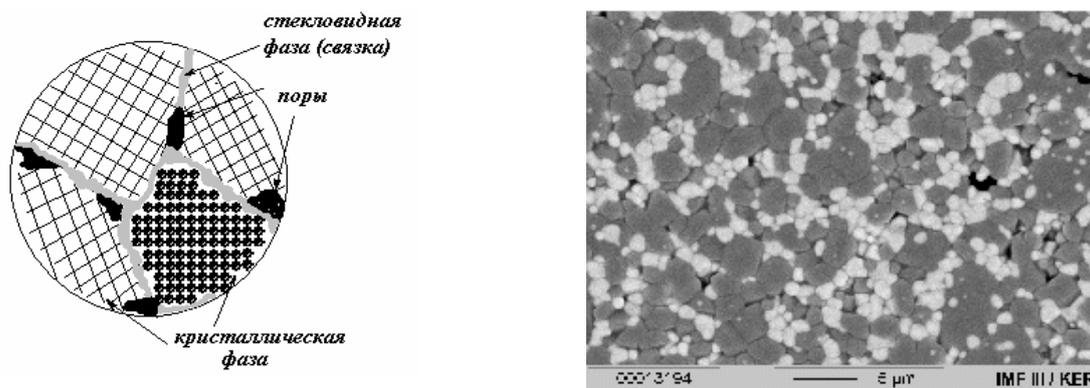


Рис.9.1. Структура керамики.

Технологическая схема керамического производства в качестве обязательных включает в себя следующие операции:

- тонкое измельчение и тщательное смешивание исходных компонентов;

- пластификация массы и образование формовочного полуфабриката;
- формование заготовок из пластифицированной массы;
- спекание изделий (высокотемпературный обжиг).

По дисперсности частиц (поликристаллов) с учетом пористости, газо- и водопроницаемости керамика образует следующую классификацию:

- плотная керамика, со спекшимися поликристаллами (с водопоглощением меньше 5 %), имеющим блестящий раковистый излом и не пропускающим воду; сюда относятся: фарфор, плитка, многие виды технической керамики;

- пористая керамика, с большим межзеренным пространством (с водопоглощением больше 5 %), имеющим тусклый землистый излом, и при отсутствии глазури пропускающим газ и воду; сюда относятся: фаянсовые изделия, кирпич, керамические блоки, облицовочная плитка и др.

В зависимости от зернистости керамика делятся на:

- тонкую керамику - это фаянс, майолика, фарфор, техническая керамика и др.
- грубую керамику - это кирпич, канализационные трубы и др.

Эти виды керамики также могут быть глазурованные и неглазурованные.

По производственно-отраслевому признаку и областям применения выделяют следующие виды керамики:

- строительная керамика - предназначенная для кладки зданий, сооружений; которая в свою очередь делится на: стеновую (кирпич, блоки, керамические камни); облицовочную - плитка для наружной и внутренней облицовке стен и полов; санитарно-техническую (раковины, унитазы, канализационные трубы);

- огнеупорные материалы, огнеупоры ($t=1580$ °C) - изделия, применяемые для кладки промышленных печей, топков, аппаратов, работающих при высоких температурах, в том числе фарфоровой и фаянсовой посуды;

- химически стойкая керамика - предназначенная для применения в агрессивных средах, стойкая к кислотам, щелочам, расплавам;

- тонкая керамика - хозяйственная и лабораторная фарфоровая и фаянсовая посуда, художественная, декоративная и другие разновидности изделий;

- техническая и специальная керамика - применяемая в энергетике, авиационной, ракетно-космической, атомной и электронно-вычислительной технике, радиоэлектронике и автомобилестроение;

По практическому предназначению техническая керамика делится на:

- конструкционную; сюда относят материалы для самолето-, ракетостроения, для двигателей внутреннего сгорания и др. целей;
- функциональную - это сверхпроводящая керамика; полупроводниковая, лазерная, керамическое ядерное горючее (U_2O_3) и др.

9.2 Стекло

Стекло – твердый гомогенный (однородный) застывший сплав различных оксидов, не имеющий кристаллической структуры, аморфное изотропное тело, механические свойства которого постоянны во всех направлениях. Свойства стекла зависят от сочетания входящих в его состав компонентов.

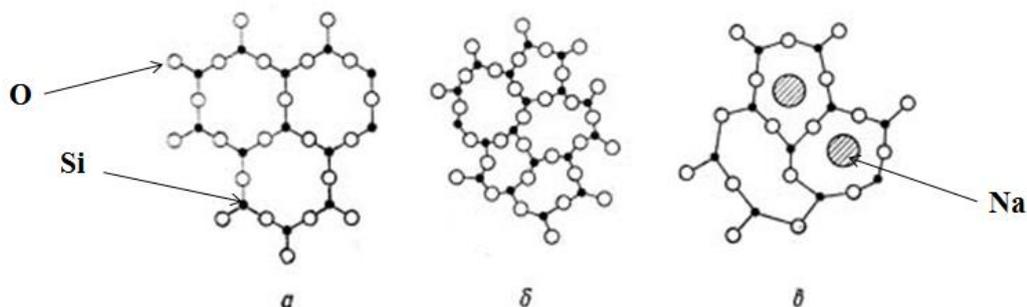


Рис.9.2. Кристаллическая структура SiO_2 (а), аморфная структура SiO_2 (б).

Аморфная SiO_2 отличается от кристаллической структуры кварца SiO_2 пространственной беспорядочной сетки, каркас которой образуют $[SiO_4]$ - структурные элементы. В этот каркас входят прочие составные части стекла (рис.9.2.в.) (модификаторы сетки, такие как щелочи, щелочноземельные металлы и т. д.).

По виду стеклообразующего вещества неорганические стекла делятся на силикатные (SiO_2), алюмосиликатные ($Al_2O_3-SiO_2$), боросиликатные ($B_2O_3-SiO_2$), алюмоборосиликатные ($Al_2O_3-B_2O_5-SiO_2$), алюмофосфатные ($Al_2O_3-P_2O_5$), халькогенидные (например, $As_{31}Ge_{30}Se_{21}Te_{180}$), галогенидные и другие стекла.

По виду модификаторов различают щелочные, бесщелочные и кварцевые неорганические стекла. Прочность щелочных стекол под действием влаги уменьшается вдвое, так как вода выщелачивает стекло. При этом, образуются щелочные растворы, которые расклинивают стекло, вызывая появление микротрещин в поверхностном слое.

По технологии изготовления неорганическое стекло может быть получено выдуванием, литьем, штамповкой, вытягиванием в листы, трубки, волокна и др. Стекло выпускается промышленностью в виде готовых изделий, заготовок и отдельных деталей.

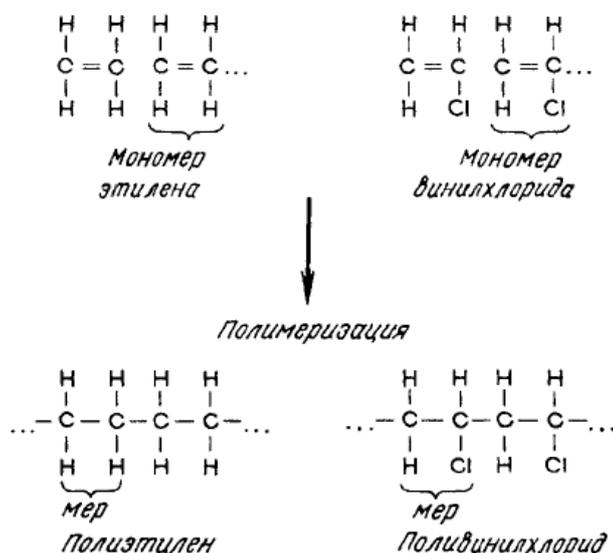
По назначению неорганические стекла делятся на техническое, строительное и бытовое (стеклотара, посудное, бытовое и др.).

Техническое стекло по области применения делится на электротехническое, транспортное; оптическое, светотехническое, термостойкое, тугоплавкое, легкоплавкое, химико-лабораторное и др.

9.3 Пластмассы

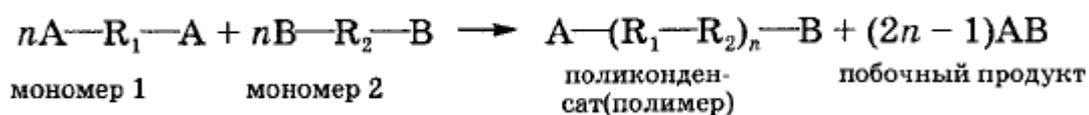
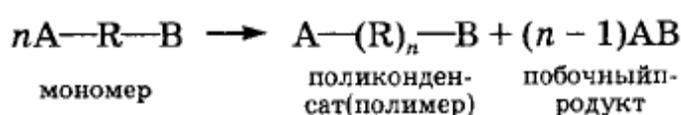
Пластмассы – это синтетические материалы, получаемые на основе органических и элементоорганических полимеров. Свойства пластмасс определяются свойствами полимеров, составляющих их основу.

Полимерами называются высокомолекулярные химические соединения, состоящие из многочисленных мало молекулярных звеньев (мономеров) одинакового строения.

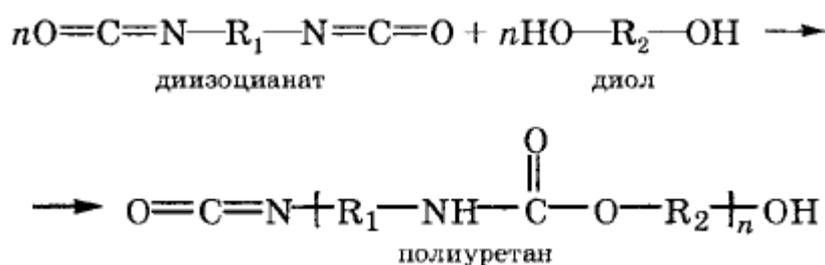


Различают природные и синтетические полимеры. К полимерам, встречающимся в природе, относятся натуральный каучук, целлюлоза, шерсть и т. д. Однако ведущее место занимают синтетические полимеры, получаемые в процессе соединения маломолекулярных соединений в высокомолекулярные с образованием длинных цепей - полимеризацией. В зависимости от способа образования высокомолекулярных синтетических соединений различают полимеры, получаемые либо в процессе поликонденсации, либо в результате реакции присоединения.

Поликонденсация - это ступенчатая реакция, заключающаяся в соединении большого количества одинаковых мономеров или двух различных групп мономеров в макромолекулы (поликонденсаты) с одновременным образованием побочных продуктов (вода, аммиак, хлороводород, диоксид углерода, метиловый спирт и др.). С помощью реакции поликонденсации получают полиамиды, полиэстеры, фенопласты, аминопласты, поликарбонаты, полисульфоны, силиконы и другие полимеры.



Полиприсоединение - процесс образования полимера в результате реакции множественного присоединения иономеров, содержащих предельные реакционные группы к мономерам, содержащим непредельные группы (двойные связи или активные циклы). В отличие от поликонденсации полиприсоединение протекает без выделения побочных продуктов.



По составу полимеры, используемые в пластмассах, делятся на органические и элементоорганические.

Органические полимеры, составляющие наиболее обширную группу соединений, состоят из атомов углерода, водорода, кислорода, азота, серы и галогенов.

Элементоорганические соединения содержат в составе основной цепи, кроме перечисленных, атомы кремния, титана, алюминия и других элементов, сочетающихся с органическими радикалами. В природе таких соединений нет. Это чисто синтетические полимеры. Их характерными представителями являются кремнийорганические соединения, основная цепь которых построена из атомов кремния и кислорода.

Своеобразие свойств полимеров обусловлено их структурой. Различают следующие типы полимерных структур: линейную, линейно-разветвленную, лестничную и пространственную с большими молекулярными группами и специфическими геометрическими построениями.

Для макромолекул полимеров с линейной (а) структурой характерна высокая гибкость. Полимеры с линейно-разветвленной (б) структурой помимо основной цепи имеют боковые ответвления. К типичным полимерам с линейной структурой относится полиэтилен, с линейно-разветвленной - полиизобутилен и полипропилен.

Молекула полимера с лестничной структурой (в) состоит из двух цепей, соединенных химическими связями. Полимеры с лестничной структурой, к которым относятся, например, кремнийорганические полимеры, характеризуются повышенной термостойкостью, жесткостью, они нерастворимы в органических растворителях.

Полимеры с пространственной структурой (г) образуют при соединении макромолекул между собой в поперечном направлении. В результате такого соединения макромолекул образуется сетчатая структура с различной плотностью сетки или пространственная сетчатая структура. Полимеры с пространственной структурой обладают большей жесткостью и термостойкостью, чем полимеры с линейной структурой, которые являются основой конструкционных неметаллических материалов.

По фазовому составу полимеры представляют собой системы, состоящие из кристаллических и аморфных областей. Кристаллическая форма полимеров способствует повышению их твердости, прочности, модуля упругости и других механиче-

ских характеристик, одновременно снижая гибкость молекул. Аморфная фаза уменьшает жесткость, делает полимер более эластичным, т. е. способным к большим обратимым деформациям.

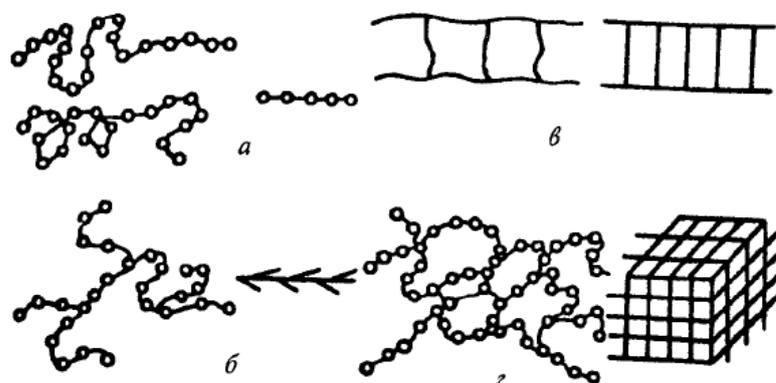


Рис.9.3. Различные типы структур полимеров: а - линейная; б - линейно-разветвленная; в - лестничная; г – пространственная сетчатая.

Пластмассы состоят из нескольких компонентов: связующего вещества, наполнителя, пластификатора, стабилизатора, отвердителя. Обязательным компонентом является связующее вещество.

Наполнителями служат твердые материалы органического и неорганического происхождения. Они придают пластмассам прочность, твердость, теплостойкость, а также некоторые специальные свойства, например антифрикционные или, наоборот, фрикционные. Кроме того, наполнители снимают усадку при прессовании.

Пластификаторы представляют собой нелетучие жидкости с низкой температурой замерзания. Растворяясь в полимере, пластификаторы повышают его способность к пластической деформации. Их вводят для расширения температурной области высокоэластического состояния, снижения жесткости пластмасс и температуры хрупкости.

Стабилизаторы вводят в пластмассы для повышения долговечности. Светостабилизаторы предотвращают фотоокисление, а антиокислители - термоокислительные реакции.

Отвердители изменяют структуру полимеров, влияя на свойства пластмасс. Чаще используют отвердители, ускоряющие полимеризацию. К ним относятся оксиды некоторых металлов, уротропин и др.

Для пластмасс характерны следующие свойства:

- низкая плотность;
- не подвержены электрохимической коррозии;
- большинство пластмасс безвредны в санитарном отношении;
- высокие диэлектрические свойства;
- хорошая окрашиваемость в любые цвета;
- механические свойства широкого диапазона;
- антифрикционные свойства;
- высокие теплоизоляционные свойства;
- высокие адгезионные свойства;
- хорошие технологические свойства. Изделия из пластмасс изготавливают способами безотходной технологии (без снятия стружки) - литьем, прессованием, формованием с применением невысоких давлений или в вакууме.

Недостатком большинства пластмасс является:

- невысокая теплостойкость (до 100-120 °С);
- низкая твердость;
- склонность к старению;
- ползучесть;
- нестойкость к большим статическим и динамическим нагрузкам.

По характеру связующего вещества пластмассы подразделяются на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные пластмассы изготавливают на основе термопластичных полимеров, которые при нагреве размягчаются и плавятся, а при охлаждении затвердевают. При этом материал не претерпевает химических превращений, что делает процесс плавления-затвердевания полностью обратимым. Термопластичные полимеры имеют линейную или линейно-разветвленную структуру макромолекул. Между молекулами действуют слабые силы и нет химических связей. Изделия из термо-

пластичных полимеров изготавливают литьем под давлением в водоохлаждаемые формы, прессованием, экструзией, выдуванием и другими способами.

Таблица 9.1

Типы термопластичных пластмасс и их области применения

Тип пластмассы	Интервал рабочих тем-р, °С	Область применения
Полиэтилен [-CH ₂ -CH ₂ -] _n	-70...+70	Упаковка, ненагруженные детали машин и оборудования, футляры, покрытия, фольги
Полистирол [-CH ₂ -CH(C ₆ H ₅)-] _n	-40...+65	Оборудование радиотехники и фотографии, электроизоляция, теплоизоляционные материалы (пенополистирол)
Полипропилен [-CH ₂ -CH(CH ₃)-] _n	-20...+130	Трубы, детали автомобилей, элементы холодильников, емкости, упаковка
Поливинилхлорид [-CH ₂ -CHCl-] _n	-40...+70	Химическое оборудование, трубы, профили, детали машин, элементы насосов и вентиляторов, упаковка, покрытие полов, искусственная кожа, оконные рамы и т. п.
Политетрафторэтилен (тефлон) [-CF ₂ -CF ₂ -] _n	-265...+260	Химическая, электротехническая, машиностроительная (подшипники) промышленность

Термореактивные пластмассы изготавливают на основе термореактивных полимеров, которые до нагрева имеют линейную структуру, а при нагреве размягчаются, затем в результате протекания химических реакций приобретают пространственную структуру и превращаются в твердое вещество, сохраняя и в дальнейшем высокую твердость. Последующий нагрев не размягчает. Готовый термореактивный полимер не плавится и не растворяется, поэтому в отличие от термопластичного не может подвергаться повторной переработке.

Основу всякого реактопласта составляет химически затвердевающая термореактивная смола - связующее вещество. Кроме того, в состав реактопластов входят наполнители, пластификаторы, отвердители, ускорители или замедлители и растворители. Наполнителями могут быть порошковые, волокнистые и гибкие листовые

материалы. В качестве порошковых наполнителей используют молотый кварц, тальк, графит, древесную муку, целлюлозу.

Таблица 9.2

Типы термореактивных пластмасс и их области применения

Тип пластмассы	Прочность при растяжении, МПа	Интервал рабочих тем-р, °С	Область применения
Фенопласт (фенол-формальдегид)	30	-60...+140	Мало нагруженные детали, корпуса приборов, панели, электроизоляционные детали
Аминопласт (карбамидо-формальдегид или меламино-формальдегид)	80	-60...+130	Детали осветительной аппаратуры, электротехнические и электроизоляционные детали, изделия бытового назначения
Волокнит (смола + волокна хлопка)	50	-60...+200	Шкивы, маховики, втулки, диски, кожухи, детали с повышенными антифрикционными свойствами
Асболокнит (смола+волокна асбеста)	60	-60...+200	Теплоизоляция
Стекловолокнит (смола+стекловолокно)	80-500	-60...+200	Электротехнические детали, корпуса приборов, кузова машин
Текстолит (смола+хлопчатобумажная ткань)	95	-40...+160	Шестерни, втулки, подшипники скольжения, конструкционные и электроизоляционные детали

9.4 Резины

Резинотехнические изделия получают при специальной термической обработке (вулканизации) прессованных деталей из сырой резины, являющейся смесью каучука с серой и другими добавками.

Резина (от лат. *resina* «смола») состоит из смеси каучука $(C_5H_8)_n$ (основа), наполнителя (сажа, оксид кремния, оксид титана, мел, барит, тальк), размягчителя (канифоль, вазелин), противостарителя (парафин, воск) и агентов вулканизации (сера, оксид цинка).

С увеличением содержания вулканизатора (серы) сетчатая структура резины становится более частой и менее эластичной. При максимальном насыщении серой (до 30-50 %) получают твердую резину (эбонит).

Резина имеет высокие эластические свойства, высокую упругость и сопротивляемость разрыву. Кроме того, резина обладает малой плотностью, высокой стойкостью против истирания, химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами.

В резину используют следующие типы каучуков: натуральный (НК), бутадиеновый синтетический (СКБ), изопреновый синтетический (СКИ), бутадиеннитрильный (СКИ), силоксановый (СКТ), фторкаучук (СКФ), бутадиен метилстирольный (СКМС), бутадиенстирольный (СКС).

Таблица 9.3

Типы резин и их области применения

Наименование группы резин	Состав (каучуки и ингредиенты)	Назначение, характеристика	Область применения
Общего назначения	НК, СКИ, СКД, СКС и др.	Для эксплуатации при т-рах от -50 до 160° С в отсутствие масел, топлив и агрессивных сред	Шины, РТИ, транспортные ленты, приводные ремни, амортизаторы, резиновая обувь и др.
Теплостойкие	СКТ, СКФ, БК, СКЭП, СКЭП, АК	Для длительной эксплуатации при температурах 150-200° С и выше	Теплостойкие РТИ
Морозостойкие	СКС, НК, СКИ, СКС в комбинации с СКД, СКТ и др.	Для эксплуатации при температурах до -60° С и ниже	Морозостойкие РТИ
Стойкие к действию химических агрессивных сред	СКС, СКЭП, СКЭПТ, БК, ХК, СКН, ХСПЭ, СКФ, СКТ и др.	Для длительной эксплуатации в контакте с кислотами, щелочами, окислителями, паром и т. п.	Гуммирование химической аппаратуры, уплотнители, шланги и др. РТИ

Диэлектрические	Диэлектрические марки СКИ, СКД, СКС, СКЭП(Т), БК, СКТ с использованием минеральных наполнителей и неполярных пластификаторов	Для работы в условиях высоких напряжений; обладаю малыми диэлектрическими потерями	Изоляция проводов и кабелей, специальные перчатки, обувь, ковры и др.
Электропроводящие	НК, СКС, СКН, ХК и др. с использованием ацетиленовой сажи и графита	Для токопроводящих покрытий, нагревательных элементов, печатных схем	Антистатические РТИ, обувь, покрытия, защитная одежда, мед. изделия, кабели дальней связи и др.
Радиационностойкие	СКУ, СКС, СКИ, СКН, ХК и др. с использованием антирадов	Для работы под действием рентгеновских лучей и ионизирующих излучений	Детали рентгеновской аппаратуры, защитная одежда и др.

9. 5 Композиционные материалы

Композиционный материал – неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

Матрица связывает композицию в монолит, придает ей форму и служит для передачи внешних нагрузок арматуре из наполнителей. В зависимости от материала основы различают КМ с металлической матрицей, или металлические композиционные материалы (МКМ), с полимерной – полимерные композиционные материалы (ПКМ) и с керамической – керамические композиционные материалы (ККМ).

Ведущую роль в упрочнении КМ играют наполнители, часто называемые упрочнителями. Они имеют высокую прочность, твердость, и модуль упругости. По

типу упрочняющих наполнителей КМ подразделяют на дисперсноупрочненные, волокнистые и слоистые (рис. 9.4).

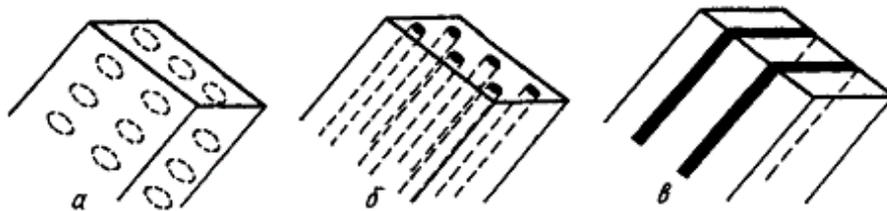


Рис.9.4. Типы упрочняющих наполнителей КМ.

Механическое поведение композиции определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композиции, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композициях, в отличие от однородных металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.

9.5.1 Волокнистые композиционные материалы

Часто композиционный материал представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Каждый слой можно армировать также непрерывными волокнами, сотканными в ткань, которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую конечному материалу. Нередко волокна сплетают в трехмерные структуры.

Прочность композиционных (волокнистых) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны

быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композиции при нагружении, придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон.

Композиционные материалы на металлической основе обладают высокой прочностью и жаропрочностью, в то же время они малопластичны. Однако волокна в композиционных материалах уменьшают скорость распространения трещин, зарождающихся в матрице, и практически полностью исчезает внезапное хрупкое разрушение. Отличительной особенностью волокнистых одноосных композиционных материалов являются анизотропия механических свойств вдоль и поперек волокон и малая чувствительность к концентраторам напряжения.

Основным недостатком композиционных материалов с одно и двумерным армированием является низкое сопротивление межслойному сдвигу и поперечному обрыву. Этому лишены материалы с объемным армированием.

9.5.2 Дисперсно-упрочненные композиционные материалы

В отличие от волокнистых композиционных материалов в дисперсно-упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в ней дислокаций. Высокая прочность достигается при размере частиц 10-500 нм при среднем расстоянии между ними 100-500 нм и равномерном распределении их в матрице. Прочность и жаропрочность в зависимости от объемного содержания упрочняющих фаз не подчиняются закону аддитивности. Оптимальное содержание второй фазы для различных металлов неодинаково, но обычно не превышает 5-10 об. %.

Наиболее широко используют сплавы на основе алюминия – САП (спеченный алюминиевый порошок).

Плотность этих материалов равна плотности алюминия, они не уступают ему по коррозионной стойкости и даже могут заменять титан и коррозионно-стойкие стали при работе в интервале температур 250-500 °С. По длительной прочности они превосходят деформируемые алюминиевые сплавы. Длительная прочность для сплавов САП-1 и САП-2 при 500 °С составляет 45-55 МПа.

Большие перспективы у никелевых дисперсно-упрочненных материалов. Наиболее высокую жаропрочность имеют сплавы на основе никеля с 2-3 об. % двуоксида тория или двуоксида гафния. Матрица этих сплавов обычно твердый раствор Ni + 20 % Cr, Ni + 15 % Mo, Ni + 20 % Cr и Mo. Широкое применение получили сплавы ВДУ-1 (никель, упрочненный двуокисью тория), ВДУ-2 (никель, упрочненный двуокисью гафния) и ВД-3 (матрица Ni +20 % Cr, упрочненная окисью тория). Эти сплавы обладают высокой жаропрочностью. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы, так же как волокнистые, стойки к разупрочнению с повышением температуры и длительности выдержки при данной температуре.

9.5.3 Стекловолокниты

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолокнистого наполнителя. В качестве наполнителя применяют непрерывное или короткое стекловолокно. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (в следствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Свойства стекловолокна зависят также от содержания в его составе щелочи; лучшие показатели у бесщелочных стекол алюмоборосиликатного состава.

Неориентированные стекловолокниты содержат в качестве наполнителя короткое волокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, металлической арматурой. Материал получается с изотопными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресс-порошков и даже волокнитов. Представителями такого материала являются стекловолокниты АГ-4В, а также ДСВ (дозирующиеся стекловолокниты), которые применяют для изготовления силовых электротехнических деталей, деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров получают премиксы ПСК (пастообразные) и препреги АП и ППМ (на основе стеклянного мата). Препреги можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

9.5.4 Карбоволокниты

Карбоволокниты (углепласты) представляют собой композиции, состоящие из полимерного связующего (матрицы) и упрочнителей в виде углеродных волокон (карбоволокон).

Высокая энергия связи С-С углеродных волокон позволяет им сохранить прочность при очень высоких температурах (в нейтральной и восстановительной средах до 2200 °С), а также при низких температурах. От окисления поверхности волокна предохраняют защитными покрытиями (пиролитическими). В отличие от стеклянных волокон карбоволокна плохо смачиваются связующим (низкая поверхностная энергия), поэтому их подвергают травлению. При этом увеличивается степень активирования углеродных волокон по содержанию карбоксильной группы на их поверхности. Межслойная прочность при сдвиге углепластиков увеличивается в 1,6-2,5 раза. Применяется вискеризация нитевидных кристаллов TiO_2 , Al_4N_3 , что дает увеличение межслойной жесткости в 2 раза и прочности в 2,8 раза. Применяются пространственно армированные структуры.

Связующими служат синтетические полимеры (полимерные карбоволокниты); синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу (коксованные карбоволокниты); пиролитический углерод (пироуглеродные карбоволокниты).

9.5.5 Карбоволокниты с углеродной матрицей

Коксованные материалы получают из обычных полимерных карбоволокнитов, подвергнутых пиролизу в инертной или восстановительной атмосфере. При температуре 800-1500 °С образуются карбонизированные, при 2500-3000 °С графитированные карбоволокниты. Для получения пироуглеродных материалов упрочнитель выкладывается по форме изделия и помещается в печь, в которую пропускается газообразный углеводород (метан). При определенном режиме (температуре 1100 °С и остаточном давлении 2660 Па) метан разлагается и образующийся пиролитический углерод осаждается на волокнах упрочнителя, связывая их.

Карбоволокнит с углеродной матрицей типа КУП-ВМ по значениям прочности и ударной вязкости в 5-10 раз превосходит специальные графиты; при нагреве в инертной атмосфере и вакууме он сохраняет прочность до 2200 °С, на воздухе окисляется при 450 °С и требует защитного покрытия.

Коэффициент трения одного карбоволокнита с углеродной матрицей по другому высок (0,35-0,45), а износ мал (0,7-1 мкм на тормажение).

9.5.6 Бороволокниты

Бороволокниты представляют собой композиции из полимерного связующего и упрочнителя – борных волокон.

Бороволокниты отличаются высокой прочностью при сжатии, сдвиге и срезе, низкой ползучестью, высокими твердостью и модулем упругости, теплопроводностью и электропроводимостью. Ячеистая микроструктура борных волокон обеспечивает высокую прочность при сдвиге на границе раздела с матрицей.

В качестве матриц для получения бороволокнитов используют модифицированные эпоксидные и полиимидные связующие. Бороволокниты КМБ-1 и КМБ-1к предназначены для длительной работы при температуре 200 °С; КМБ-3 и КМБ-3к не требуют высокого давления при переработке и могут работать при температуре не выше 100 °С; КМБ-2к работоспособен при 300 °С.

Бороволокниты обладают высокими сопротивлениями усталости, они стойки к воздействию радиации, воды, органических растворителей и горюче-смазочных материалов.

9.5.7 Органоволокниты

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы, состоящие из полимерного связующего и упрочнителей (наполнителей) в виде синтетических волокон. Такие материалы обладают малой массой, сравнительно высокими удельной прочностью и жесткостью, стабильны при действии знакопеременных нагрузок и резкой смене температуры. Для синтетических волокон потери прочности при текстильной переработке небольшие; они малочувствительны к повреждениям.

К органоволокнителям значения модуля упругости и температурных коэффициентов линейного расширения упрочнителя и связующего близки. Происходит диффузия компонентов связующего в волокно и химическое взаимодействие между ними. Органоволокниты устойчивы в агрессивных средах и во влажном тропическом климате; диэлектрические свойства высокие, а теплопровод-

ность низкая. Большинство органоволокнитов может длительно работать при температуре 100-150 °С, а на основе полиимидного связующего и полиоксадиазольных волокон – при температуре 200-300 °С.

В комбинированных материалах наряду с синтетическими волокнами применяют минеральные (стеклянные, карбоволокна и бороволокна). Такие материалы обладают большей прочностью и жесткостью.

9.6 Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные составы, в жидком состоянии наносимые на поверхность изделий и высыхающие с образованием пленок, удерживаемых силами адгезии. Высохшие пленки называют лакокрасочными покрытиями.

Назначение лакокрасочных покрытий - защита металлов от коррозии, дерева и тканей - от гниения и набухания. Кроме того, они служат декоративным целям, придавая изделиям желаемый внешний вид.

Основными требованиями, предъявляемыми к лакокрасочным покрытиям, являются высокая адгезия к защищаемым поверхностям; близкие значения температурных коэффициентов линейного расширения покрытия и металла; высокая плотность, беспористость, водо- и газонепроницаемость; высокая эластичность пленки при достаточной твердости и механической прочности; теплостойкость, химическая стойкость и светостойкость.

Основные компоненты лакокрасочных материалов - пленкообразователи, растворители и пигменты.

Пленкообразователи сообщают лакокрасочным материалам способность к образованию пленки и определяют ее основные свойства. Пленкообразующими веществами могут быть высыхающие растительные масла, синтетические смолы и эфиры целлюлозы. Различают неотверждаемые термопластичные и отверждаемые термореактивные пленкообразователи.

Растворителями лакокрасочных материалов служат скипидар, уайт-спирит, ацетон, спирты. Растворители подбирают в зависимости от пленкообразующего вещества: для масел используют скипидар и уайт-спирит; для смол - спирты, ацетон и

ароматические углеводороды типа бензола и толуола, для эфиров целлюлозы - ацетон.

Пигменты (или красители) применяют для получения определенного цвета лакокрасочного материала. Одновременно пигменты улучшают адгезию, повышают антикоррозионные свойства и водостойкость пленок.

9.7 Наноматериалы

Наноматериалы – материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм.

Классификация наноматериалов. Первая категория включает материалы в виде твердых тел, размеры которых в одном, двух или трех пространственных координатах не превышают 100 нм. К таким материалам можно отнести наноразмерные частицы (нанопорошки), нановолокна, нанопроволоки, очень тонкие пленки (толщиной менее 100 нм), нанотрубки и т. п. Такие материалы могут содержать от одного структурного элемента или кристаллита (для частиц порошка) до нескольких их слоев (для пленки). В связи с этим первую категорию можно классифицировать как наноматериалы с малым числом структурных элементов или наноматериалы в виде наноизделий. Вторая категория включает в себя материалы в виде малоразмерных изделий с характеризующим размером в примерном диапазоне 1 мкм...1 мм. Обычно это проволоки, ленты, фольги. Такие материалы содержат уже значительное число структурных элементов и их можно классифицировать как наноматериалы с большим числом структурных элементов (кристаллитов) или наноматериалы в виде микроизделий. Третья категория представляет собой массивные (или иначе объемные) наноматериалы с размерами изделий из них в макродиапазоне (более нескольких миллиметров). Такие материалы состоят из очень большого числа наноразмерных элементов (кристаллитов) и фактически являются поликристаллическими материалами с размером зерна 1...100 нм.



ТЕМА 10. ВИДЫ ИЗДЕЛИЙ И ИХ СТРУКТУРА

В соответствии с ГОСТ 2.101 - 68ИЗДЕЛИЕМ называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия, в зависимости от их назначения, делят на изделия основного производства (изделия, предназначенные для реализации) и вспомогательного производства (изделия, предназначенные для собственных нужд предприятия).

В стандарте установлены следующие виды изделий:

- детали;
- сборочные единицы;
- комплексы;
- комплекты.

В зависимости от наличия или отсутствия составных частей изделия делят на:

- неспецифицированные (детали) - не имеющие составных частей;
- специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) - состоящие из двух и более составных частей.

Структура изделий показана на рис. 10. 1.



Рис. 10.1 Структура изделий

Деталью называется изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Сборочной единицей называется изделие, составные части которых соединяют между собой на предприятии посредством сборочных операций (свинчивание, клепка, сварка и т.п.), например: автомобиль, станок, маховичок из пластмассы с металлической арматурой.

Комплексом называются два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например: цех-автомат, корабль, бурильная установка.

Комплектом называются два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей и т.д.

ТЕМА 12. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

Все чертежи должны выполняться в соответствии со стандартами ЕСКД, отличаться четким и аккуратным исполнением.

Форматы

Чертежи контрольной работы выполняются на листах стандартных размеров. Стандартные размеры форматов листов определены ГОСТ 2.301–68. Размеры форматов по внешней рамке приведены в таблице 1.

Таблица 12.1

Размеры форматов по ГОСТ 2.301–68

Обозначение формата	Размеры сторон формата, мм
A0	841 x 1189
A1	594 x 841
A2	420 x 594
A3	297 x 420
A4	210 x 297

Контрольные задания следует выполнять на формате А4 и А3. В соответствии с ГОСТ 2.301-68 чертеж имеет рамку на расстоянии от левой границы формата 20 мм, от трех других сторон на расстоянии 5 мм (рис.12.1). Внешняя рамка формата выполняется сплошной тонкой линией, внутренняя рамка наносится сплошной основной линией.

Поле с левой стороны предназначается для подшивки и брошюровки чертежей в альбом.

Чертеж сопровождается основной надписью по ГОСТ 2.104–68. На листе формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны

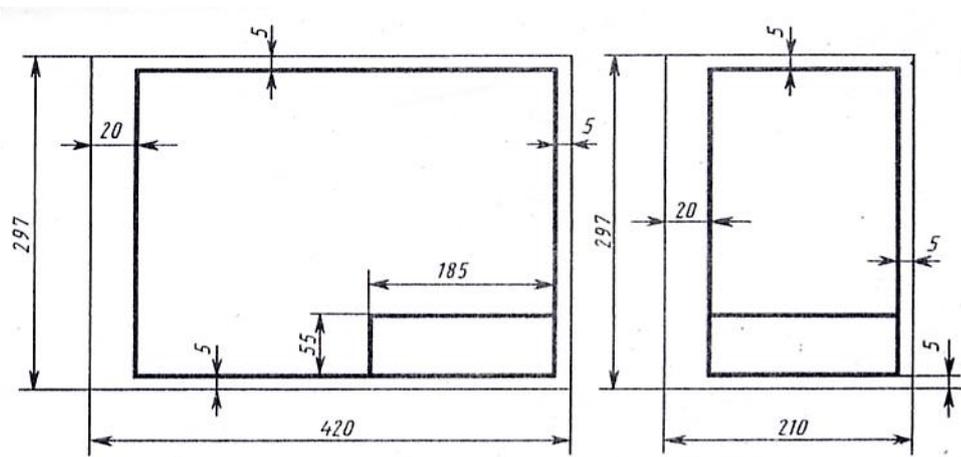


Рис. 12.1. Расположение основной надписи на листе

Основная надпись

Форма и содержание основной надписи (ГОСТ 2.104–68) и образец заполнения приведены на рис.2 а, б и в таблице 2.

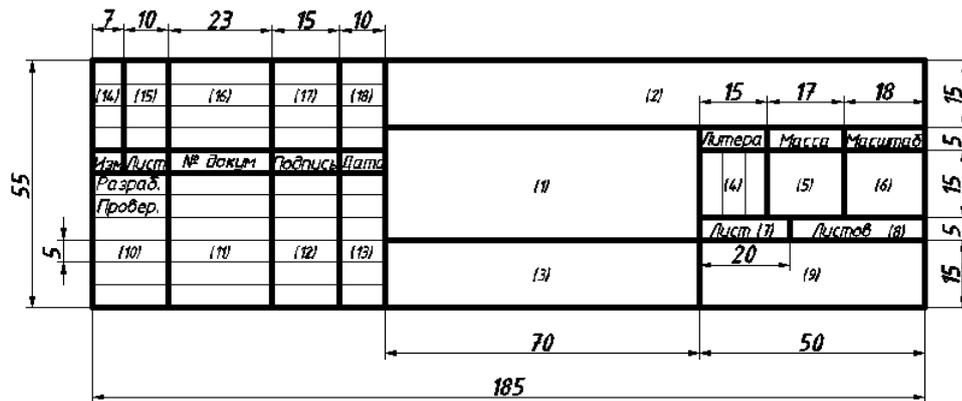


Рис.12.2.а. Форма основной надписи

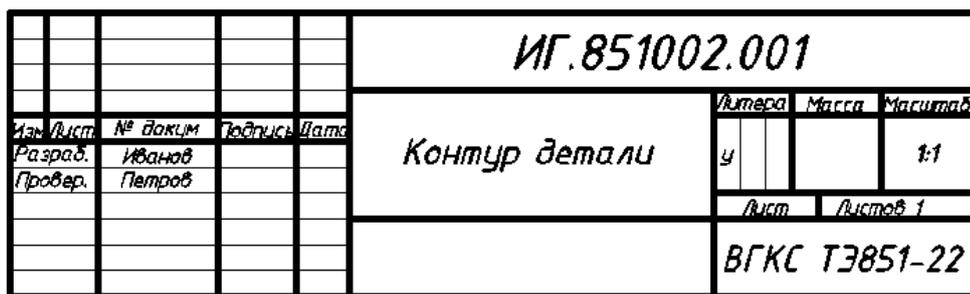


Рис.12.2.б. Образец заполнения основной надписи УЧ

Содержание основной надписи

№	Содержание надписи	Размер шрифта, мм
1	Наименование чертежа	5
2	Обозначение документа по ГОСТ 2.201-80	7
3	Обозначение материала изделия	3,5
4	Литера чертежа «у» учебный чертеж	5
5	Масса изделия	5
6	Масштаб	5
7	Порядковый номер листа	3,5
8	Общее количество листов	3,5
9	Название учебного заведения и шифр группы	5
10	Характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ	3,5
11	Фамилии лиц, подписавших документ	3,5
12	Подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11	3,5
13	Дата подписания документа	3,5
14...18	Графы таблицы изменений	3,5

Рекомендации по заполнению основной надписи

- Графа 2: ИГ – шифр дисциплины,
- 851 – номер группы,
- 002 – номер варианта,
- 001 – номер чертежа.
- Графа 9 ВГКС – название учебного заведения,
- ТЭ851 – 22 – номер группы и шифр студента.

Масштабы

При выполнении чертежей применяют масштабы изображений, которые выбирают из следующего ряда согласно ГОСТ 2.302–68:

- масштабы уменьшения: 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000;
- масштабы увеличения: 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

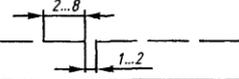
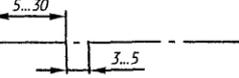
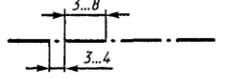
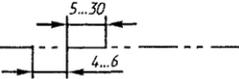
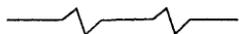
Предпочтительным масштабом для учебных чертежей является масштаб 1:1 (изображение в натуральную величину).

В основную надпись в графу 6 масштаб вписывают в виде 1:1 или 2:1. На чертежах его следует обозначать как М 1:1 или М 2:1 и т.д.

Линии

Толщина линий должна строго соответствовать ГОСТ 2.303–68. Наименование, начертание, толщина линий по отношению к толщине основной линии и их основные назначения даны в таблице 12.3.

Линии чертежа

Наименование	Начертание	Толщина	Основное назначение
Сплошная толстая основная		$S = 0,5 - 1,4$ мм	Линии видимого контура
Сплошная тонкая		от $S/2$ до $S/3$	Линии размерные и выносные, штриховки, построений и т.д.
Сплошная волнистая		от $S/2$ до $S/3$	Линии обрыва
Штриховая		от $S/2$ до $S/3$	Линии невидимого контура
Штрихпунктирная тонкая		от $S/2$ до $S/3$	Линии осевые и центровые
Штрихпунктирная утолщенная		от $S/2$ до $\frac{2}{3} S$	Линии поверхностей, подлежащих термообработке или покрытию
Штрихпунктирная тонкая с двумя точками		от $S/2$ до $S/3$	Линии сгиба на развертках
Разомкнутая		от $S/2$ до $1\frac{1}{2} S$	Линии сечения
Сплошная тонкая с изломом		от $S/2$ до $S/3$	Длинные линии обрыва

План работы над чертежом:

1. Нанесение основных изображений в целях равномерного заполнения поля чертежа, все линии при этом выполняют тонкими, чтобы легко было их удалить.
2. Затем проводят оси симметрии, центровые линии.
3. Проводят линии контура и прочерчивают отдельные элементы изображения (пазы, отверстия и т.п.).
4. Затем выносные и размерные линии.
5. Далее выполняют штриховку, надписи.
6. Обводку чертежа ведут широким фронтом.
7. лишние линии, не подлежащие обводке, удаляют.

Использование линий в AutoCAD:

1 – сплошная основная толстая (контур) – 0,60 мм;

2 – основная тонкая – 0,20 мм;

3 – осевая (штрихпунктирная тонкая) – 0,25 мм;

4 – штриховая (невидимый контур) – 0,3 мм;

5 – штрихпунктирная тонкая с двумя точками (линии сгиба на развертке) – ACAD ISO 12W100 – 0,25 мм.

Шрифт

Все надписи на чертежах и других технических документах всех отраслей промышленности и строительства выполняются стандартным шрифтом.

ГОСТ 2.304-81 устанавливает два типа шрифта: тип А и тип Б, с наклоном и без наклона. На рисунке 3 приведен шрифт типа Б.

Изучение конструкции написания букв чертежного шрифта рекомендуется вести не в алфавитном порядке, а разбив их на группы по единообразию написания. За основу можно взять принцип размещения элементов букв относительно вспомогательной сетки, которая показана на рисунке 3 а.

В данных методических указаниях подробно рассмотрен шрифт типа Б с наклоном 75° и параметрами, приведенными в таблице 4.

Размер шрифта h определяет (высоту в мм) прописных букв. Высота строчных букв c (без отростков) определяется из отношения их высоты к размеру шрифта (например, $c=7/10 h$). По отношению к высоте прописных букв определяются и все прочие параметры шрифта: g – ширина буквы; d – толщина линии шрифта ($d=1/10 h$); a – расстояние между буквами; b – минимальный шаг строк (высота вспомогательной сетки); e – минимальное расстояние между словами.

Рекомендуется использования шрифта ISOCP EUR с наклоном (угол 15°).



Рис.12.3. Шрифт типа Б с наклоном по ГОСТ 2.304-81



Рис.12.3.а Построение шрифта типа Б по вспомогательной сетке

Этот шрифт рекомендуется для выполнения надписей на чертежах. Шрифт размером 1,8 применять следует только в исключительных случаях. Все размерные числа на чертежах выполнять размером 5 мм.

Таблица 12.4

Параметры шрифта типа Б

Параметры шрифта	Обозначение	Относительный размер		Размеры, мм							
Размер шрифта: высота прописных букв	<i>h</i>	(10/10)	10 <i>d</i>	1,8	2,8	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0	20,0
высота строчных букв	<i>c</i>	(7/10)	7 <i>d</i>	1,3	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0
Расстояние между буквами	<i>a</i>	(2/10)	2 <i>d</i>	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
Минимальный шаг строк (высота вспомогательной сетки)	<i>b</i>	(17/10)	17 <i>d</i>	3,1	4,3	6,0	8,5	12,0	17,0	24,0	34,0
Минимальное расстояние между словами	<i>e</i>	(6/10)	6 <i>d</i>	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,4	12,0
Толщина линий шрифта	<i>d</i>	(1/10)	<i>d</i>	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0

Примечания:
1. Расстояние *a* между буквами, соседние линии которых не параллельны между собой (например, ГА, АТ), может быть уменьшено наполовину, т. е. на толщину *d* линии шрифта.
2. Минимальным расстоянием между словами *e*, разделенными знаком препинания, является расстояние между знаком препинания и следующим за ним словом.

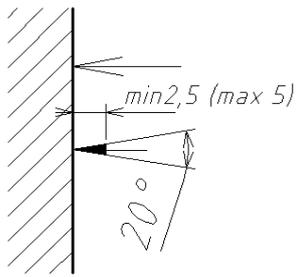
Нанесение размеров

Величина изображенного изделия и его элементов на чертежах определяется размерами, общее число которых должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и его контроля. Линейные размеры указываются в миллиметрах без обозначения единиц, в других же единицах размерное число сопровождается обозначением этой единицы. Угловые размеры указывают на чертеже в градусах, минутах и секундах.

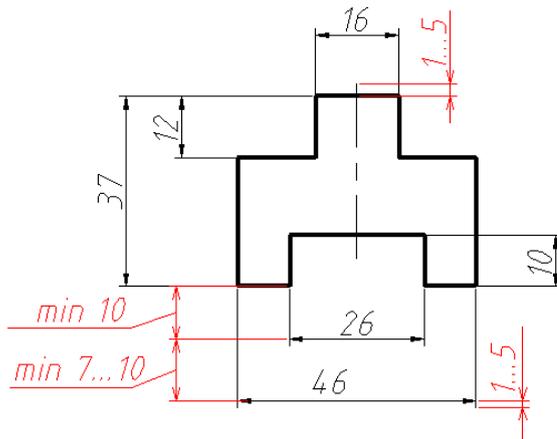
Правила нанесения размеров установлены ГОСТ 2.307–68. Размеры на чертежах указывают размерными линиями. Размерные линии ограничивают стрелками, которые касаются выносных линий, линий контура, осевых линий. Выносная линия выступает за стрелку на 1 – 5 мм. Размерную линию проводят параллельно отрезку, размер которого указывают по возможности вне контура изображения. Минимальное расстояние между параллельными размерными линиями 7 – 10 мм, а между размерной и линией контура 10 мм (их выбирают в зависимости от размеров изображения и насыщенности чертежа). Размерные линии не должны пересекаться с выносными.

Размеры на чертежах наносят только на видимых элементах изделия. Наносить размеры невидимых поверхностей допускается тогда, когда эти поверхности на чертеже нигде не показаны видимыми.

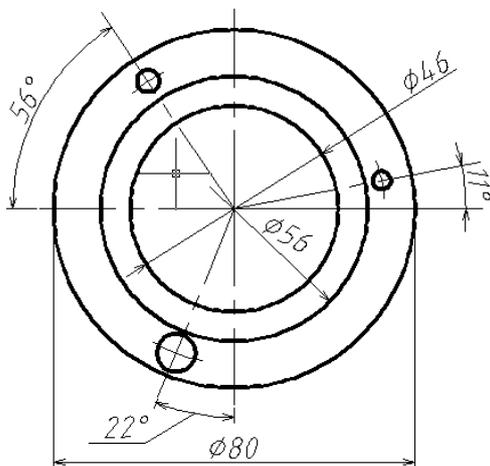
Некоторые примеры нанесения размеров показаны на рисунках 4 (а – з).



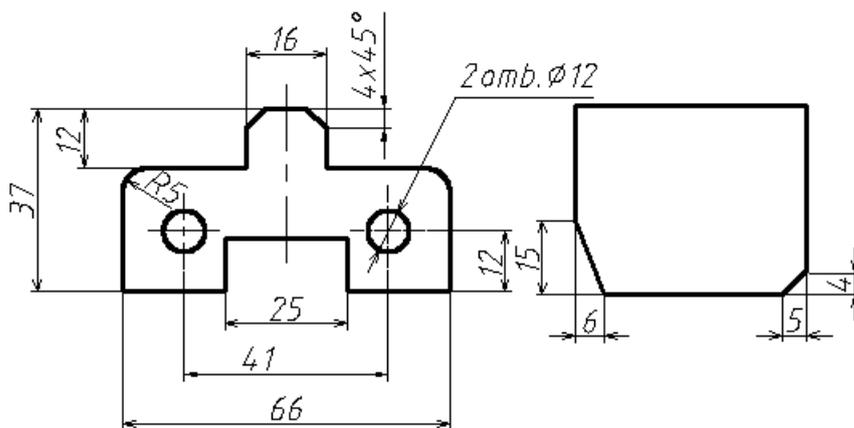
а) Форма и размер стрелок



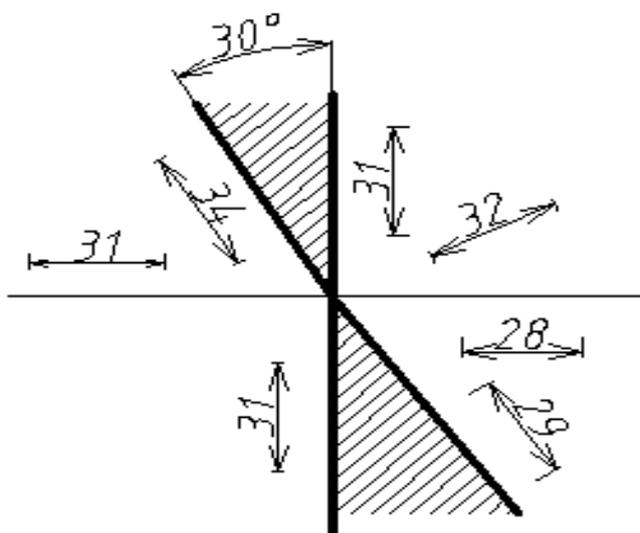
б) Правила нанесения размерных линий



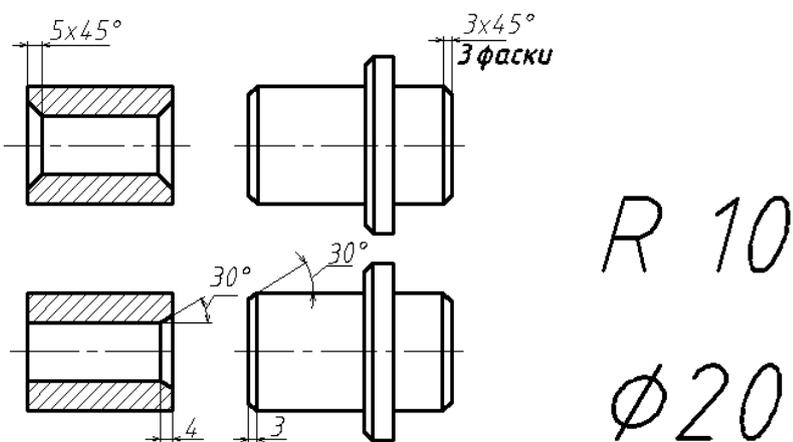
в) Нанесение угловых размеров



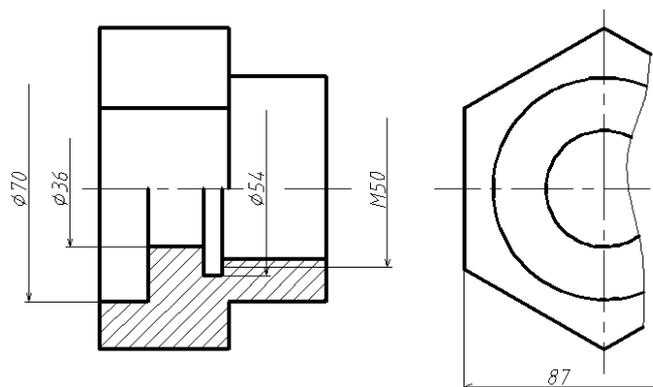
г) Нанесение размеров на плоских чертежах



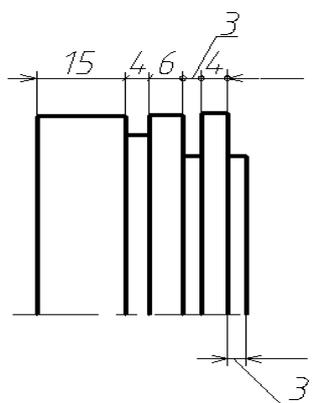
д) Расположение размерных линий



е) Размеры фасок



ж) Знаки радиуса и диаметра



з) Случаи обрыва размерной линии и нанесения размеров при недостатке места

Рис.12.4а– 4з. Правила нанесения размеров по ГОСТ 2.307–68

Не допускается использовать линии контура, осевые, центровые, выносные линии в качестве размерных. Каждый размер указывается только один раз. Размерные числа наносят над размерной линией возможно ближе к ее середине. Для обозначения диаметра и радиуса перед размерным числом наносят знаки (см. рис.12.4ж). Размерную линию при указании величины углов проводят в виде дуги с центром в вершине угла (см. рис.12.4 в).

В заштрихованной зоне размер наносить не рекомендуется. Размерные числа в этом случае указывают на горизонтальных линиях-полках. Не допускается разрывать линию контура для нанесения размерного числа, другие линии разрешается. При параллельных размерных линиях размерные числа располагают в шахматном порядке. При недостатке места для стрелки линии возле нее прерывают. Размерные линии при различных наклонах определяют положение размерных чисел. При нали-

чи повторяющихся элементов указывают их количество. Правила указания размеров на чертежах обширны, их следует изучить по ГОСТ 2.307–68.

ТЕМА 13. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ

Соединение - совокупность сборочных операций по соединению деталей различными способами (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т.п.).

Классификация видов соединения деталей

По конструкции и условиям эксплуатации соединения деталей могут быть разделены на подвижные и неподвижные.

Соединение неподвижное - соединение деталей, обеспечивающее неизменность их взаимного положения при работе. Например, сварные, соединения с помощью крепежных изделий и др.

Соединение подвижное - соединение, при котором детали имеют возможность относительного перемещения в рабочем состоянии. Например, зубчатое соединение.

В зависимости от возможности демонтажа соединения подразделяются на разъемные и неразъемные.

Соединение разъемное - соединение, которое можно многократно разъединять и соединять, не деформируя при этом ни соединяемые, ни крепежные детали. Например, резьбовое, соединение болтом, винтом, клиновое, шпоночное, зубчатое, и др.

Соединение неразъемное - соединение, которое нельзя разъединить без нарушения формы деталей или их соединяющего элемента. Например, соединение сварное, паяное, заклепочное и др.

Резьбовые соединения

Резьбовое соединение - соединение деталей при помощи резьбы.

Резьба - чередующиеся выступы и впадины на поверхности тела вращения, расположенные по винтовой линии; применяется как средство соединения, уплотнения или обеспечения заданных перемещений деталей машин, механизмов, приборов, аппаратов, сооружений (рис.13.1).

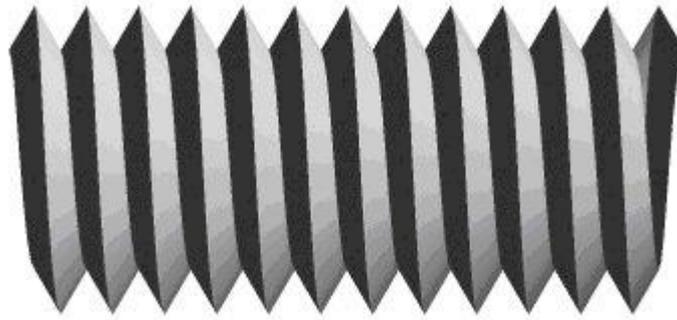


Рис. 13.1 Резьба

Основные параметры резьбы

Виток резьбы - часть резьбы, образованной при одном повороте профиля вокруг оси вращения (рис.13.2).

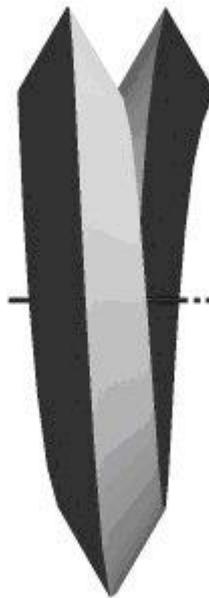


Рис.13.2 Виток резьбы

Наружный диаметр резьбы (d) - диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или вписанного во впадины внутренней резьбы (рис.13.3).

Номинальный диаметр резьбы - диаметр, условно характеризующий размеры резьбы и используемый при ее обозначении.

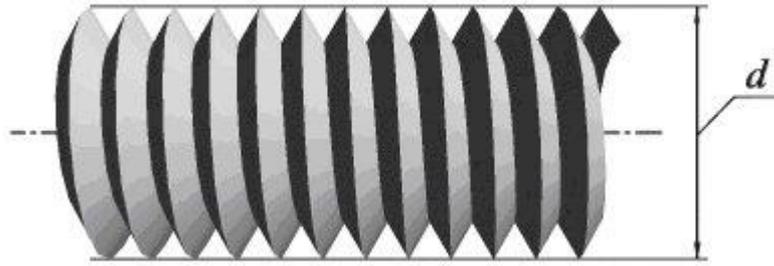


Рис.13.3 Наружный диаметр резьбы

Внутренний диаметр резьбы (d_1) - диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы или описанной вокруг вершин внутренней резьбы (рис.13.4).

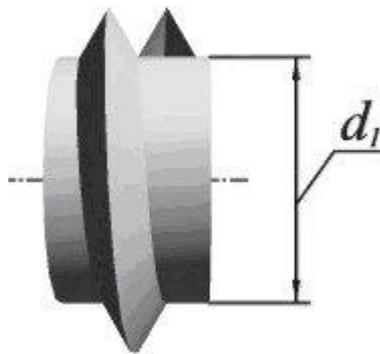


Рис.13.4 Внутренний диаметр резьбы

Профиль резьбы - плоская фигура, получаемая в плоскости, проходящей через ось резьбы.

Высота профиля (H) - радиально измеренная высота основного расчетного теоретического профиля (высота исходного треугольного профиля), общего для резьбы на стержне и в отверстии.

Угол профиля - угол между боковыми сторонами профиля, измеренный в осевой плоскости резьбы (*рис.13.5*).

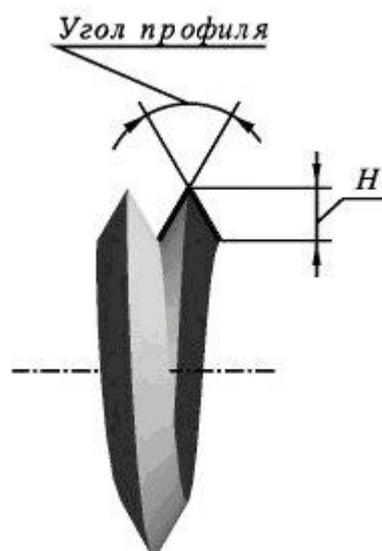


Рис. 13.5 Профиль резьбы

Шаг резьбы (P) - расстояние между соседними одноименными точками профиля в направлении, параллельном оси резьбы той же винтовой поверхности (рис.13.5).

Ход резьбы (Ph) - расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между исходной средней точкой на боковой стороне резьбы и средней точкой, полученной при перемещении исходной по винтовой линии на угол 360° , в однозаходной резьбе ход равен шагу, в многозаходной - произведению шага на число заходов n : $Ph = nP$ (рисунок 13.6).

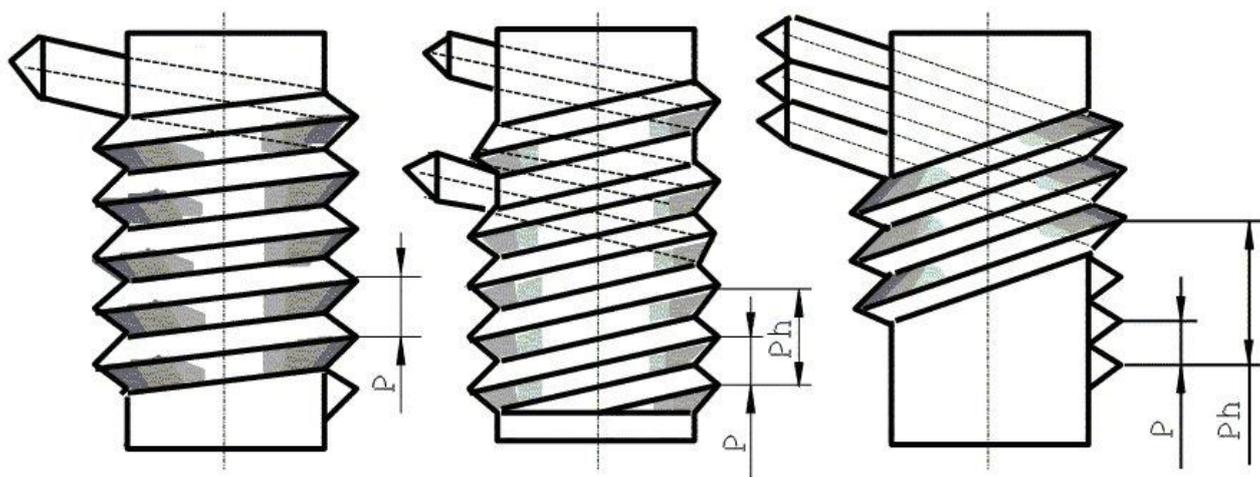


Рис. 13.6 Основные параметры резьбы

Рабочая высота профиля (h) - наибольшая высота соприкосновения сторон профиля резьбовой пары, измеренная радиально (рисунок 13.6).

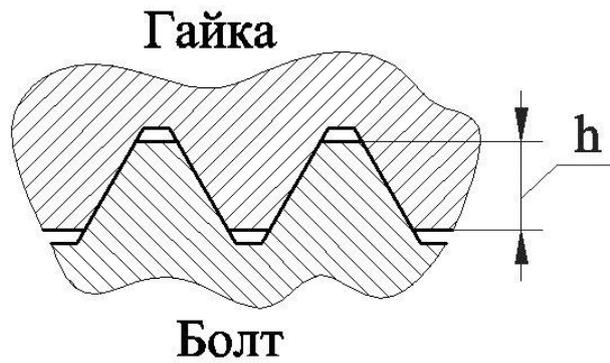


Рис.13.7 Рабочая высота профиля

Длина свинчивания (L) - длина участка взаимного перекрытия наружной и внутренней резьб в осевом направлении.

Классификация резьб

Для классификации резьбы используются следующие основные признаки (рис.13.8):

- форма профиля;
- форма поверхности, на которой выполнена резьба;
- расположение резьбы;
- величина шага;
- число и направление заходов;
- эксплуатационное назначение.



Рис.13.8 Классификация резьб

Резьба метрическая

Профиль резьбы установлен ГОСТ 9150-81 и представляет собой треугольник с углом при вершине 60° (рисунок 13.9).

Это основной вид крепежной резьбы, предназначенной для соединения деталей непосредственно друг с другом или с помощью стандартных изделий, имеющих метрическую резьбу, таких как болты, винты, шпильки, гайки.

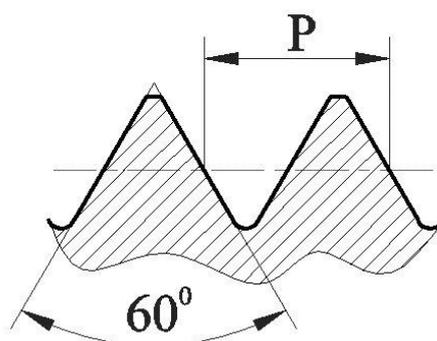


Рис.13.9 Профиль метрической резьбы

Основные элементы и параметры ее задаются в миллиметрах (ГОСТ 24705-81).

Согласно ГОСТ 8724-81 метрические резьбы выполняются с крупным и мелким шагом на поверхностях диаметров от 1 до 68 мм - свыше 68 мм резьба имеет только мелкий шаг, при чем мелкий шаг резьбы может быть разным для одного и

того же диаметра, а крупный имеет только одно значение. Крупный шаг в условном обозначении резьбы не указывается. Например: для резьбы диаметром 10 мм крупный шаг резьбы равен 1,5 мм, мелкий - 1,25; 1; 0,75; 0,5 мм.

Примеры условного обозначения:

M18-6g резьба метрическая наружная номинальный диаметр 18 мм шаг крупный, поле допуска резьбы 6g;

M18x0,5-6g резьба метрическая наружная номинальный диаметр 18 мм, поле допуска резьбы 6g, шаг мелкий $P=0,5$;

M18LH-6g резьба метрическая наружная номинальный диаметр 18 мм шаг крупный, поле допуска резьбы 6g, левая;

M18-6H резьба метрическая внутренняя номинальный диаметр 18 мм шаг крупный, поле допуска резьбы 6H.

Резьба дюймовая

В настоящее время не существует стандарт, регламентирующий основные размеры дюймовой резьбы. Ранее существовавший ОСТ НКТП 1260 отменен, и применение дюймовой резьбы в новых разработках не допускается.

Резьба треугольного профиля с углом при вершине 55° (рисунок 13.10).

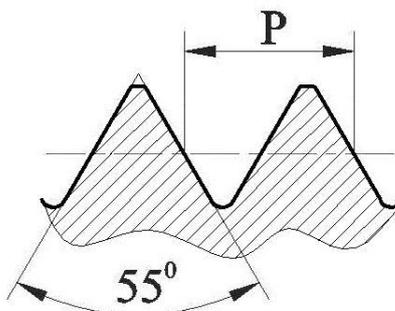


Рис.13.10. Профиль дюймовой резьбы

Трубная цилиндрическая резьба

В соответствии с ГОСТ 6367-81 трубная цилиндрическая резьба имеет профиль дюймовой резьбы, т. е. равнобедренный треугольник с углом при вершине, равным 55° (рисунок 13.11).

Резьба стандартизована для диаметров от 1/16" до 6" при числе шагов z от 28 до 11. Номинальный размер резьбы условно отнесен к внутреннему диаметру трубы (к

величине условного прохода). Так, резьба с номинальным диаметром 1 мм имеет диаметр условного прохода 25 мм, а наружный диаметр 33,249 мм.

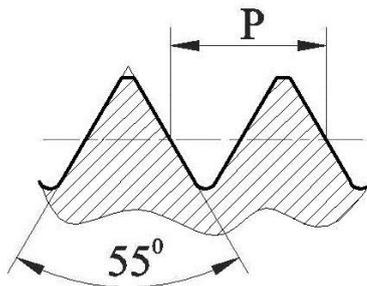


Рис.13.11 Профиль трубной цилиндрической резьбы

Примеры условного обозначения:

$G1\frac{1}{2}$ -А резьба трубная цилиндрическая, $1\frac{1}{2}$ условный проход в дюймах, класс точности А;

$G1\frac{1}{2}LN-B-40$ резьба трубная цилиндрическая, $1\frac{1}{2}$ условный проход в дюймах, левая, класс точности В, длина свинчивания 40 мм.

Резьба трапецеидальная

Резьба с профилем в виде равнобокой трапеции с углом 30° (рисунок 13.12). Применяется для передачи возвратно-поступательного движения или вращения в тяжело нагруженных подвижных резьбовых соединениях. Часто используется при изготовлении ходовых винтов, согласно ГОСТ 24738-81 выполняется на поверхностях диаметров от 8 до 640 мм.

Трапецеидальная резьба может быть *однозаходной* (ГОСТ 24738-81, ГОСТ 24737-81) и *многозаходной* (ГОСТ 24739-81). ГОСТ 9484-81 устанавливает профиль трапецеидальной резьбы.

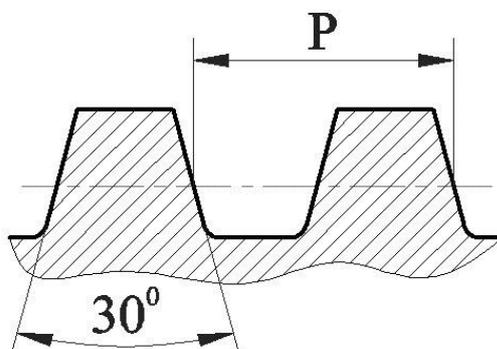


Рис.13.12 Профиль трапецеидальной резьбы

Пример условного обозначения:

Tr40x6 - трапецидальная однозаходная резьба с наружным диаметром 40 мм, шагом 6 мм.

Резьба упорная

Резьба с профилем в виде неравнобочной трапеции с углом рабочей стороны 3° и нерабочей - 30° (рис. 13.13). Упорная резьба, как и *трапецидальная*, может быть *однозаходной* и *многозаходной*. Выполняется на поверхностях диаметров от 10 до 640 мм (ГОСТ 10177-82). Применяется для передачи больших усилий, действующих в одном направлении: в домкратах, прессах и т.д.

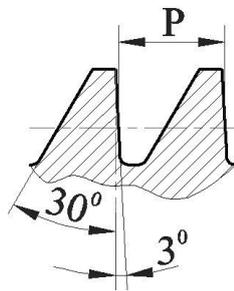


Рис.13.13 Профиль упорной резьбы

Пример условного обозначения:

S80X10 - упорная однозаходная резьба с наружным диаметром 80 мм, шагом 10 мм;

S80X20(P10) - упорная многозаходная резьба с наружным диаметром 80 мм, величина хода 20 мм, шаг 10 мм

Резьба прямоугольная (квадратная)

Резьба с прямоугольным (или квадратным) нестандартным профилем, поэтому все ее размеры указываются на чертеже. Применяется для передачи движения тяжело нагруженных подвижных резьбовых соединений. Обычно выполняется на грузовых и ходовых винтах (рис.13.14).

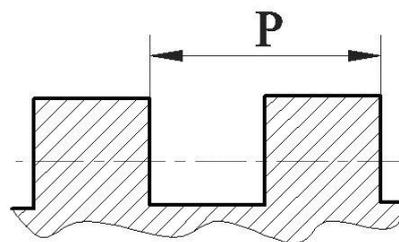


Рис.13.14. Профиль прямоугольной резьбы

Резьба круглая

Резьба с круглым профилем (ГОСТ 9484-81) (рисунок 13.15). Обладает сравнительно большим сроком службы и повышенным сопротивлением при значительных нагрузках. Применяется для часто свинчиваемых соединений (шпиндели, вентили и т.д.), работающих в загрязненной среде, а также для тонкостенных деталей с накатанной или штампованной резьбой, например, цоколь электролампы.

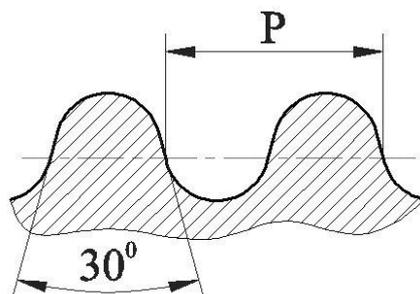


Рис.13.15. Профиль круглой резьбы

Пример условного обозначения:

Rd16 - круглая резьба с наружным диаметром 16 мм.

Если резьба круглая применяется в соединениях санитарно-технической арматуры, то обозначение будет следующим: Кр12х 2,54 ГОСТ 13536-68.

Эксплуатационное назначение резьбы

Крепежная резьба обеспечивает полное и надежное соединение деталей при различных нагрузках и при различном температурном режиме. К этому типу относятся *метрическая*.

Крепежно-уплотнительная резьба предназначена для обеспечения плотности и непроницаемости резьбовых соединений (без учета ударных нагрузок). К этому типу относятся *метрическая с мелким шагом, трубная цилиндрическая и коническая резьбы и коническая дюймовая резьба*.

Ходовая резьба служит для преобразования вращательного движения в поступательное. Она воспринимает большие усилия при сравнительно малых скоростях движения. К этому типу относятся *резьбы: трапецидальная, упорная, прямоугольная, круглая*.

Специальная резьба имеет специальное назначение и применяется в отдельных специализированных отраслях производства. К ним можно отнести следующие:

- *метрическая тугая резьба* - резьба, выполненная на стержне (на шпильке) и в отверстии (в гнезде) по наибольшим предельным размерам; предназначена для образования резьбовых соединений с натягом;

- *метрическая резьба с зазорами* - резьба с необходимая для обеспечения легкой свинчиваемости и развинчиваемости резьбовых соединений деталей, работающих при высоких температурах, когда создаются условия для схватывания (срачивания) окисных пленок, которыми покрыта поверхность резьбы;

- *часовая резьба* (метрическая) - резьба, применяемая в часовой промышленности (диаметры от 0,25 до 0,9 мм);

- *резьба для микроскопов* - резьба, предназначена для соединения тубуса с объективом; имеет два размера: 1) дюймовая - диаметр 4/5 I (20,270 мм) и шаг 0,705 мм (36 ниток на 1I); 2) метрическая - диаметр 27 мм, шаг 0,75 мм;

- *окулярная многозаходная резьба* - рекомендуемая для оптических приборов; профиль резьбы - равнобочная трапеция с углом 60° .

Изображение резьбы

ГОСТ 2.311-68 устанавливает правила изображения и нанесения обозначения резьбы на чертежах.

Резьбу на стержне изображают сплошными основными линиями по наружному диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями - по внутреннему диаметру.

На изображениях, полученных проецированием на плоскость параллельную оси стержня, сплошную тонкую линию по внутреннему диаметру резьбы проводят на всю длину резьбы без сбега, а на видах, полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную к оси стержня, по внутреннему диаметру резьбы проводят дугу, приблизительно равную $3/4$ окружности, разомкнутую в любом месте (рисунок 13.16).

Расстояние между тонкой линией и сплошной основной принимают в пределах не менее 0,8 мм и не больше шага резьбы P .

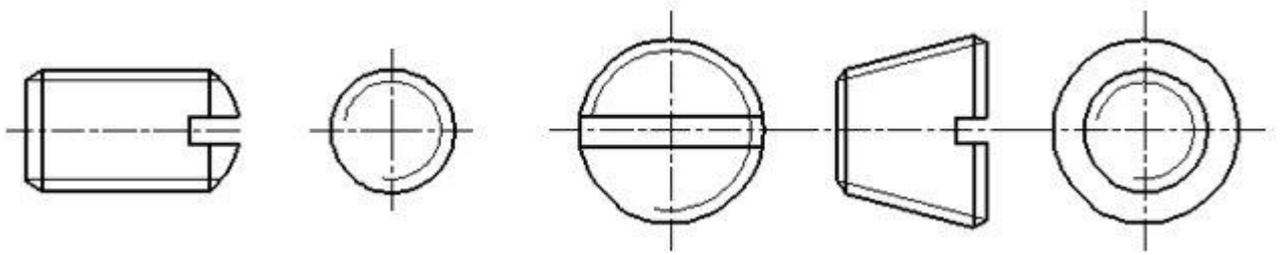


Рис.13.16 Изображение резьбы на стержне

Резьбу в отверстиях (рисунок 13.17) изображают сплошными основными линиями по внутреннему диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями - по наружному диаметру.

На разрезах, параллельных оси отверстия, сплошную тонкую линию по наружному диаметру резьбы проводят на всю длину резьбы без сбега, а на изображениях, полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную оси отверстия, по наружному диаметру резьбы проводят дугу, приблизительно равную $3/4$ окружности, разомкнутую в любом месте.

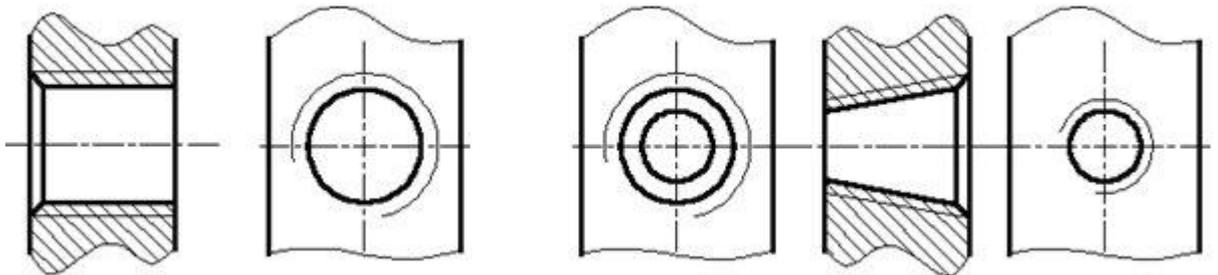


Рис.13.17. Изображение резьбы в отверстии

Резьбу, показываемую как невидимую (рисунок 13.18), изображают штриховыми линиями одной толщины по наружному и по внутреннему диаметру.

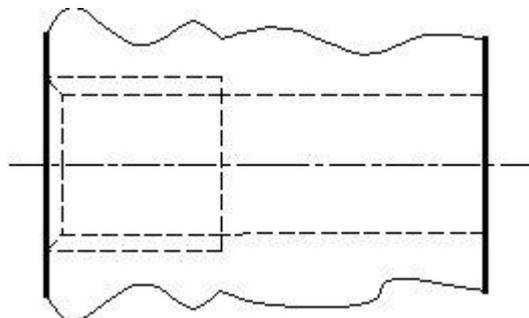


Рис.13.18. Изображение невидимой резьбы

Линию, определяющую границу резьбы, наносят на стержне и в отверстии с резьбой в конце полного профиля резьбы (до начала сбега). Границу резьбы прово-

дят до линии наружного диаметра резьбы и изображают сплошной основной или штриховой линией, если резьба изображены как невидимая (рисунки 13.19, 13.20).

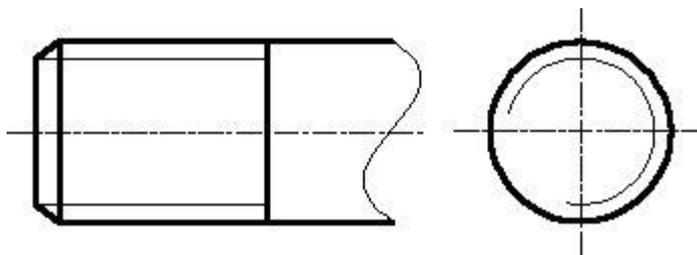


Рис.13.19. Изображение границы резьбы

Штриховку в разрезах и сечениях проводят до линии наружного диаметра резьбы на стержнях и до линии внутреннего диаметра в отверстиях, т.е. в обоих случаях до сплошной основной линии (рисунок 116).

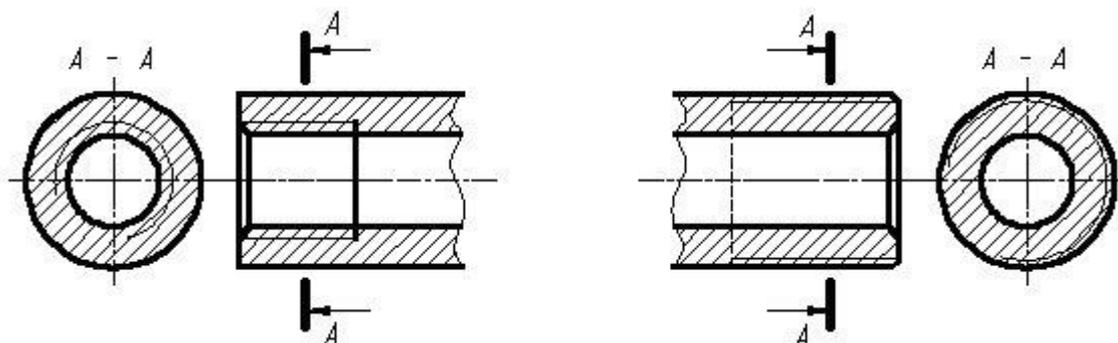


Рис.13.20 Изображение резьбы в разрезе

Допускается изображать недорез резьбы, как показано на рисунке 13.21.

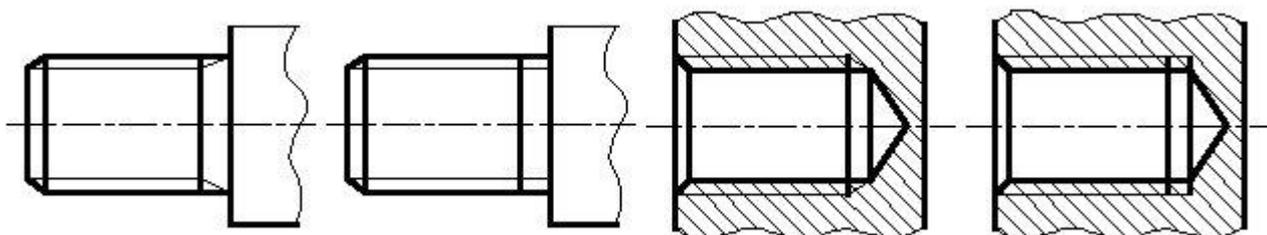


Рис.13.21. Изображение недореза резьбы

На чертежах, по которым резьбу не выполняют, конец глухого резьбового отверстия допускается изображать, как показано на рисунках, даже при наличии разности между глубиной отверстия под резьбу и длиной резьбы (рисунок 13.22).



Рис.13.22. Упрощение в изображении резьбы

Фаски на стержне с резьбой и в отверстии с резьбой, не имеющие специального конструктивного назначения, в проекции на плоскость, перпендикулярную оси стержня или отверстия, не изображают (рисунок 13.23). Сплошная тонкая линия изображения резьбы на стержне должна пересекать линию границы фаски.

На разрезах резьбового соединения в изображениях на плоскости параллельной к его оси, в отверстии показывается только часть резьбы, которая не закрыта резьбой стержня (рисунок 13.23).

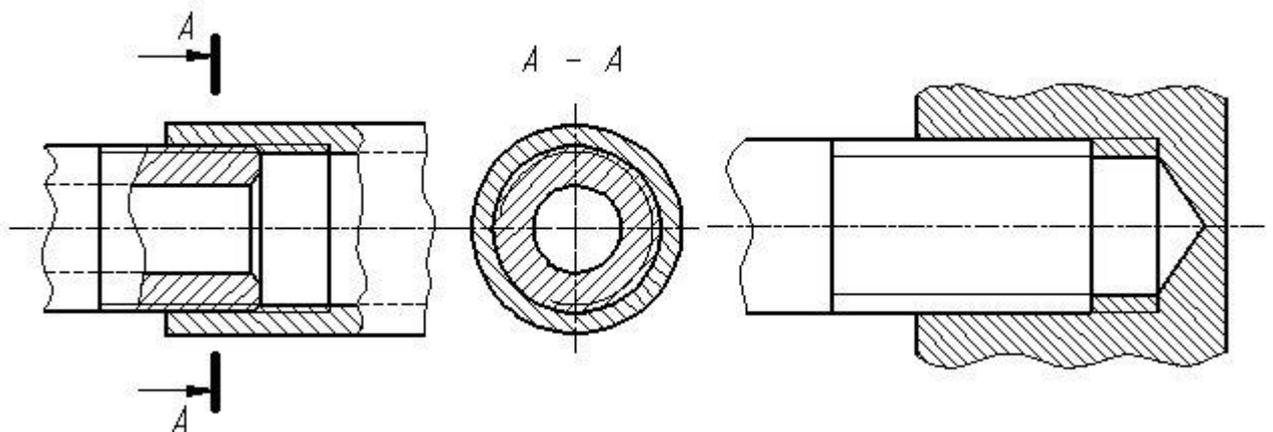


Рис.13.23. Разрез резьбового соединения

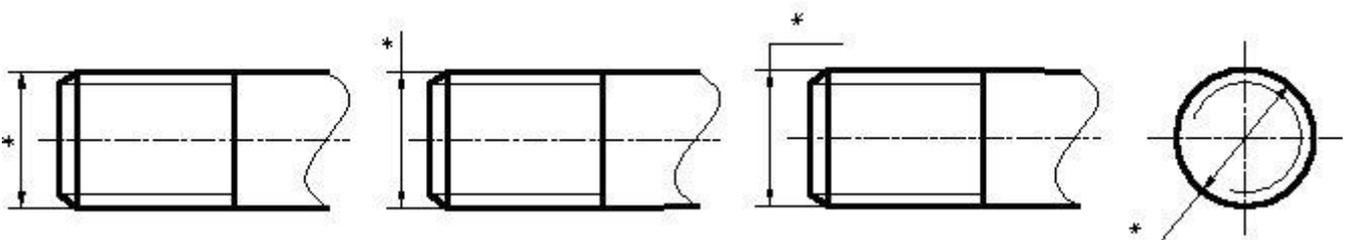


Рис.13.24. Обозначение наружной резьбы

Обозначение резьб указывают по соответствующим стандартам на размеры и предельные отклонения резьб и относят их для всех резьб, кроме конической и трубной цилиндрической, к наружному диаметру, как показано на рисунках 13.24 и 13.25.

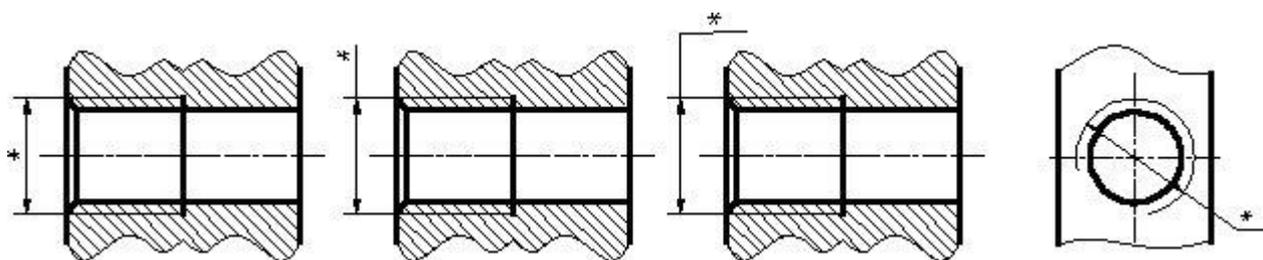


Рис.13.25. Обозначение внутренней резьбы

Обозначение конической и трубной цилиндрической резьбы наносят, как показано на рисунке 13.26.

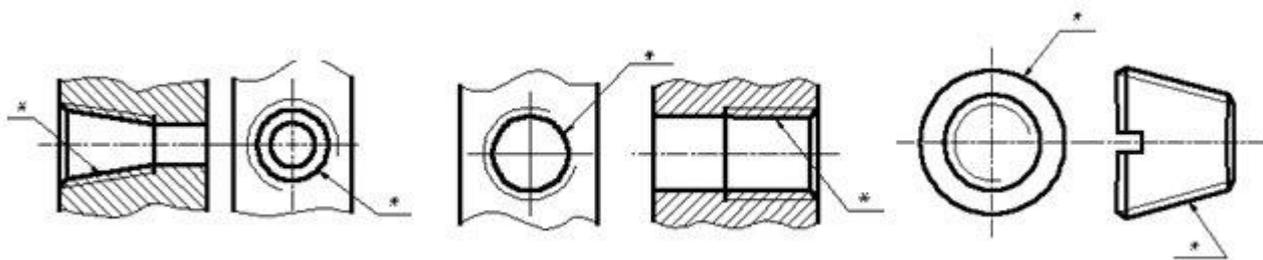


Рис.13.26. Обозначение конической и трубной резьбы

Крепежные детали

Крепёжные детали - детали для неподвижного соединения частей машин и конструкций. К ним обычно относят детали резьбовых соединений: **болты, винты, шпильки, гайки, шурупы, шайбы, шплинты**, а также **штифты**.

Основным параметром резьбовых крепежных деталей является резьба, форма и размеры которой соответствуют стандартам.

Болт (рисунок 13.27) - крепёжная деталь для разъёмного соединения частей машин и сооружений в виде стержня с резьбой на одном конце и шести- или четырёхгранной головкой на другом. Конструкции болтов весьма разнообразны в зависимости от назначения болтового соединения. Болты изготавливают из углеродистой, низколегированной или специальной стали, латуни и др.



Рис.13.27. Болт

Винт (рисунок 13.28) - изделие цилиндрической или конической формы с резьбовой поверхностью. Различают винты, с потайной, полупотайной, полукруглой, шестигранной, цилиндрической и гладкой головками.



Рис.13.28. Винт

Гайка (рисунок 13.29) - деталь резьбового соединения или винтовой передачи, имеющая отверстие с резьбой.

Крепёжная гайка в резьбовом соединении навинчивается на конец болта или шпильки или же на резьбовой участок вала, оси для закрепления от осевого перемещения сидящих на них деталей - подшипников качения, шкивов и т. п.

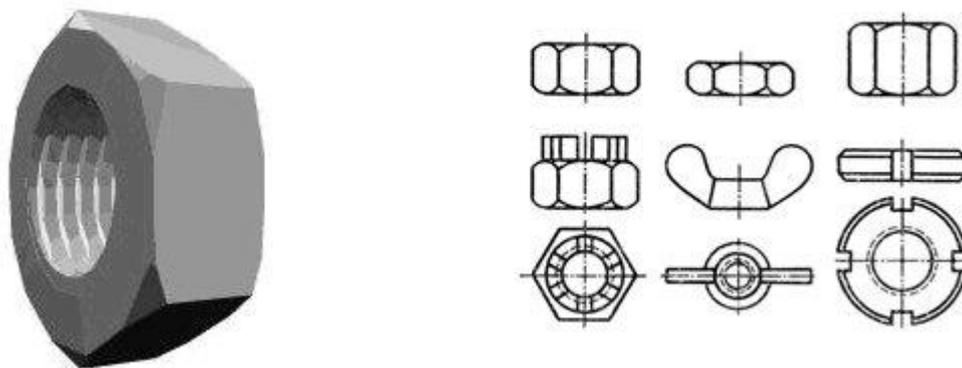


Рис.13.29. Гайки

Шпилька, крепёжная деталь, представляющая собой металлический стержень с резьбой на обоих концах (рисунок 13.30). Конец шпильки ввинчивается в одну из соединяемых деталей, а другая деталь прижимается к первой при навинчивании гайки на другой конец шпильки.



Рис.13.30. Шпилька

Шайба (рисунок 13.31), деталь, подкладываемая под гайку или головку болта для предупреждения смятия поверхностей соединяемых деталей, предохранения их от царапин при завинчивании гаек, винтов и для перекрытия зазора между стержнем болта и отверстием в деталях.

Шайбы общего назначения применяют для увеличения площади опоры, если опорная поверхность из мягкого материала или неровная, а также если отверстие под винт продолговатое или увеличенного диаметра. Косую и сферические шайбы используют для устранения перекоса гайки или головки винта при затяжке. Быстро-съемную шайбу применяют в приспособлениях для экономии времени на снятие обработанной детали и установку новой. Пружинная шайба уменьшает опасность самоотвинчивания винтов или гаек благодаря силам упругости сжатой шайбы.

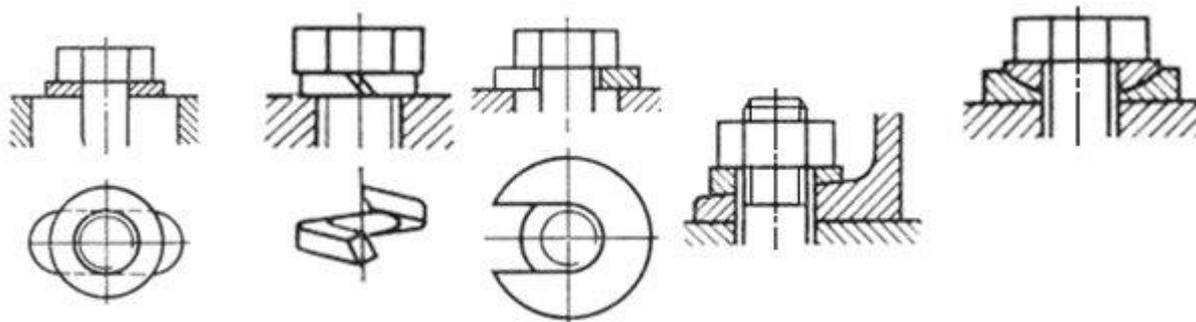


Рис.13.31. Шайбы

Стопорная (запирающая) шайба путём отгибания её частей устраняет возможность поворота гайки или винта относительно опорной детали или вала (рисунок 13.32).

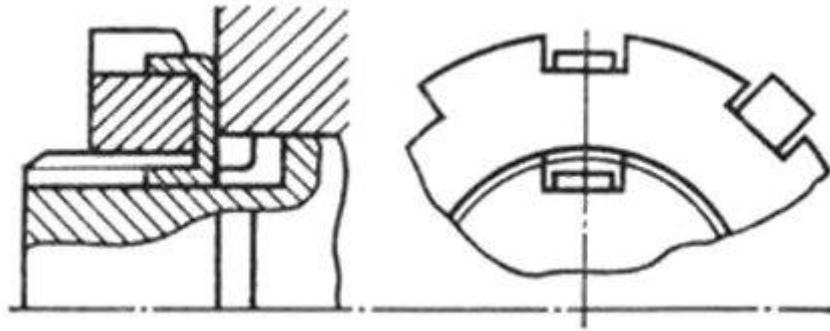


Рис.13.32. Стопорная шайба

Шплинт - проволочный стержень полукруглого сечения, согнутый почти пополам (рисунок 13.33). Используется в качестве фиксирующего элемента слабо нагруженных сопряжённых деталей и для предотвращения самоотвинчивания гаек. Вставляется в сквозное отверстие, выступающие концы разводятся (для удобства разведения одна половинка шплинта делается длиннее другой). Изготавливается из углеродистой стали.



Рис.13.33. Шплинт

Штифт, цилиндрический или конический стержень для неподвижного соединения деталей, часто в строго определённом положении, а также для передачи относительно небольших нагрузок (рисунок 13.34). Для постановки штифта детали соединяются и закрепляются. Затем в них просверливается и развёртывается отверстие, куда и вставляется штифт. Конический штифт, в отличие от цилиндрического, может использоваться многократно без уменьшения точности расположения деталей.



Рис.13.34. Штифты

Болтами, гайками и шайбами осуществляют **болтовые соединения** (рисунок 13.35), при которых не требуется нарезания резьбы в соединяемых деталях, однако должно быть предусмотрено место для размещения головки болта.

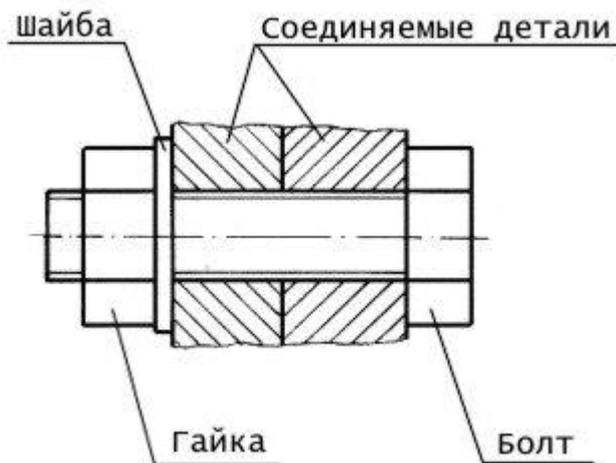


Рис.13.35. Болтовое соединение

Стопорные шайбы и шплинты предотвращают самоотвинчивание болтов и гаек при вибрациях и ударах.

Если размещение болтов затруднено или нежелательно делать сквозное отверстие в деталях, используют винты и шпильки.

Упрощенные изображения крепежных деталей

ГОСТ 2.315-79 устанавливает упрощенные и условные изображения крепежных деталей на сборочных чертежах и чертежах общего вида. Форму изображения выбирают в зависимости от назначения и масштаба чертежа. Крепежные детали, у которых на чертеже диаметры стержней равны 2 мм и менее, изображают условно. Размер изображения должен давать полное представление о характере соединения.

Упрощенные изображения крепежных деталей в соединениях

Упрощенное изображение соединения деталей с применением болта, шайбы и гайки представлено на рисунке 13.36.

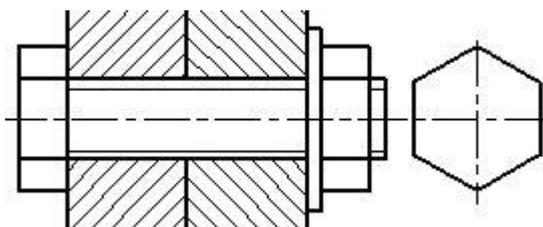


Рис.13.36. Упрощенное изображение болтового соединения

Упрощенное соединение деталей с применением шпильки, корончатой гайки и шплинта представлено на рисунке 13.37.

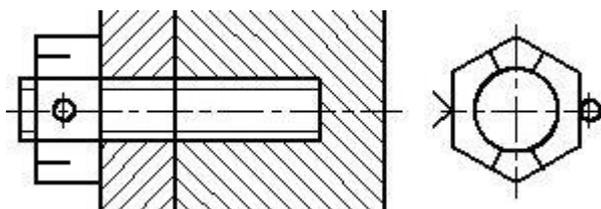


Рис.13.37. Упрощенное изображение соединения шпилькой

Упрощенное соединение деталей с применением винта с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ представлено на рисунке 13.38.

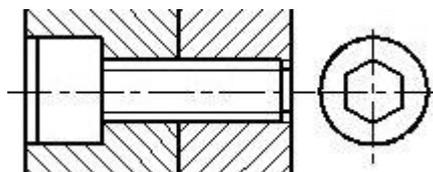


Рис.13.38. Упрощенное изображение винтового соединения

Штифтовое соединение представлено на рисунке 13.39.

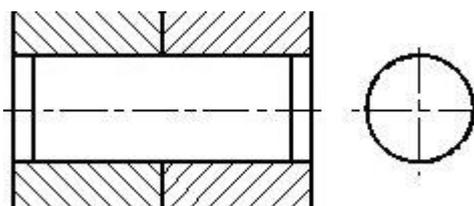


Рис.13.39. Упрощенное изображение соединения штифтом

Упрощенное соединение деталей с применением откидного болта с круглой головкой, шайбы и гайки-барашки показано на рисунке 13.40.

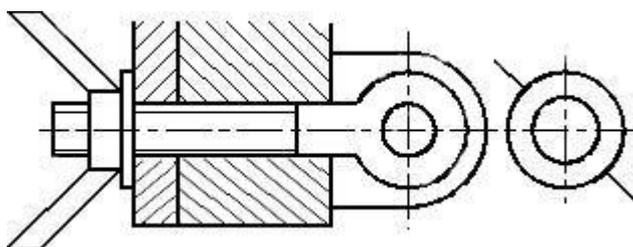


Рис.13.40. Упрощенное изображение соединения откидным болтом

Упрощенное соединение деталей винтом с цилиндрической головкой представлено на рисунке 13.41.

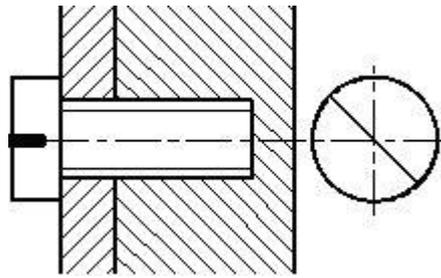


Рис.13.40. Упрощенное изображение соединения винтом с цилиндрической головкой

Упрощенное соединение деталей винтом с потайной головкой представлено на рисунке 13.41.

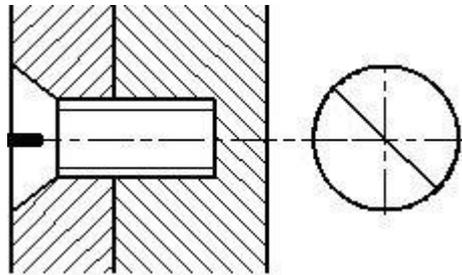


Рис.13.41. Упрощенное изображение соединения винтом с потайной головкой

Клиновое соединение деталей

Клиновое соединение деталей - разъёмное соединение, затягиваемое или регулируемое с помощью клина, выполняется обычно напряжённым, т. е. с предварительным натягом. Малый угол скоса клина обеспечивает плотность соединения и самоторможение, препятствующее выпадению клина (рисунок 13.42).

Клиновое соединение - простое компактное соединение, легко собираемое и разбираемое, его целесообразно применять в соединениях, подверженных при работе коррозии, когда трудно отвертывать проржавевшие винты и гайки резьбовых соединений.

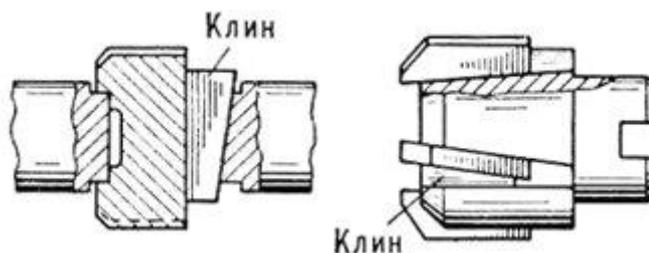


Рис.13.42. Клиновое соединение деталей

Шпоночные соединения деталей

Шпоночное соединение деталей - соединение вала и надетой на него с помощью шпонки детали.

Шпонка - деталь, соединяющая вал с втулкой, зубчатым колесом для передачи вращения. Часто употребляются шпонки клиновые (ГОСТ 24068-80), призматические (ГОСТ 23360-78), и сегментные (ГОСТ 24071-80). Шпоночное соединение представлено на рисунке 13.43.

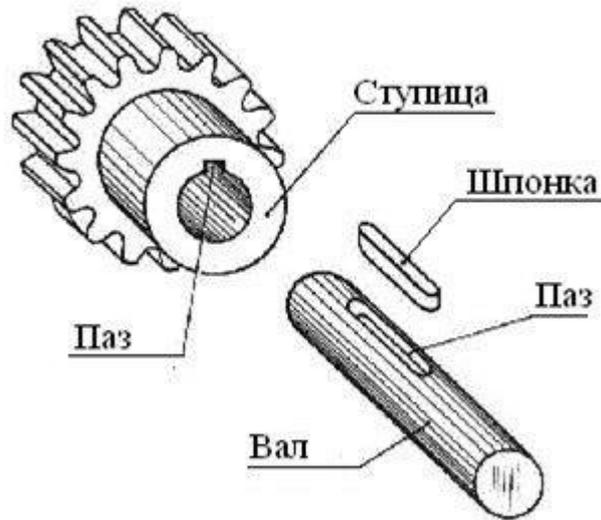


Рис.13.43. Шпоночное соединение деталей

Зубчатые, шлицевые соединения деталей

Зубчатое, шлицевое соединение осуществляется посредством выступов (зубьев на валу) и соответствующих впадин (шлицев) в отверстии детали.

В зависимости от профиля зубьев различают зубчатые соединения: прямобочное (наиболее распространённое), эвольвентное, мелкозубое треугольное (рисунок 13.44).

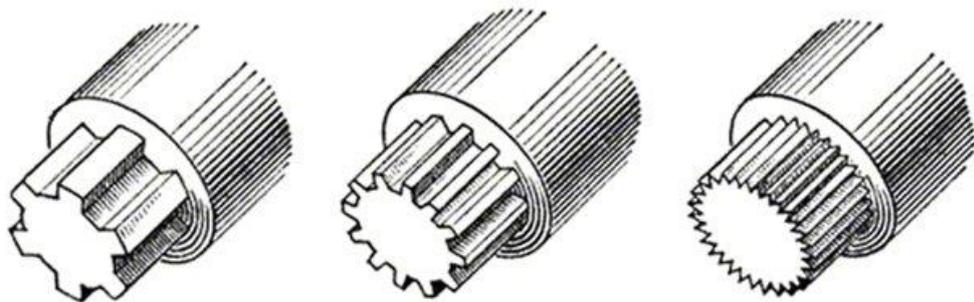


Рис. 13.44. Профили зубьев

На рисунке 13.45 представлено изображение и условное обозначение прямого шлицевого соединения с центрированием по наружному диаметру (D), число зубьев – 6, внутренний диаметр -28, размер наружного диаметра и полей допусков – $34H7/j_s6$, для втулки – $H7$, для вала - j_s6 , ширина зуба и поля допусков – $7P8/j_s7$, для втулки – $P8$, для вала - j_s7 .

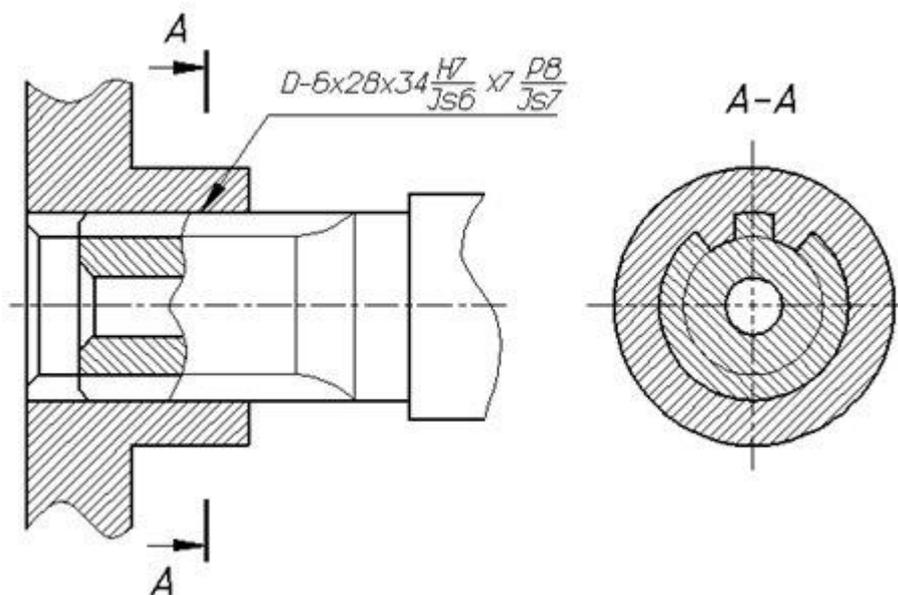


Рис.13.45. Шлицевое соединение

Сварные соединения деталей

Сварные соединения деталей являются наиболее совершенными неразъемными соединениями. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. Освоена сварка всех конструкционных сталей, включая высоколегированные, цветных сплавов и пластмасс.

Сварочная сборная единица представляет собой неразъемное соединение двух или нескольких деталей, выполненное с помощью сварки.

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого (ГОСТ 2601-84).

Классификация методов сварки

Существует более 60-ти способов сварки, которые можно классифицировать по следующим признакам (рисунок 13.46):

- **сварка плавлением**, при которой материал в месте соединения расплавляется (дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, световая, газовая и др);

- **сварка с применением давления**, при которой материал в месте соединения нагревается и пластически деформируется (контактная, высокочастотная, газопрессовая, трением и др);

- **сварка давлением**, при которой материал в месте соединения деформируется без нагрева (холодная, взрывом и др).

Также различают сварку по:

- **виду используемого источника энергии** - дуговую, газовую, электронно-лучевую лазерную и др.;

- **способу защиты материала** - под флюсом, в защитных газах, вакууме и др.;

- **степени механизации** - ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

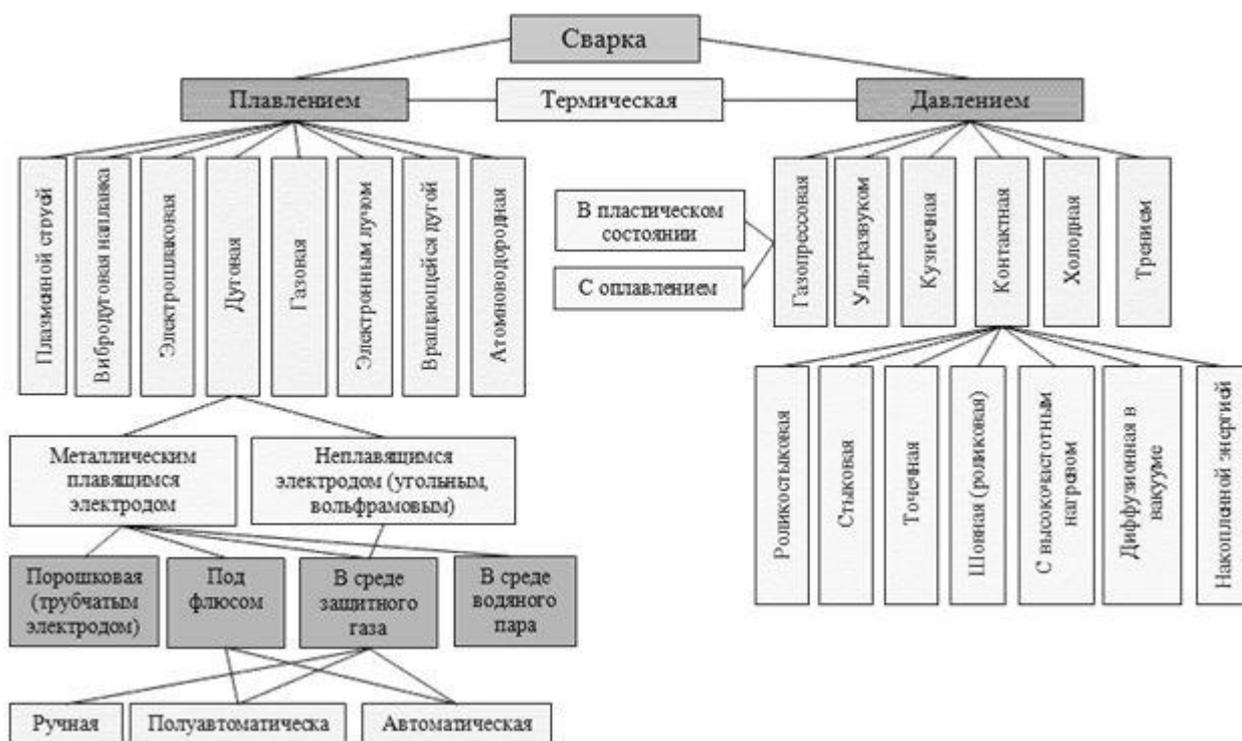


Рис.13.46. Классификация методов сварки

В сварочном производстве, как правило, применяют стандартные сварные швы, конструктивные элементы которых регламентируются ГОСТами в зависимости от геометрических параметров свариваемых элементов и способа сварки, который в свою очередь определяется химическим составом свариваемых материалов, прочностными и эксплуатационными требованиями к соединению.

Таблица 13.1

Стандартные способы сварки

ГОСТ	Наименование способа	Условное обозначение
5264-80	Ручная дуговая сварка	Р
8713-79	Автоматическая сварка под слоем флюса без применения подкладок, подушек и подварочного шва	А
	То же, с применением флюсовой подушки	Аф
	То же, с применением стальной подкладки	Ас
	Полуавтоматическая сварка под слоем флюса без применения подкладок, подушек и ручной проварки	П
	То же, с применением стальной подкладки	Пс
11533-75	Автоматическая сварка под флюсом (под острым и тупым углами) с ручной подваркой	Ар
	Полуавтоматическая сварка под флюсом (под острым и тупым углами) с ручной подваркой	Пр
15878-79	Сварки контактные:	
	точечная	Кт
	роликовая	Кр

	рельефная	Кв
	стыковая	Кс
15164-78	Электрошлаковая сварка проволочным электродом	Шэ
14771-76	Электродуговая сварка в защитных газах: в инертных газах неплавящимся электродом	ИН
	в углекислом газе плавящимся электродом	УП
14806-80	Электродуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах	АИНп
16310-80	Соединения сварные из полиэтилена, полипропилена и винипласта	Г,Э

По взаимному расположению соединяемых элементов различают сварные соединения стыковые, нахлесточные, угловые, тавровые, с накладками и др (рисунок 13.47).

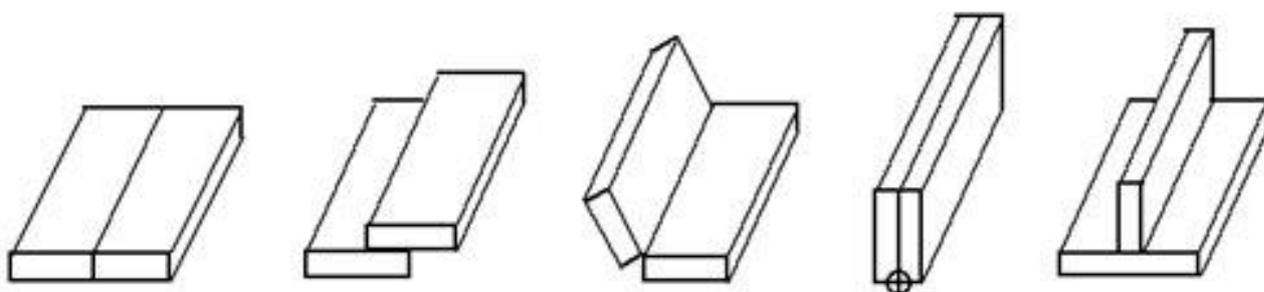


Рис.13.47. Типы сварных соединений

Условное изображение швов сварных соединений

Сварной шов - участок сварного соединения, непосредственно связывающий свариваемые элементы. При сварке плавлением шов образуется в результате кристаллизации сварочной ванны, при сварке давлением - в результате диффузии.

Шов сварного соединения, независимо от способа сварки, условно изображают:

видимый - сплошной основной линией;

невидимый - штриховой линией.

На рисунке 13.48. представлено графическое изображение сварных швов.

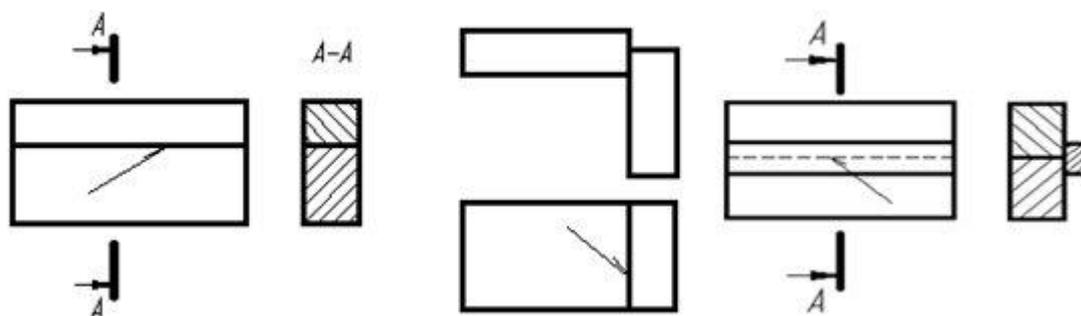


Рис.13.48. Пример изображение сварных швов

Видимую одиночную сварную точку, независимо от способа сварки, условно изображают знаком "+", который выполняют сплошными линиями. Невидимые одиночные точки не изображают (рис.13.49.).



Рис.13.49. Обозначение сварных точек

От изображения шва или одиночной точки проводят **линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой**. Линию-выноску предпочтительно проводить от видимого шва (рисунки 13.50).

Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображаются с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рисунки 13.50).



Рис.13.50. Пример изображения нестандартного сварного шва

Границы шва изображают сплошными основными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями.

Условное обозначение швов сварных соединений

В общем случае в структуре шва шесть, разделенных дефисами составляющих (рисунки 13.51).

Сварной шов обозначается линией-выноской, заканчивающейся односторонней стрелкой.

При наличии на чертеже швов, выполненных по одному и тому же стандарту, обозначение стандарта указывают в технических требованиях чертежа (запись по типу: "Сварные швы ... по ...") или таблице.

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в таблице 11. В условном обозначении шва вспомогательные знаки выполняют сплошными тонкими линиями. Вспомогательные знаки должны быть одинаковой высоты с цифрами, входящими в обозначение шва.

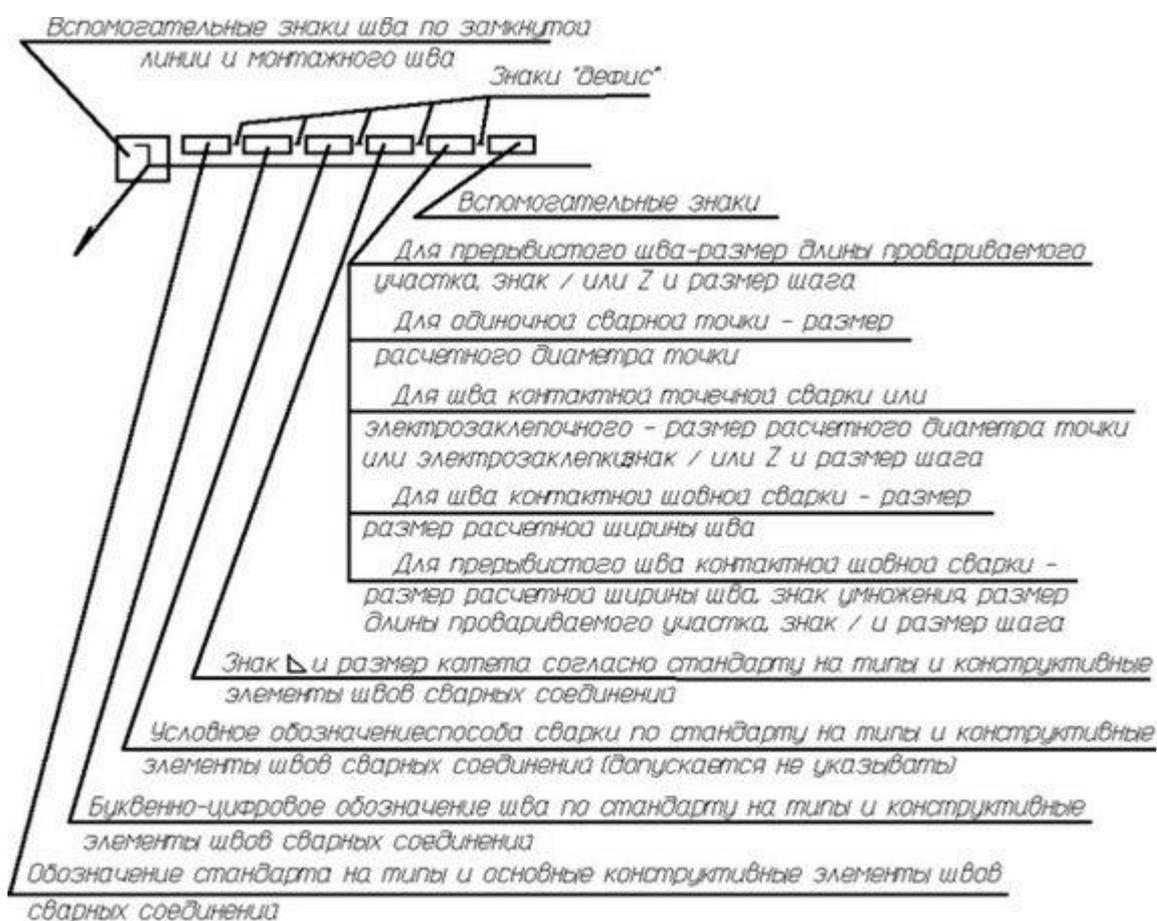


Рис.13.51. Структура обозначения сварного шва

ТЕМА 14. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

14.1 Физические основы производства отливок. Жидкотекучесть литейных сплавов. Усадка литейных сплавов. Трещины в отливках. Газовые раковины и пористость в отливках.

Литейное производство - отрасль, занимающаяся изготовлением фасонных заготовок или деталей путем заливки расплавленного металла в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки (детали). Конечную продукцию называют отливкой. Литьем получают отливки массой от нескольких граммов до 300т. Область применения способа литья определяется объемом производства, требованиями к точности и шероховатости поверхности отливок, экономической целесообразностью.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшения условий труда.

Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;
- особо ответственного назначения - отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. Типовые детали: крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентилялей и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. Типовые детали: станины специальных МРС, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

Требования к материалам, используемым для получения отливок:

Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Литейные сплавы

1. *Чугун* является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Из серого чугуна получают самые дешевые

отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

2. *Сталь* как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответственнее машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40...50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 тонн, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

1. *Медные сплавы* – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры для морских судостроения, работающей при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станков, червячных винтов применяют сложнoleгированные латуни. Обладают хорошей износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из *оловянных бронз* (БрОЗЦ7С5Н1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже. Применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов, деталей химической и пищевой промышленности.

2. *Алюминиевые сплавы.*

Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (Al-Si) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности.

Также используются сплавы систем: алюминий – медь, алюминий – медь – кремний, алюминий – магний.

3. *Магниеые сплавы* обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы.

Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением

температуры заливки расплавленного металла и формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки.

Различают *объемную* и *линейную* усадку.

В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Трещины в отливках образуются в результате внутренних напряжений. Эти напряжения появляются вследствие неравномерной усадки отливок, наличия в отдельных местах отливки сил, противодействующих усадке. Причины возникновения этих сил: неодинаковая скорость остывания различных частей отливки (тонкие части охлаждаются быстрее, чем толстые) и затрудненная усадка из-за недостаточной податливости формы и стержней.

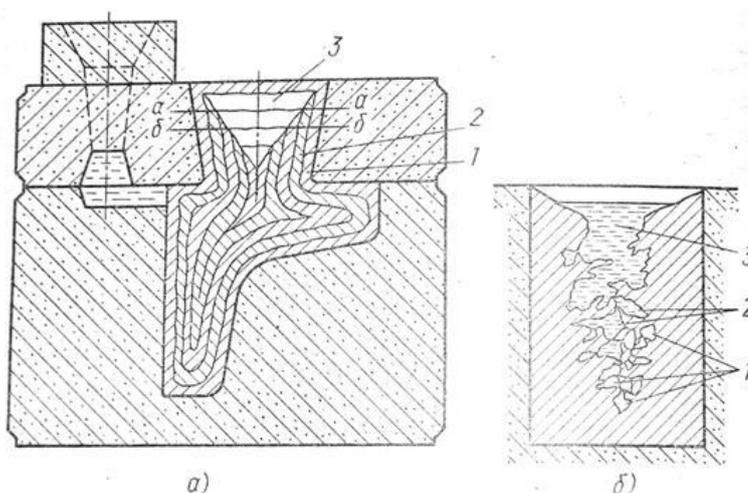


Рис.14.1. Отливка

Усадочные раковины – сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающих последними (рис.14.1,а). Сначала около стенок литейной формы образуется корка 1 твёрдого металла. Вследствие того что усадка расплава при переходе из жидкого состояния в твёрдое превышает усадку корки, уровень металла в не затвердевшей части отливки понижается до уровня а-а. В сле-

дующий момент времени на корке 1 нарастает новый твёрдый слой 2, а уровень жидкости опять понижается до уровня б-б. Так продолжается до тех пор, пока закончится процесс затвердевания. Снижение уровня расплава при затвердевании приводит к образованию сосредоточенной усадочной раковины 3. Сосредоточенные усадочные раковины образуются при изготовлении отливок из чистых металлов, сплавов эвтектического состава (сплав АЛ2) и сплавов с узким интервалом кристаллизации (низкоуглеродистые стали, безоловянные бронзы и др.).

Усадочная пористость – скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердели последними без доступа к ним расплавленного металла (рис.1,б). Вблизи температуры солидуса кристаллы срастаются друг с другом. Это приводит к разобшению ячеек 2, заключающих в себе остатки жидкой фазы 3. Затвердевание небольшого объёма металла в такой ячейке происходит без доступа к ней питающего расплава из соседних ячеек. В результате усадки в каждой ячейке получается небольшая усадочная раковина 1. Множество таких межзеренных микроусадочных раковин образует пористость, которая располагается по границам зёрен металла.

14.2 Изготовление отливок в песчаных формах. Формовочные и стержневые смеси.

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одноразового использования, так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

14.2.1 Изготовление отливок в песчаных формах

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от

нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3...5 до 1000 мм и длиной до 10000 мм.

Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах представлена на рис. 2.



Рис. 14.2. Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейная форма для получения отливок в песчаных формах представлена на рис.3. Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках 7, 8 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей 10, которые вставляют в отверстия ручек опок 11.

Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы. Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму;

стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы.

Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9.

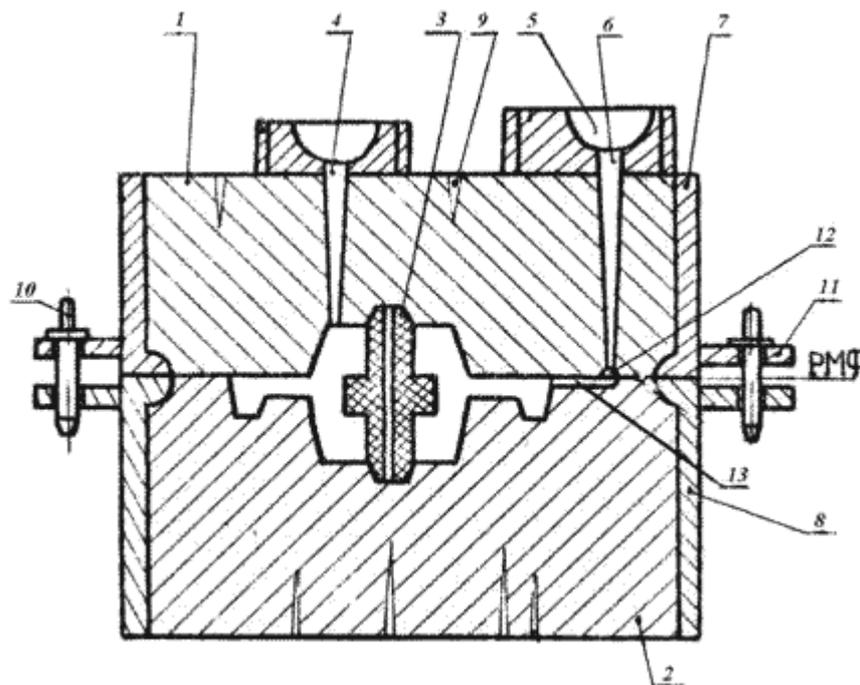


Рис. 14.3. Литейная форма

Разновидности литниковых систем представлены на рис. 14.4.

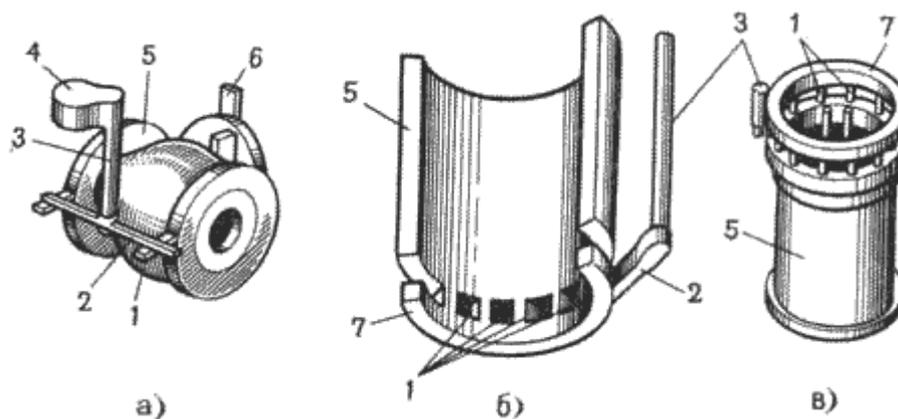


Рис. 14.4. Разновидности литниковых систем

Различают литниковые системы с питателями, расположенными в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делят на: нижнюю, верхнюю, боковую.

Нижняя литниковая система (рис.14.4.б) – широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части.

Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений. При такой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок (при литье алюминиевых сплавов форма не заполняется металлом, если отношение

высоты отливки к толщине ее стенки превышает $60, \frac{H}{\delta} \geq 60$).

Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме, крупных отливок из чугуна.

Верхняя литниковая система (рис.14.4.в).

Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания отливки.

Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака.

Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

Боковая литниковая система (рис.14.4.а).

Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки (по разьему формы).

Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разьема формы. Является промежуточной между верхней и нижней, и следовательно сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

Иногда при подводе металла снизу и сверху используют массивные коллекторы.

14.2.2 Приготовление формовочных и стержневых смесей

Для приготовления смесей используются природные и искусственные материалы. Песок – основной компонент формовочных и стержневых смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема

Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок используют противопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски.

В качестве припылов используют: для чугунных отливок – смесь оксида магния, древесного угля, порошкообразного графита; для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц.

Противопригарные краски представляют собой водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

Смеси должны обладать рядом свойств.

Прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации.

Поверхностная прочность (осыпаемость) – сопротивление истирающему действию струи металла при заливке,

Пластичность – способность воспринимать очертание модели и сохранять полученную форму,

Податливость – способность смеси сокращаться в объеме под действием усадки сплава.

Текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика.

Термохимическая устойчивость или непригарность – способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия.

Негигроскопичность – способность после сушки не поглощать влагу из воздуха.

Долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

По характеру использования различают облицовочные, наполнительные и единые смеси.

Облицовочная – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико- механические свойства.

Наполнительная – используется для наполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов.

Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок.

Единая – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

Приготовление формовочных смесей

Сначала подготавливают песок, глину и другие исходные материалы. Песок сушат и просеивают. Глину сушат, размельчают, размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. Аналогично получают угольный порошок.

Подготавливают оборотную смесь. Оборотную смесь после выбивки из опок разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц в магнитном сепараторе и просеивают.

Приготовление формовочной смеси включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение и разрыхление.

Перемешивание осуществляется в смесителях-бегунах с вертикальными или горизонтальными катками. Песок, глину, воду и другие составляющие загружают при помощи дозатора, перемешивание осуществляется под действием катков и плужков, подающих смесь под катки.

Готовая смесь выдерживается в бункерах-отстойниках в течение 2...5 часов, для распределения влаги и образования водных оболочек вокруг глинистых частиц.

Готовую смесь разрыхляют в специальных устройствах и подают на формовку.

Стержневая смесь

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки.

Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться растяжению или расплавлению под действием температуры расплавленного металла.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы (песок способствует ее повышению).

В зависимости от способа изготовления стержней смеси разделяют: на смеси с отверждением стержней тепловой сушкой в нагреваемой оснастке; жидкие самотвердеющие; жидкие холоднотвердеющие смеси на синтетических смолах; жидкостекольные смеси, отверждаемые углекислым газом.

Приготовление стержневых смесей осуществляется перемешиванием компонентов в течение 5...12 минут с последующим выстаиванием в бункерах.

В современном литейном производстве изготовление смесей осуществляется на автоматических участках.

Модельный комплект – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны.

Литейная модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки.

Применяют модели разъемные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые.

Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава.

Модели деревянные (сосна, бук, ясень), лучше изготавливать не из целого куска, а склеивать из отдельных брусочков с разным направлением волокон, для предотвращения коробления.

Достоинства: дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток: недолговечность.

Для лучшего удаления модели из формы ее окрашивают: чугун – красный, сталь – синий.

Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью и чистой рабочей поверхностью. Изготавливаются из алюминиевых сплавов – легкие, не окисляются, хорошо обрабатываются. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Стержневой ящик – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Обеспечивают равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разборными и неразборными (вытряхными), а иногда с нагревателями.

Изготовление стержней может осуществляться в ручную и на специальных стержневых машинах.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели. Используют для изготовления опочных и безопочных полуформ.

Для машинной формовки применяют координатные модельные плиты и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши).

14.3. Изготовление литейных форм

Основными операциями изготовления литейных форм являются: уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы.

Формы изготавливаются вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях.

14.3.1 Ручная формовка

Ручная формовка применяется для получения одной или нескольких отливок в условиях опытного производства, в ремонтном производстве, для крупных отливок массой 200...300 тонн.

Приемы ручной формовки: в парных опоках по разъемной модели; формовка шаблонами; формовка в кессонах.

Формовка шаблонами применяется для получения отливок, имеющих конфигурацию тел вращения в единичном производстве

Шаблон – профильная доска. Изготовление формы для шлаковой чаши показано на рисунках.

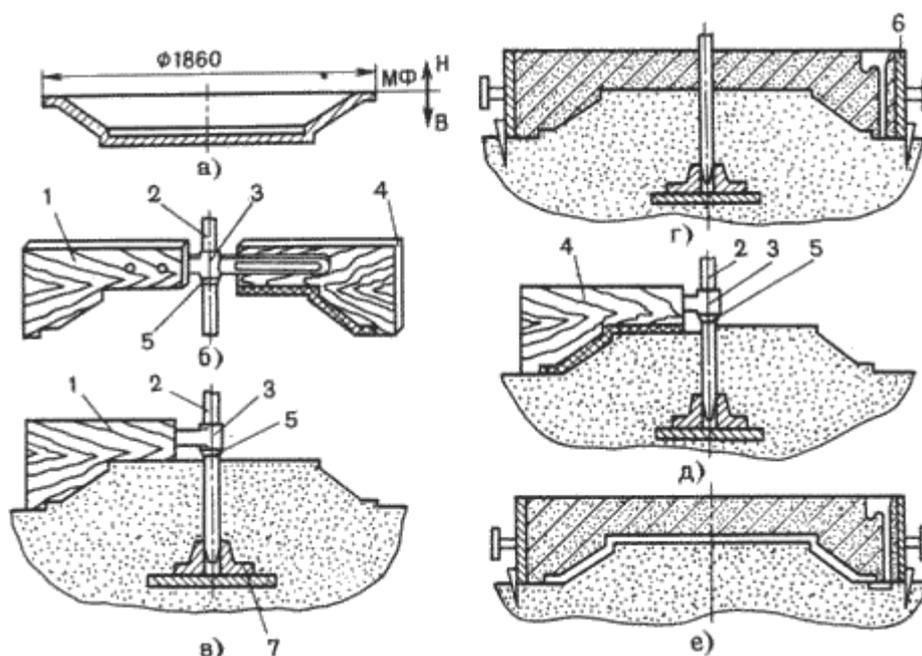


Рис. 14.5. Литейная форма ручной формовки

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона 1, закрепленного на шпинделе 2 при помощи серьги 3, оформляют наружную поверхность отливки (рис. 14.5.в.) и используют ее как модель для формовки в опоке верхней полуформы 6 (рис. 14.5.г). Снимают серьгу с шаблоном, плоскость разъема покрывают разделительным слоем сухого кварцевого песка, устанавливают модели литниковой системы, опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. Затем снимают верхнюю полуформу. В подпятник 7 устанавливают шпиндель с шаблоном 4, которым оформляют нижнюю полуформу, сжимая слой смеси, равный толщине стенки отливки (рис. 14.5.д). Снимают шаблон, удаляют шпиндель, отделяют болван и

устанавливают верхнюю полуформу (рис. 14.5.е). В готовую литейную форму заливают расплавленный металл

14.3.2 Формовка в кессонах.

Формовкой в кессонах получают крупные отливки массой до 200 тонн.

Кессон – железобетонная яма, расположенная ниже уровня пола цеха, водонепроницаемая для грунтовых вод.

Механизированный кессон имеет две подвижные и две неподвижные стенки из чугунных плит. Дно из полых плит, которые можно продувать (для ускорения охлаждения отливок) и кессона. Кессон имеет механизм для передвижения стенок и приспособлен для установки и закрепления верхней полуформы.

14.3.3 Машинная формовка

Используется в массовом и серийном производстве, а также для мелких серий и отдельных отливок.

Повышается производительность труда, улучшается качество форм и отливок, снижается брак, облегчаются условия работы.

По характеру уплотнения различают машины: прессы, встряхивающие и другие.

Уплотнение пресованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров формы моделей, степени и равномерности уплотнения и других условий.

В машинах с верхним уплотнением (рис.14. 6.а) уплотняющее давление действует сверху. Используют наполнительную рамку.

При подаче сжатого воздуха в нижнюю часть цилиндра 1 прессы поршень 2, стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 с моделью поднимается. Прессовая колодка 7, закрепленная на траверсе 8 входит в наполнительную рамку 6 и уплотняет формовочную смесь в опоке 5. После пресования стол с модельной оснасткой опускают в исходное положение.

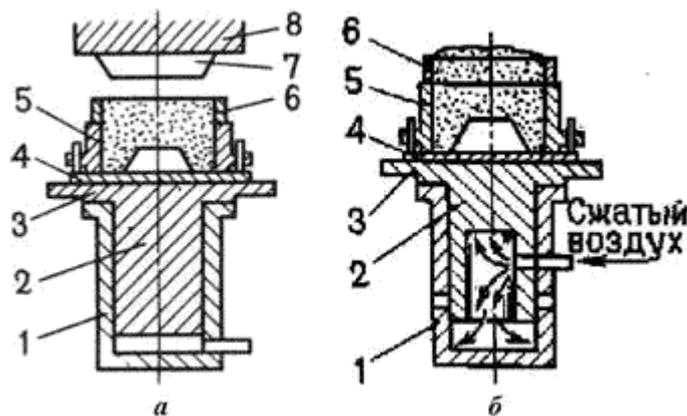


Рис. 14.6. Схемы способов уплотнения литейных форм при машинной формовке а – прессованием; б - встряхиванием

У машин с нижним прессованием формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой.

Уплотнение встряхиванием происходит в результате многократно повторяющихся встряхиваний (рис. 14.6.б).

Под действием сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю часть цилиндра 1, встряхивающий поршень 2 и стол с закрепленной на нем модельной плитой 4 с моделью поднимается на 30...100 мм до выпускного отверстия, затем падает. Формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 уплотняется в результате появления инерционных сил. Способ характеризуется неравномерностью уплотнения, уплотнение верхних слоев достигается допрессовкой.

14.3.4 Вакуумная формовка

Модельная плита имеет вакуумную полость. В модели имеются сквозные отверстия диаметром 0,5...1 мм, совпадающие с отверстиями в плите. Модельную плиту с моделью закрывают нагретой полимерной пленкой. В воздушной коробке насосами создается вакуум 40...50 кПа. Затем устанавливается опока с сухим кварцевым песком, который уплотняется с помощью вибраций.

На верхнюю поверхность помещают разогретую пленку, плотно прилегающую к опоке. Полуформу снимают с модели. При заливке металла пленка сгорает, образуя противопригарное покрытие.

Уплотнение пескометом осуществляется рабочим органом пескомета – металлической головкой. Формовочная смесь подается в головку непрерывно. Пескомет обеспечивает засыпку смеси и ее уплотнение. При вращении ковша (1000...1500 мин⁻¹) формовочная смесь выбрасывается в опоку со скоростью 30...60 м/с. Металлическая головка может перемещаться над опокой. Пескомет – высокопроизводительная формовочная машина, его применяют при изготовлении крупных отливок в опоках и кессонах.

14.3.5 Безопочная автоматическая формовка

Используется при изготовлении форм для мелких отливок из чугуна и стали в серийном и массовом производстве.

Изготовление литейных форм осуществляется на высокопроизводительных пескодувно-прессовых автоматических линиях (рис. 14.7).

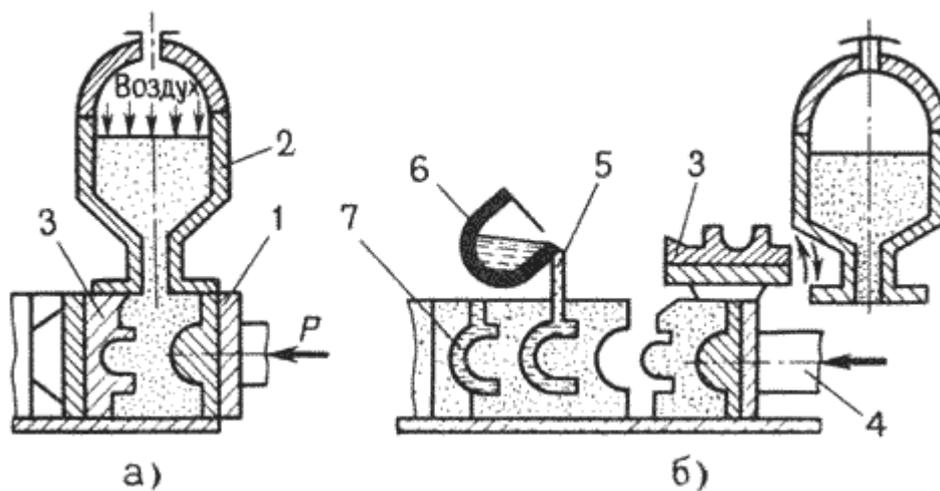


Рис. 14.7. Изготовление безопочных литейных форм

Формовочная камера заполняется смесью с помощью сжатого воздуха из головки 2. Уплотнение осуществляется при перемещении модельной плиты 1 плунжером 4. После уплотнения поворотная модельная плита 3 отходит влево и поворачивается в горизонтальное положение. Полуформа перемещается плунжером 4 до соприкосновения с предыдущим комом, образуя полость 5. Затем производят заливку металла из ковша 6. После затвердевания и охлаждения отливок, формы подаются на выбивную решетку, где отливки 7 освобождаются от формовочной смеси.

14.4. Изготовление стержней

Изготовление стержней осуществляется вручную или на специальных стержневых машинах из стержневых смесей.

Изготовление стержней включает операции: формовка сырого стержня, сушка, окраска сухого стержня. Если стержень состоит из нескольких частей, то после сушки их склеивают.

Ручная формовка осуществляется в стержневых ящиках. В готовых стержнях выполняют вентиляционные каналы. Для придания стержням необходимой прочности используются арматурные каркасы из стальной проволоки или литого чугуна.

Готовые стержни подвергаются сушке при температуре 200...230 °С, для увеличения газопроницаемости и прочности. Во время сушки из стержня удаляется влага, частично или полностью выгорают органические примеси

Часто стержни изготавливают на пескодувных машинах. При использовании смесей с синтетическими смолами, стержни изготавливают в нагреваемой оснастке.

Изготовление стержней из жидкостекольных смесей состоит в химическом отверждении жидкого стекла путем продувки стержня углекислым газом.

14.5. Изготовление отливок в песчаных формах

Приготовление литейных сплавов связано с плавлением различных материалов. Для получения заданного химического состава и определенных свойств, в сплав в жидком или твердом состоянии вводят специальные легирующие элементы: хром, никель, марганец, титан и др.

Для плавления чугуна и стали, в качестве исходных материалов применяют литейные или переделные доменные чугуны, чугуны и стальной лом, отходы собственного производства, а также для понижения температуры плавления и образования шлаков – флюсы (известняк).

Чугуны, в основном, выплавляют в вагранках. В последнее время развивается плавка в электрических печах, а также дуплекс-процесс, в особенности, вариант вагранка – индукционная печь.

Плавку стали ведут в электродуговых, индукционных и плазменно-индукционных печах.

Для плавления цветных металлов используют как первичные, полученные на металлургических заводах, так и вторичные, после переплавки цветного лома, металлы и сплавы, а также – флюсы (хлористые и фтористые соли).

Для плавления применяют индукционные печи промышленной частоты, электрические печи сопротивления. Плавку тугоплавких металлов и сплавов ведут в вакууме или в среде защитных газов.

Сборка литейной формы включает: установку нижней полуформы; установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы; установку верхней полуформы по центрирующим штырям.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Важное значение имеет температура расплавленного металла. Целесообразно назначать ее на 100...150 °С выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки.

Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Охлаждение отливок до температуры выбивки длится от нескольких минут (для небольших тонкостенных отливок) до нескольких суток и недель (для крупных толстостенных отливок). Для сокращения продолжительности охлаждения используют методы принудительного охлаждения:

- а) обдувают воздухом,
- б) при формовке укладывают змеевики, по которым пропускают воздух или воду.

Выбивка отливки – процесс удаления затвердевшей и охлажденной до определенной температуры отливки из литейной формы, при этом литейная форма разрушается. Осуществляют на специальных выбивных установках. Форма выталкивается из опоки выталкивателем на виброжелоб, по которому направляется на выбивную решетку, где отливки освобождаются от формовочной смеси. Выбивку стержней осуществляют вибрационно-пневматическими и гидравлическими устройствами.

Обрубка отливок – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливов по месту сопряжения полуформ.

Осуществляется пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, при помощи газовой резки и на прессах.

После обрубки отливки зачищают, удаляя мелкие заливки, остатки выпоров и литников. Выполняют зачистку маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок.

Осуществляется в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия (для мелких отливок), в гидropескоструйных и дробеметных камерах, а также химической или электрохимической обработкой.

14.6 Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением терморективных связующих материалов.

Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рис.14.

Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до 200...250 °С.

Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 14.8. а) и поворачивают на 180 ° (рис. 14.8.б). Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, терморективная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 14.8. в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой обо-

лочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рис.14.8.г). Аналогичным образом получают вторую полуформу.

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб).

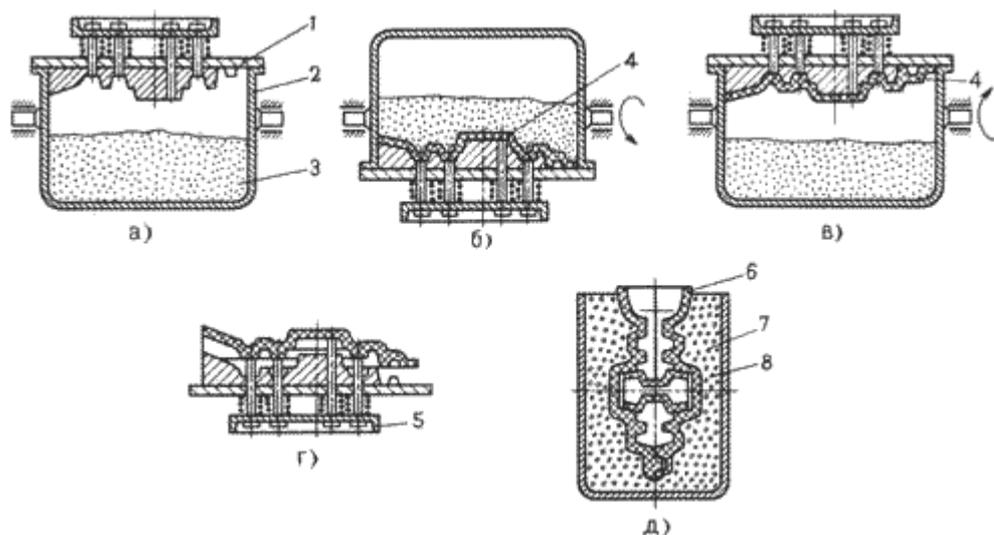


Рис. 14.8. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы

Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью разъема укладывают на слой песка. Формы с вертикальной плоскостью разъема б и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры 7 и засыпают чугунной дробью 8 (рис.14.д).

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой 0,2...100 кг с толщиной стенки 3...15 мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков.

14.7 Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям представлены на рис. 14.9.

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах 1 (рис.14. 9.а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рис. 14.9.б) выталкивается в холодную воду.

Затем модели собираются в модельные блоки 3 (рис.14. 9.в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют 2...100 моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рис.14.9.г) с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3...5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6...8 часов при температуре 850...950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рис. 14.9.д)

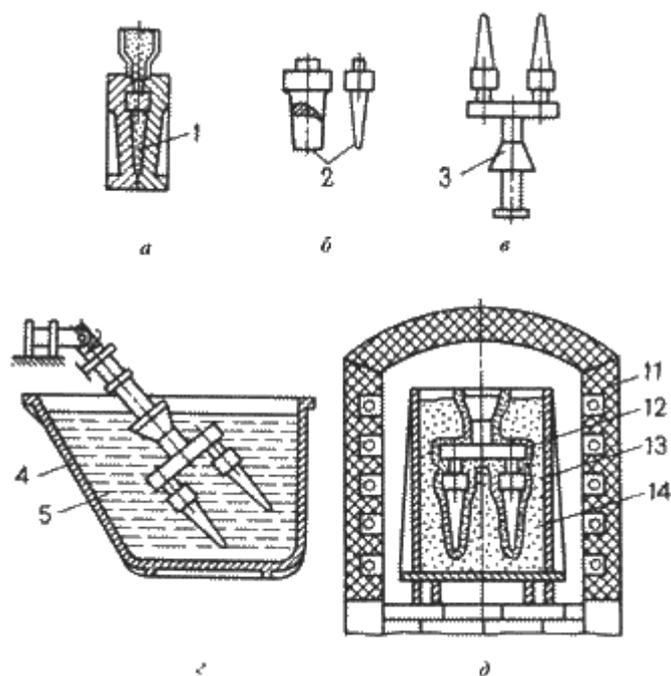


Рис.14.9. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д.

После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02...15 кг с толщиной стенки 0,5...5 мм.

Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин), коррозионно-стойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность).

Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

14.8 Литье в кокиль

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокую плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Схема получения отливок в кокиле представлена на рис. 14.10.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разреза, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до $150...180^{\circ}\text{C}$ покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 14.10.а) толщиной $0,3...0,8$ мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

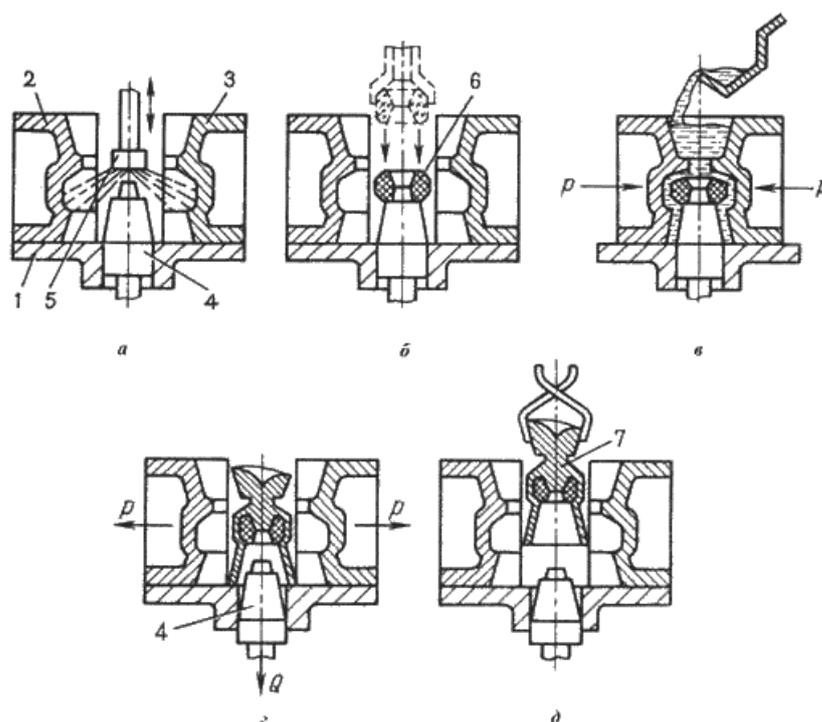


Рис. 14.10. Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рис.14.10.б).

Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рис. 14.10.в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис.14.10.г) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется манипулятором из кокиля (рис.14.10.д).

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

14.9. Изготовление отливок центробежным литьем

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом.

На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С.

Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на рис.14.11.

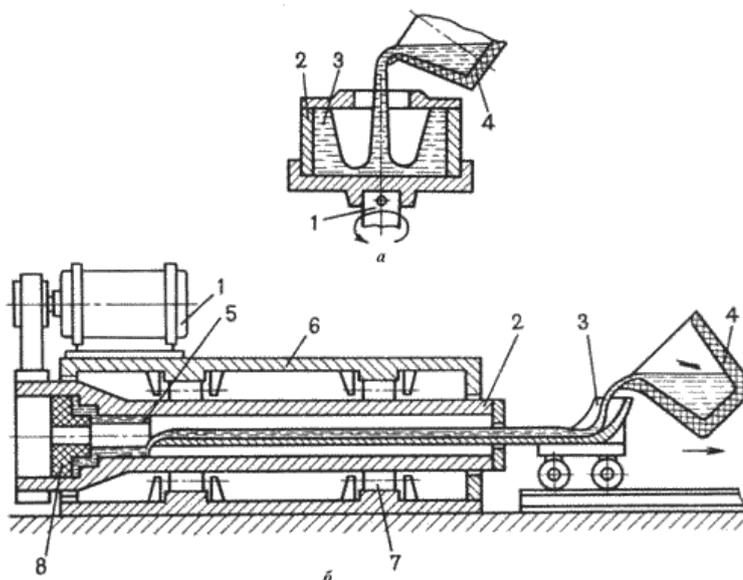


Рис.14.11. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис.14.11.а) металл из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте — более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты — коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рис.14. 11.б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница приводится в движение электродвигателем 1. Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажки железнодорожных и трамвайных вагонов).

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

Используют автоматические и многопозиционные карусельные машины с управлением от ЭВМ.

14.10. Литье под давлением

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением.

Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис.14.12) расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рис.14.12.а). Затем металл плунжером 5, под давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рис.14.12.б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рис.14.12.в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

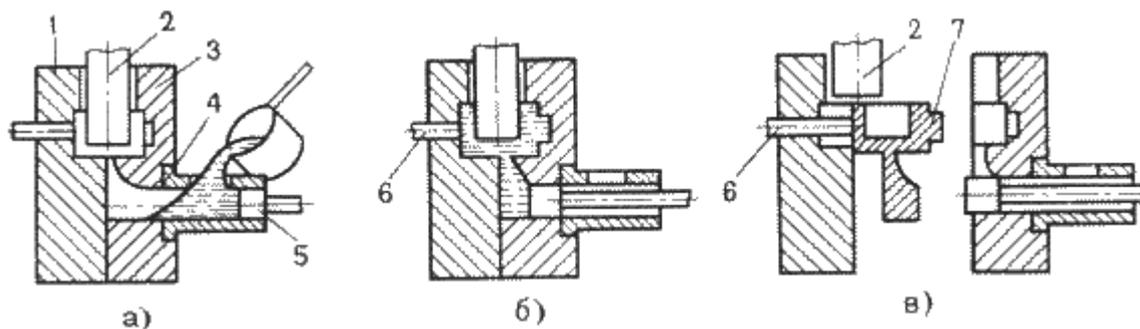


Рис.14.12. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...320 °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис.14.13) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением 10...30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер воз-

вращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями 6. Получают отливки из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

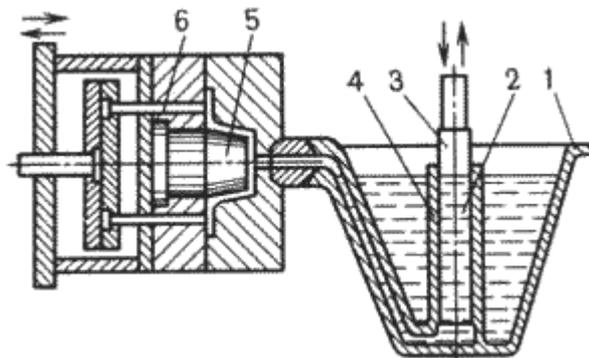


Рис.14.13. Схема изготовления отливки на машинах с горячей камерой прессования

При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на $10 \dots 20$ °С выше температуры плавления.

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса.

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

14.11. Изготовление отливок электрошлаковым литьем

Сущность процесса электрошлакового литья заключается в переплаве расходного электрода в водоохлаждаемой металлической форме (кристаллизаторе).

При этом операции расплавления металла, его заливка и выдержка отливки в форме совмещены по месту и времени.

Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем представлена на рис. 14.14.

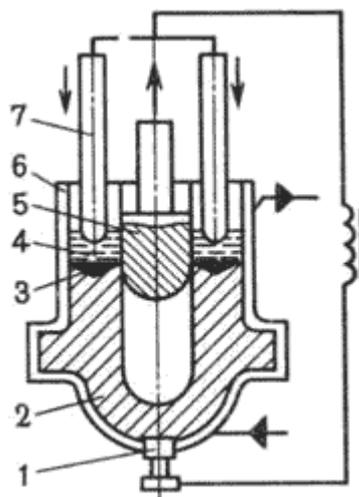


Рис.14.14. Схема изготовления отливок электрошлаковым литьем

В качестве расходуемого электрода используется прокат. В кристаллизатор 6 заливают расплавленный шлак 4 (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электро- сопротивлением. При пропускании тока через электрод 7 и затравку 1 выделяется значительное количество теплоты, и шлаковая ванна нагревается до 1700 °С, происходит оплавление электрода. Капли расплавленного металла проходят через расплавленный шлак и образуют под ним металлическую ванну 3. Она в водоохлаждаемой форме затвердевает последовательно, образуя плотную без усадочных дефектов отливку 2. Внутренняя полость образуется металлической вставкой 5.

Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Изготавливаются отливки ответственного назначения массой до 300 тонн: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых двигателей, корпуса сосудов сверхвысокого давления, ротора турбогенераторов.

14.12 Изготовление отливок непрерывным литьем

При *непрерывном литье* (рис. 14.15) расплавленный металл из металлоприемника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3

и затвердевает в виде отливки 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины.

Используют при получении отливок с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых сплавов. Отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости, благодаря созданию направленного затвердевания отливок.

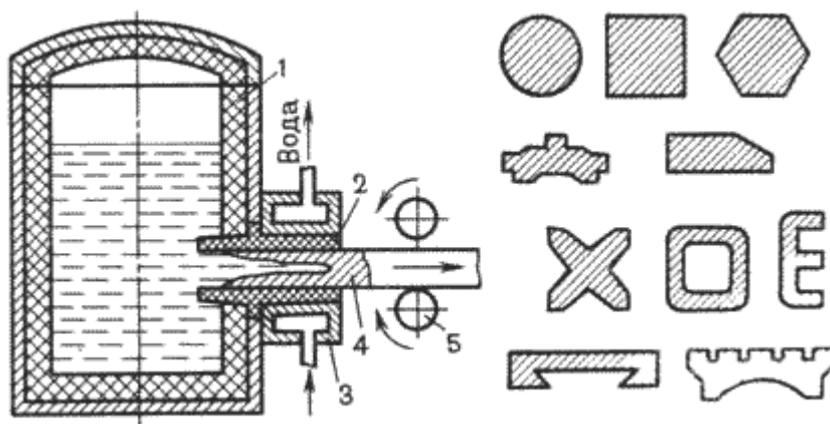


Рис.14.15. Схема непрерывного литья (а) и разновидности получаемых отливок (б)

14.13. Технология обработки давлением

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала.

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия.

Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

14.13.1 Классификация процессов обработки давлением

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

– для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;

– для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются:

– сжатие между плоскостями инструмента – ковка;

– ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;

– затекание металла в полость инструмента – штамповка;

– выдавливание металла из полости инструмента – прессование;

– вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения. Губкиным С.И. предложено различать виды деформации и, соответственно, виды обработки давлением.

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформиро-

ванными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

При *неполной холодной деформации* рекристаллизация не происходит, но протекают процессы возврата. Температура деформации несколько выше температуры возврата, а скорость деформации меньше скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата.

Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

14.13.2 Характеристики деформаций

Процессам обработки металлов давлением присущи определенные закономерности.

Закон постоянства объема. Пластическая деформация практически не влияет на плотность металла, поэтому действует закон постоянства объема: объем тела при его пластической деформации остается неизменным:

$$H \times B \times L = h \times b \times l, \frac{h \times b \times l}{H \times B \times L} = 1$$

где:

H – высота;

B – ширина;

L – длина – размеры тела до деформации;

h – высота;

b – ширина;

l – высота – размеры тела после деформации.

Закон применяется для расчетов объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, а также переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон подобия. При осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затраченных работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров. Этот закон, основанный на принципе моделирования, используется для приближенного определения усилий деформирования и затрачиваемой работы.

Закон наименьшего сопротивления. В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением.

По этому закону, при наличии трения на контактной поверхности, заготовка прямоугольного сечения при осадке будет приобретать округлую форму, имеющую наименьший периметр при данной площади.

В этом случае направлением наименьшего сопротивления является кратчайшая нормаль к периметру сечения.

Деформацию принято оценивать следующими величинами.

1. Абсолютные деформации:

$$H - h = \Delta h - \text{обжатие};$$

$$b - B = \Delta b - \text{уширение};$$

$$l - L = \Delta l - \text{удлинение}.$$

2. Относительные деформации:

$$\frac{\Delta h}{H} \text{ или } \frac{\Delta h}{h} - \text{относительное обжатие или относительная высотная деформация};$$

$\frac{\Delta b}{B}$ или $\frac{\Delta b}{b}$ – относительное уширение или относительная поперечная деформация;

$\frac{\Delta l}{L}$ или $\frac{\Delta l}{l}$ – относительное удлинение или относительная продольная деформация.

3. Коэффициент, определяющий изменение длины обрабатываемого изделия – $\mu = \frac{l}{L}$. Его называют *вытяжкой* или *коэффициентом вытяжки*.

Согласно закону постоянства объема $\mu = \frac{F}{f}$ (где: F – площадь поперечного сечения до деформации, f – площадь поперечного сечения после деформации).

Скорость деформации – изменение относительной деформации в единицу времени:

$$W = \frac{d\varepsilon}{dt}; W_{\text{ср.}} = \frac{\varepsilon}{t} \left(c^{-1}, \frac{\theta}{c} \right),$$

где: ε – степень деформации; t – время.

Скорость деформации следует отличать от скорости движения деформирующего инструмента и скорости течения металла при деформации. Диапазон скоростей деформации составляет $10^{-1} \dots 10^3, \text{ с}^{-1}$.

14.13.3 Технологические свойства

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Состав и структура металла. Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности.

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или ковальной заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

Характер напряженного состояния является одним из важнейших факторов, определяющих механические свойства твердых тел в процессе деформации. При одинаковых температурах и скоростях деформации механические свойства твердых тел, и особенно металлов, могут меняться в довольно широких пределах в зависимости от распределения напряжений внутри образца. Обычные диаграммы деформации при неоднородном напряженном состоянии представляют собою лишь усредненные значения сил и деформаций в различных точках деформируемого тела и не дают по существу никакого представления об истинном распределении напряжений и деформаций внутри тела.

Неравномерность деформации. Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополни-

тельных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

Скорость деформации. С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Влияние температуры. Качественная зависимость пластичности от температуры представлена на рис.14.16.

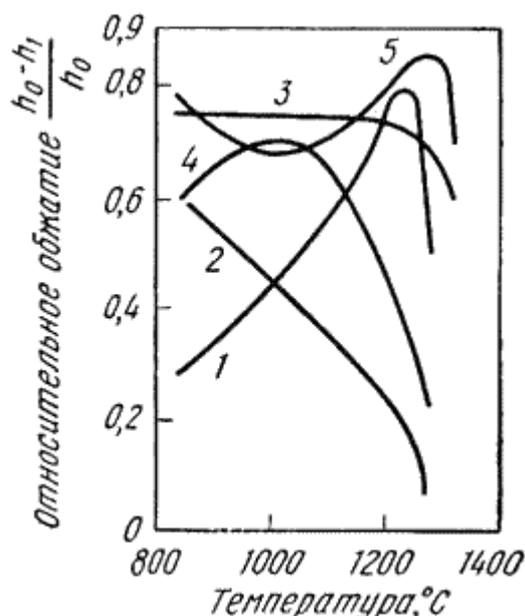


Рис. 14.16. Влияние температуры на пластичность сталей

Влияние температуры неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными (1). Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии (2). Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры (3). Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности (4). Техническое железо в интервале 800...1000 °C характеризуется понижением пластических свойств (5). При температурах, близких к температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

14.13.4 Нагрев металлов перед обработкой давлением

Улучшение механических свойств металлов и сплавов связано с приданием им мелкозернистой структуры. Рост же зерна в процессе рекристаллизации зависит от степени деформации и температуры нагрева, осуществляемого для обработки металла давлением.

Критической деформацией называют такую, после которой при нагреве (отжиге, рекристаллизации) получается наиболее крупнокристаллическое строение металла. Для получения мелкокристаллического строения, очевидно, при обработке давлением нужно осуществлять деформации, большие, чем критические.

Получение нужных результатов после горячей обработки металлов давлением возможно лишь при правильном назначении температур начала и конца этой обработки, а также при выборе правильной скорости нагрева металла.

Нагрев заготовки начинается с поверхности и благодаря теплопроводности металла распространяется в глубь него. При слишком быстром нагреве могут возникнуть трещины. При недостаточно высокой температуре нагрева пластичность металла для осуществления его деформации будет недостаточна. При слишком высокой температуре нагрева может получиться перегрев или даже пережог. В первом случае будет чрезмерный рост зерен металла, а при пережоге — окисление по границам зерен и расплавление межкристаллического вещества. В результате этого ослабляется связь между зернами металла. При ковке пережженного металла он разрушается.

Температура окончания процесса горячей обработки металла давлением не должна быть слишком высокой, чтобы в результате не возникла крупнокристаллическая структура. Эта температура не должна быть и слишком низкой, чтобы не возник наклеп.

Для различных металлов температурные интервалыковки различны. Например, для углеродистой, стали в зависимости от марки стали верхний предел нагрева 1200-1000° С, а нижний 800-850° С; для алюминиевых сплавов соответственно 490-70° С и 350-400° С.

Ориентировочное определение минимального времени на нагрев стальных заготовок толщиной свыше 150 мм или слитков в пламенных печах до температуры начала обработки давлением, т. е. до 1200° С, можно приближенно произвести по формуле Н. Н. Доброхотова, В. Ф. Копытова:

$$T = \alpha k \cdot D \sqrt{D},$$

где T - время нагрева в часах;

α - коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок;

k - коэффициент, учитывающий степень легирования стали;

D - толщина заготовки в м.

14.14. Прокатное производство

Прокатка — процесс пластического деформирования тел на прокатном стане между вращающимися приводными валками.

Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила N и касательная сила трения T (рис. 14.17).

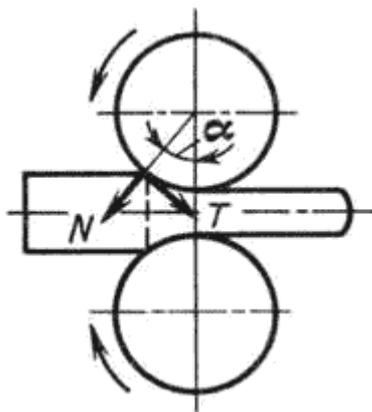


Рис. 14.17. Схема сил, действующих при прокатке

Угол α — угол захвата, дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом — дуга захвата, а объём металла между дугами захвата — очаг деформации.

Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением $T' > N'$,

где: T' – втягивающая сила - проекция силы трения T на горизонтальную ось; N' – выталкивающая сила – проекция нормальной реакции валков N на горизонтальную ось.

При этом условии результирующая сила будет направлена в сторону движения металла.

Условие захвата металла можно выразить: $T \times \cos \alpha > N \times \sin \alpha$

Выразив силу трения T через нормальную силу N и коэффициент трения f : $T = f \times N$, и, подставив это выражение в условие захвата, получим:

$$f \times \cos \alpha > \sin \alpha \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом, для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках.

При прокатке стали $\alpha = 20 \dots 25^\circ$, при горячей прокатке листов и полос из цветных металлов – $\alpha = 12 \dots 15^\circ$, при холодной прокатке листов – $\alpha = 2 \dots 10^\circ$.

Степень деформации характеризуется показателями:

– абсолютное обжатие: $\Delta h = H - h$ (H, h – начальная и конечная высоты заготовки);

относительное обжатие:
$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} \times 100\%$$

Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый *вытяжкой* (коэффициентом вытяжки).

$$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}$$

где: l_0, F_0 – первоначальные длина и площадь поперечного сечения, l_1, F_1 – те же величины после прокатки.

Вытяжка обычно составляет 1,1...1,6 за проход, но может быть и больше.

14.14.1 Способы прокатки

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно-винтовая (рис.2).

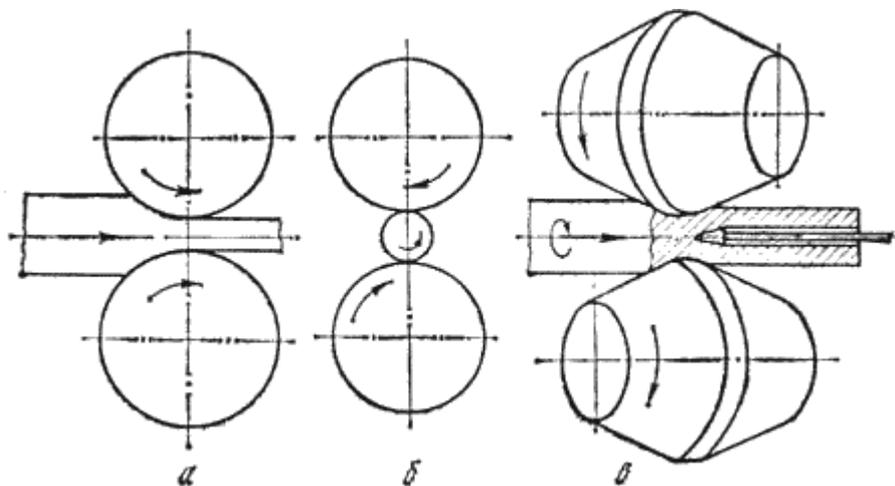


Рис. 14.18. Схемы основных видов прокатки:

а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

При *продольной* прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис.14.18 а).

Поперечная прокатка (рис. 14.18.б). Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

Поперечно-винтовая прокатка (рис. 14.18.в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает ещё и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*, конструкция которых представлена на рис.14.19. В зависимости от прокатываемого профиля

валки могут быть гладкими (рис.14.19.а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) (рис. 14.19.б) для получения сортового проката.

Ручей – профиль на боковой поверхности вала. Промежутки между ручьями называются *буртами*. Совокупность двух ручьев образует полость, называемую *калибром*, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров называется *калибровкой*.

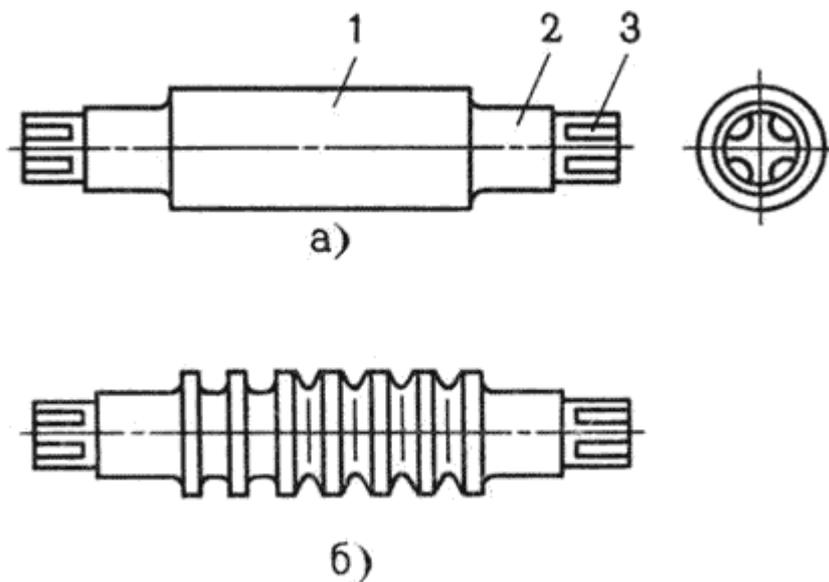


Рис. 14.19. Прокатные валки: а – гладкий ; б – калиброванный

Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трефы 3.

Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей. Трефа предназначена для соединения вала с муфтой или шпинделем.

14.14.2 Технологический процесс прокатки

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки. Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката.

Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину. Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При *прокатке* контролируется температура начала и конца процесса, режим обжаривания, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Процесс прокатки осуществляют на прокатных станах, главная линия прокатного стана состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Схема главной линии прокатного стана представлена на рис. 14.20.

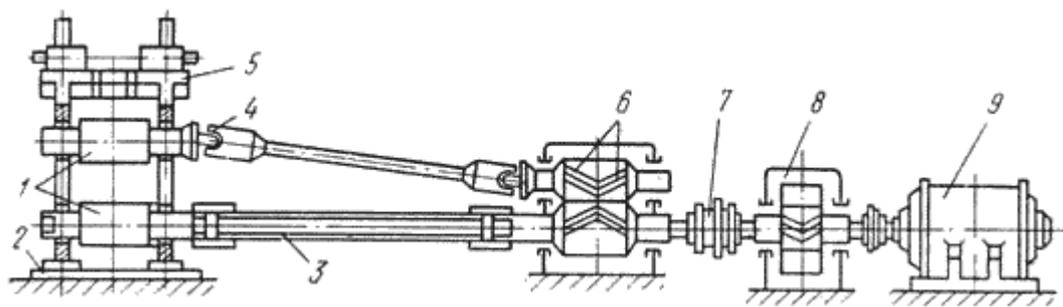


Рис. 14.20. Схема главной линии прокатного стана

1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – трехлопастный шпиндель; 4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клетка; 6 – шестеренная клетка; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Прокатные валки 1 установлены в рабочей клетке 5, которая воспринимает давление прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового про-

ката) бочки. В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (кварто-стан) и универсальные (рис.14.21).

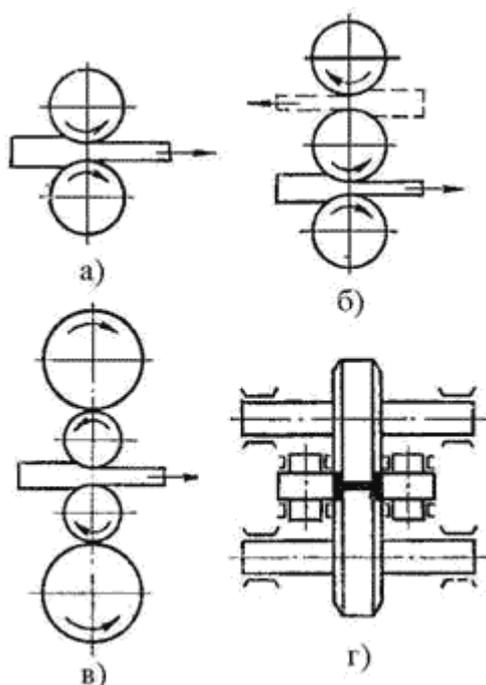


Рис. 14.21. Рабочие клетки прокатных станов

В двухвалковых клетях (рис.14.21.а) осуществляется только по одному пропуску металла в одном направлении. Металл в трехвалковых клетях (рис. 5.б) движется в одну сторону между нижним и верхним, а в обратную – между средним и верхним валками.

В четырехвалковых клетях (рис. 14.21.в) устанавливаются опорные валки, которые позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижаются деформирующие усилия.

Универсальные клетки (рис.14.21.г) имеют неприводные вертикальные валки, которые находятся между опорами подшипников горизонтальных валков и в одной плоскости с ними.

Шестеренная клетка б предназначена для распределения крутящего момента двигателя между валками. Это одноступенчатый редуктор, передаточное отношение которого равно единице, а роль шестерен выполняют шестеренные валки.

Шпиндели предназначены для передачи крутящего момента от шестеренной клетки прокатным валкам при отклонении от соосности до $10...12^\circ$. При незначительном перемещении в вертикальной плоскости применяют шпиндели трефового типа 3 в комплекте с трефовой муфтой. Внутренние очертания трефовых муфт отвечают форме сечения хвостовика валка или шпинделя. Муфтой предусмотрен зазор $5...8$ мм, что допускает возможность работы с перекосом $1...2^\circ$. При значительных перемещениях валков в вертикальной плоскости ось шпинделя может составлять значительный угол с горизонтальной плоскостью, в этом случае применяют шарнирные или универсальные шпиндели 4, которые могут передавать крутящий момент прокатным валкам при перекосе шпинделя до $10...12^\circ$. В качестве двигателя прокатного стана 9 применяют двигатели постоянного и переменного тока, тип и мощность зависят от производительности стана. Редуктор 8 используется для изменения чисел оборотов при передаче движения от двигателя к валкам. Зубчатые колеса – обычно шевронные с наклоном спирали 30° .

По назначению прокатные станы подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

В качестве *транспортных устройств* в прокатном производстве используют:

- *слитковозы* и различного вида *тележки* для подачи слитков и заготовок от нагревательных устройств к стану;

- *рольганги* – основное транспортное средство прокатных цехов (транспортеры с последовательно установленными вращающимися роликами обеспечивают продольное перемещение металла; при косом расположении роликов возникает возможность поперечного движения полосы);

- *манипуляторы*, предназначенные для правильной задачи полосы в калибр;

- *кантователи*, предназначенные для поворота заготовки вокруг горизонтальной оси.

14.14.3 Правка проката

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки.

(Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы.)

Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении.

Роликоправильные машины с параллельно расположенными роликами предназначены для правки листа и сортового проката (рис. 14.22)

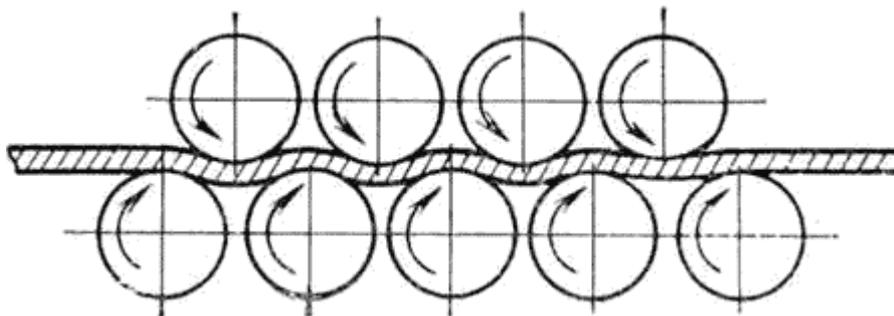


Рис. 14.22. Схема правки проката на роликоправильных машинах с параллельно расположенными роликами

Процесс правки заключается в прохождении полосы между двумя рядами последовательно расположенных роликов, установленных в шахматном порядке таким образом, что при движении полосы, ее искривление устраняется. Диаметр роликов – 25...370 мм, шаг – 30...400 мм, количество роликов: для тонких листов – 19...29, для толстых – 7...9.

Правильные машины с косо расположенными гиперболоидальными роликами предназначены для правки труб и круглых прутков (рис. 14.23).

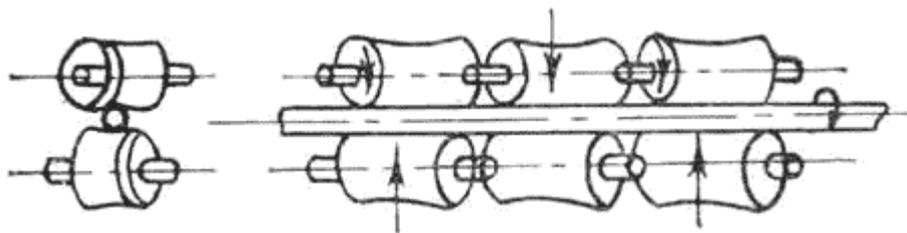


Рис. 14.23. Схема правки проката на машинах с косо расположенными гиперболоидальными роликами

Ролики выполняют в виде однополостного гиперболоида и располагают под некоторым углом друг к другу. Выправляемый металл, кроме поступательного движения, совершает вращательное, что вызывает многократные перегибы полосы роликами и обеспечивает осесимметричную правку.

Растяжные правильные машины используют для правки тонких листов (менее 0,3 мм), трудно поддающихся правке на роликоправильных машинах.

14.14.4 Продукция прокатного производства

Форма поперечного сечения называется профилем проката. Совокупность профилей различной формы и размеров - сортамент.

В зависимости от профиля прокат делится на четыре основные группы: листовой, сортовой, трубный и специальный. В зависимости от того нагретая или холодная заготовка поступает в прокатные валки различают горячий и холодный прокат.

Листовой прокат из стали и цветных металлов подразделяется на толстолистовой (4...60 мм), тонколистовой (0,2...4мм) и жечь (менее 0,2 мм). Толстолистовой прокат получают в горячем состоянии, другие виды листового проката – в холодном состоянии.

Среди сортового проката различают:

- заготовки круглого, квадратного и прямоугольного сечения дляковки и прокатки;
- простые сортовые профили (круг, квадрат, шестигранник, полоса, лента);
- фасонные сортовые профили:
 - профили общего назначения (уголок, швеллер, тавр, двутавр);
 - профили отраслевого назначения (железнодорожные рельсы, автомобильный обод);
 - профили специального назначения (профиль для рессор, напильников).

Трубный прокат получают на специальных трубопрокатных станах. Различают бесшовные горячекатаные трубы диаметром 25...550 мм и сварные диаметром 5...2500 мм.

Трубы являются продуктом вторичного передела круглой и плоской заготовки.

Общая схема процесса производства бесшовных труб предусматривает две операции: 1– получение толстостенной гильзы (прошивка); 2 – получение из гильзы готовой трубы (раскатка).

Первая операция выполняется на специальных прошивочных станах в результате поперечно-винтовой прокатки. Вторую операцию выполняют на трубопрокатных раскатных станах различных конструкций: пилигримовых, автоматических и др.

Схема прокатки труб на пилигримовом стане представлена на рис. 14.24.

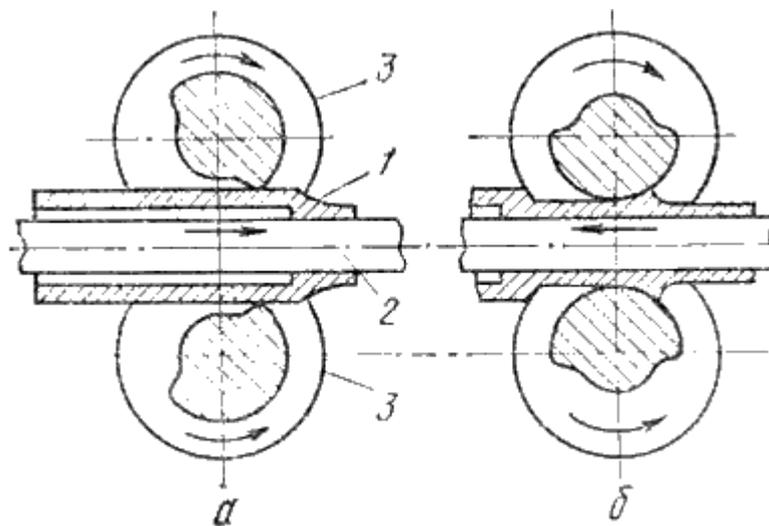


Рис.14.24. Схема прокатки труб на пилигримовом стане

В толстостенную гильзу 1 вводят оправку (дорн) 2 подающего механизма, длина которой больше длины гильзы. Гильза перемещается к валкам 3, калибр которых разделяется на две части: рабочую и холостую. Рабочая часть валка имеет рабочий и калибрующий участки. Процесс работы заключается в периодической подаче на определенную длину гильзы вместе с оправкой в зазор между валками в момент совпадения холостой части обоих валков (рис.14.24.а). Затем выполняется процесс прокатки, и гильза перемещается в направлении вращения валков, т.е. обратном ходу прокатываемой трубы (рис.14.24.б). При этом рабочий участок обжимает гильзу по диаметру и толщине стенки, а калибрующий участок обеспечивает выравнивание диаметра и толщины стенки. После выхода из рабочей части оправка с гильзой продвигаются вперед, поворачиваясь на 90° вокруг продольной оси. По окончании про-

катки валки разводят, и подающий механизм обратным ходом вытягивает оправку из трубы.

Сварные трубы изготавливают на трубосварочных агрегатах различными способами: печной сваркой, контактной электросваркой и др. из полос – штрипсов. Процесс получения трубы состоит из получения заготовки в виде свернутой полосы и сварки ее в трубу.

Особое место занимают *станы спиральной сварки*. Трубы получают завивкой полосы по спирали на цилиндрических оправках с непрерывной сваркой спирального шва автоматической сварочной головкой (рис.14.25). Формовка осуществляется путем пластического изгиба в плоскости, расположенной под углом α к продольной оси.

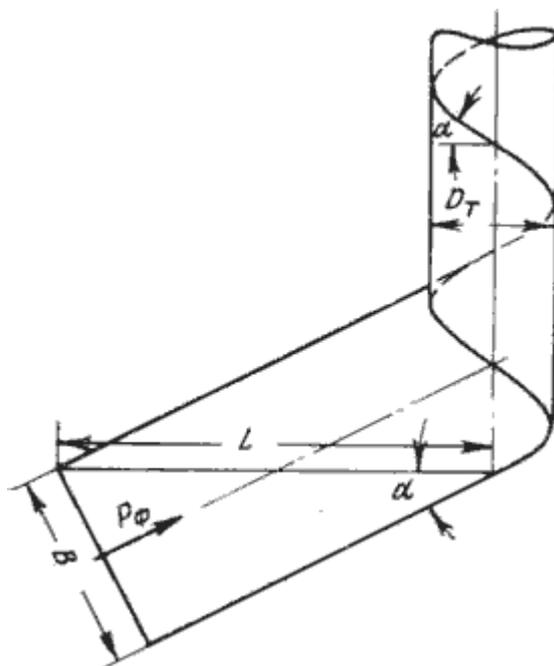


Рис.14.25. Схема формовки заготовки при спиральной сварке трубы

Преимущества способа состоят в следующем: диаметр трубы не зависит от ширины исходного полосы, так как он определяется и углом подъема спирали; спиральный шов придает трубе большую жесткость; спирально-сварные трубы имеют более точные размеры.

Специальные виды проката.

Периодический профиль – профиль, изменяющийся по определенному закону, повторяющемуся по длине. Периодические профили получают продольной, поперечной и винтовой прокаткой.

При продольной периодической прокатке получают профили с односторонним периодом, с двухсторонним совпадающим периодом, с несовпадающим верхним и нижним периодом. Окончательную форму изделию придают за один проход. Длина периода профиля определяется длиной окружности валка. При каждом обороте валков из них должен выходить отрезок полосы с целым числом периодов, поэтому наибольшая длина периода не может быть больше длины окружности валков.

Поперечная прокатка периодических профилей характеризуется тем, что заготовка и готовый профиль представляют собой тела вращения. Схема прокатки на трехвалковом стане представлена на рис.14.26.

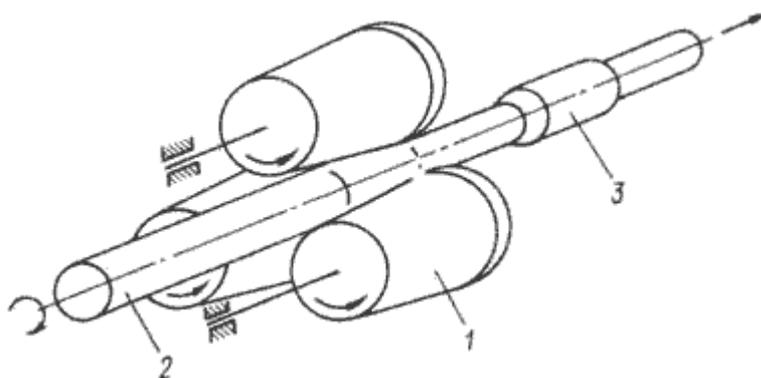


Рис. 14.26. Схема прокатки на трехвалковом стане

Прокатка осуществляется дисковыми или коническими валками, расположенными под углом 120° друг к другу. Валки могут быть установлены с некоторым перекосом. Способ заключается в том, что три приводных вала 1 вращают заготовку 2, которая принудительно перемещается в осевом направлении со значительным натяжением. Гидравлическое устройство перемещает зажимной патрон 3 вместе с металлом в направлении рабочего хода. Во время прокатки валки сближаются и разводятся на требуемый размер гидравлической следящей системой в соответствии с заданным профилем копировальной линейки или системой ЧПУ по заранее задан-

ной программе. Переход от одного профиля к другому осуществляется без замены валков, только за счет смены копира или программы.

Станы винтовой прокатки широко применяют для прокатки стальных шаров диаметром 25...125 мм. Схема прокатки представлена на рис.14.27.

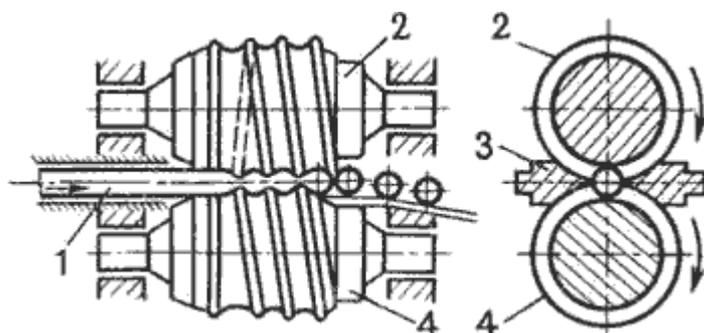


Рис.14.27. Схема прокатки шаров

Валки 2 и 4 вращаются в одном направлении, в результате заготовка 1 получает вращательное движение. Для осевого перемещения оси валков располагают под углом к оси вращения. От вылета из валков заготовка предохраняется центрирующими упорами 3. В валках нарезают винтовые калибры. По характеру деформации калибр разделяется на формующий участок, где осуществляется захват заготовки и ее постепенное обжатие в шар, и отделочный участок, где придаются точные размеры шару и происходит его отделение от заготовки. Диаметр валков в 5...6 раз превышает диаметр прокатываемых шаров, и составляет 190...700 мм. Производительность стана определяется числом оборотов валков, так как за один оборот существуют станы для прокатки ребристых труб, для накатки резьб и т.д.

14.15 Ковка

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением прессы. Ковкой получают разнообразные поковки массой до 300 т.

Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента.

При свободной ковке течение металла ограничено частично, трением на контактной поверхности деформируемый металл – поверхность инструмента: бойков плоских или фигурных, подкладных штампов.

Первичной заготовкой для поковок являются:

- слитки, для изготовления массивных крупногабаритных поковок;
- прокат сортовой горячекатаный простого профиля (круг, квадрат).

Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии.

Холодной ковке поддаются драгоценные металлы – золото, серебро; а также медь. Технологический процесс холоднойковки состоит из двух чередующихся операций: деформации металла и рекристаллизационного отжига. В современных условиях холодная ковка встречается редко, в основном в ювелирном производстве.

Горячая ковка применяется для изготовления различных изделий, а также инструментов: чеканов, зубил, молотков и т.п. Материалом для горячейковки являются малоуглеродистые стали, углеродистые инструментальные и некоторые легированные стали. Каждая марка стали имеет определенный интервал температур начала и концаковки, зависящий от состава и структуры обрабатываемого металла.

14.15. 1 Операцииковки

Различаютковку предварительную и окончательную. Предварительная (или черновая) ковка представляет собой кузнечную операцию обработки слитка для подготовки его к дальнейшей деформации прокаткой, прессованием и т.п. Окончательная (чистовая ковка) охватывает все методы кузнечной обработки, с помощью которых изделие придают окончательную форму.

Предварительные операции

Биллетирование – превращение слитка в болванку или заготовку: включает сбивку ребер и устранение конусности.

Обжатие при билетировании составляет 5...20 %. Проковка слитка предназначена для обжатия металла в углах слитка с целью предварительного деформирования литой структуры – дендритов, которые имеют стыки в этих углах. Биллетирование способствует заварке воздушных пузырей и других подкорковых дефектов ли-

той структуры, созданию пластичного поверхностного слоя металла, благоприятно влияющего на дальнейшую деформацию. После биллетирования производят обрубку донной части слитка.

Рубка – применяется для разделения заготовки на части или для отделения от основной заготовки негодных частей.

Рубка производится в холодном и горячем состоянии. В холодном состоянии рубят тонкие и узкие полосы и прутки сечением 15...20 мм. Более толстые заготовки нагревают.

Схема рубки основана на действии деформирующей силы на малую площадь соприкосновения инструмента с заготовкой, а реакция этой силы со стороны нижней части распределена по большой поверхности заготовки, и пластической деформации здесь не возникает.

В зависимости от габаритов и формы заготовок используют способы рубки:

- с одной стороны – для тонких заготовок;
- с двух сторон, сначала осуществляется предварительная надрубка заготовки на 0,5...0,75 высоты, после кантовки на 180° проводится окончательная рубка;
- с трех сторон – для круглых и крупных заготовок, осуществляются две надрубки на глубину 0,4 диаметра заготовки с кантовкой на 120° , после второй кантовки на 120° проводят окончательную рубку;
- с четырех сторон – для крупных заготовок, после надрубки с четырех сторон в центре остается перемычка прямоугольного сечения, по месту которой производят разделение заготовки на части.

Основные операции

Осадка – операция обработки давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок (рис.14.28.а).

Осадку применяют для получения формы поковки, с целью уменьшения глубины прошивки, для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали (при изготовлении шестерней обеспечивается повышенная прочность зубьев в результате радиального расположения волокон), как контрольную операцию (из-за

значительной деформации по периметру на боковой поверхности вскрываются дефекты).

При выполнении осадки требуется, чтобы инструмент перекрывал заготовку. Вследствие трения боковая поверхность осаживаемой заготовки приобретает бочкообразную форму, это характеризует неравномерность деформации. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям.

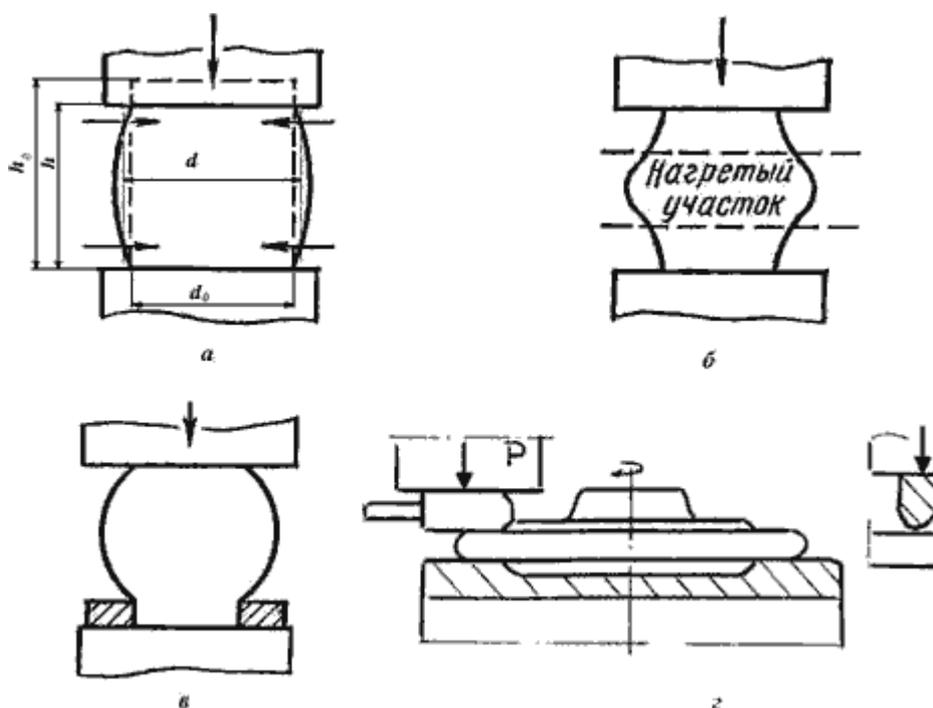


Рис.14.28. Схемы осадки и ее разновидностей

Осадке подвергают заготовки, для которых высота не превышает 2,5...3 диаметра. В противном случае возможен или продольный изгиб заготовки, или образование седлообразности.

Разновидностями осадки являются высадка и осадка разгонкой торца.

Высадка – кузнечная операция, заключающаяся в деформировании части заготовки (концевой части или середины).

Для проведения операции используют местный нагрев, например, в середине заготовки (рис.14.28.б), или ограничивают деформацию на части заготовки кольцевым инструментом (рис.14.28.в).

Осадка разгонкой торца позволяет уменьшить высоту и увеличить площадь ранее осажженной заготовки (рис.14.28.г). Локализация деформации позволяет уменьшить усилие осадки.

Протяжка (вытяжка) – кузнечная операция, в результате которой происходит увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения.

Протяжка не только изменяет форму заготовок, но и улучшает качество металла. Операция заключается в нанесении последовательных ударов и перемещении заготовки, при этом между бойками во время удара находится только часть заготовки. После каждого обжатия заготовка продвигается на величину, меньшую, чем длина бойка (рис.23.а).

Протягивать можно плоскими (рис.14.29.а) и вырезными (рис.14.29.б) бойками.

Протяжка на плоских бойках может выполняться двумя способами.

Первый способ. Протяжка выполняется по всей длине слитка или заготовки вначале с одной стороны, а после кантовки на 90° – с другой стороны и т.д.

Большие по длине поковки могут изгибаться в бойках концами вниз. Чтобы исправить изгиб, поковки кантуют сначала на 180° , а потом на 90° .

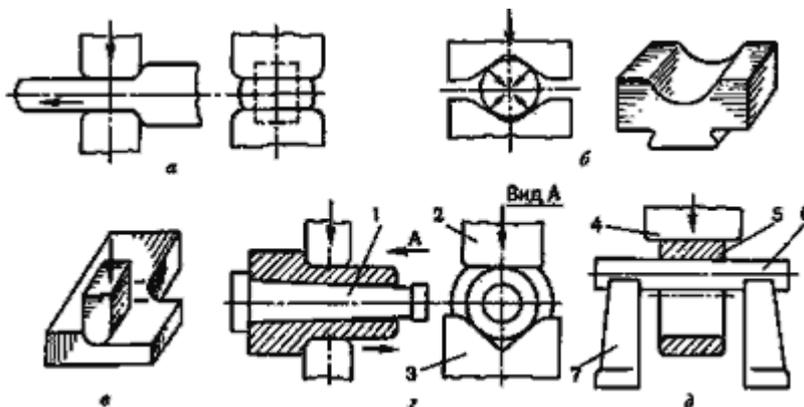


Рис.14.29. Схемы протяжки и ее разновидностей

Второй способ. Поочередная протяжка на плоских бойках (по винтовой линии) – после каждого обжатия следует кантовка на 90° в одну и ту же сторону, после каждых четырех обжатий следует подача. Способ более трудоемкий, применяется при ковке твердых инструментальных сталей.

При протяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть (особенно при проковке круглого сечения) значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин.

Протяжка в вырезных бойках или в комбинации плоских бойков с вырезными используется при ковке легированных сталей с пониженной пластичностью. Благодаря боковому давлению, создаваемому жесткими стенками инструмента повышаются сжимающие напряжения, увеличивается пластичность металла. Получают поковки более точные по форме и размерам. Возрастает скорость протяжки.

При протяжке с круга на круг в вырезных бойках, силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности возникновения осевых трещин.

Разновидностями протяжки являются разгонка, протяжка с оправкой, раскатка на оправке.

Разгонка (расплющивание) – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 14.29.в).

Операция выполняется за счет перемещения инструмента в направлении, перпендикулярном оси заготовки.

Протяжка на оправке – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки и уменьшения наружного диаметра (рис.14.29.г).

Протяжку выполняют в вырезных бойках (или нижнем вырезном 3 и верхнем плоском 2) на слегка конической оправке 1. Протягивают в одном направлении – к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки. Оправку предварительно нагревают до температуры 160...200 °С.

Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис.2.д).

Заготовка 5 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 6, устанавливаемую концами на подставках 7, и деформируется между оправкой и

узким длинным бойком 4. После каждого обжатия заготовку поворачивают относительно оправки.

Протяжку с оправкой и раскатку на оправке часто применяют совместно. Вначале раскаткой уничтожают бочкообразность предварительно осаженной и прошивной заготовки и доводят ее внутренний диаметр до требуемых размеров. Затем протяжкой с оправкой уменьшают толщину стенок и увеличивают до заданных размеров длину заготовки.

Прошивка – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла (рис.14.30).

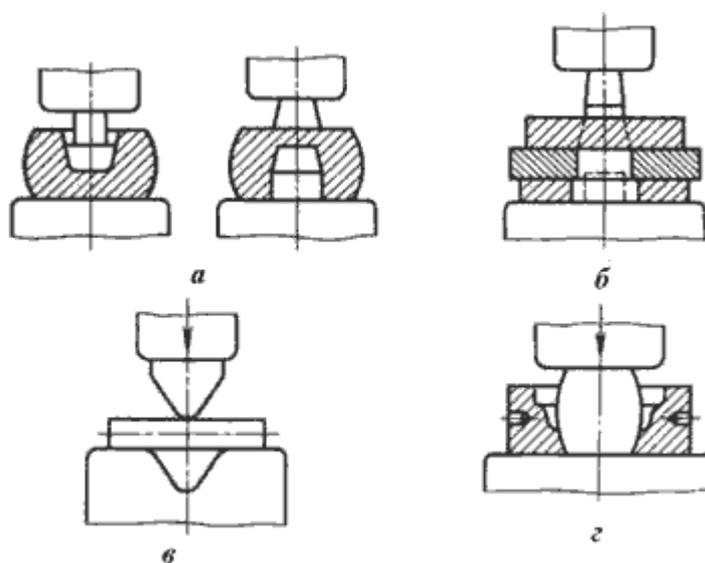


Рис.14.30. Схемы прошивки (а,б), гибки (в), штамповки в подкладных штампах (г)

Инструментом для прошивки служат прошивни сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра (400...900 мм).

При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца (рис.14.30.б). Более толстые поковки прошивают с двух сторон без подкладного кольца (рис.14.30.а). Диаметр прошивня выбирают не более половины наружного диаметра заготовки, при большем диаметре прошивня заготовка значительно искажается. Прошивка сопровождается отходом (выдрой).

Гибка – операция придания заготовке или ее части изогнутой формы по заданному контуру (рис.14.30. в).

Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в месте изгиба (утяжка). Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Для избежания этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления. Радиус в месте изгиба не должен быть меньше полутора толщин заготовки.

Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны.

Скручивание – операция, заключающаяся в повороте одной части поковки вокруг общей оси по отношению к другой ее части под определенным углом.

Различают два случая:

- *поворот на угол до 180° – для пространственной ориентации отдельных частей;*
- *многократное скручивание на 360° – для придания витого характера (используется как элемент украшения композиций решеток, перил, лестниц и т.д.).*

К скручиванию относится и свивание нескольких тонких прутков (проволок) в шнуры.

При изготовлении небольшой партии поковок с относительно сложной конфигурацией применяют штамповку в подкладных штампах (рис.14.30.г). Подкладной штамп может состоять из одной или двух частей, в которых имеется полость с конфигурацией поковки или ее отдельных участков.

Технологический процессковки включает операции: резку исходной заготовки в требуемый размер, нагрев материала до требуемой температуры, формообразующую операцию, очистку заготовок от окалины, контроль поковки.

Точность и производительность резки определяется способом резки.

На практике обычно применяют нагрев в пламенной печи, как способ, не требующий дополнительных затрат.

Основная операция включает переходы: установку – снятие заготовки, формоизменяющую операцию (осадку, вытяжку, прошивку и т.д.).

Очистку поковок от окалины осуществляют в галтовочных барабанах, обдувкой стальной дробью, травлением в водных растворах серной или соляной кислоты.

При контроле поковок выявляют внешние и внутренние дефекты, проверяют соответствие геометрическим и функциональным техническим условиям.

14.15.2 Оборудование дляковки

В качестве оборудования применяются ковочные молоты и ковочные прессы.

Оборудование выбирают в зависимости от режимаковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования определяют по приближенным формулам или справочным таблицам.

Молоты – машины динамического ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной падающими частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Часть энергии теряется на упругие деформации инструмента и колебания шабота – детали, на которую устанавливают нижний боек. Чем больше масса шабота, тем выше КПД. Обычно масса шабота в 15 раз превышает массу падающих частей, что обеспечивает КПД на уровне 0,8...0,9.

Для получения поковок массой до 20 кг применяют ковочные пневматические молоты, работающие на сжатом воздухе. Сила удара определяется силой давления сжатого воздуха, и может регулироваться в широких пределах. Масса падающих частей составляет 50...1000 кг. Основные параметры молотов регламентируются ГОСТами.

Для получения поковок массой до 350 кг применяют ковочные паровоздушные молоты. Они приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7...0,9 МПа. Масса падающих частей составляет 1000...8000 кг. Параметры регламентируются ГОСТами.

Различают молоты простого действия, когда пар или воздух только поднимают поршень, и двойного действия, когда энергоноситель создает дополнительное деформирующее усилие.

Прессы ковочные гидравлические – машины статического действия. Продолжительность деформации составляет до десятков секунд. Металл деформируется приложением силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Выбираются прессы по номинальному усилию, которое составляет 5...100 МН. Применяют в основном для получения крупных заготовок из слитков.

14.15. 3 Конструирование кованных заготовок

Чертеж поковки составляют по рабочему чертежу детали установлением припусков на механическую обработку, допусков на ковку и напусков на поковку. Значения этих величин устанавливаются ГОСТами: на поковки, получаемые на молотах – ГОСТ 7829; на поковки, получаемые на прессах – ГОСТ 7869.

При разработке чертежа поковки следует учитывать специфику техникиковки и избегать нехарактерных для нее форм и конфигураций. Поковки должны быть простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис.14.31, 1...4).

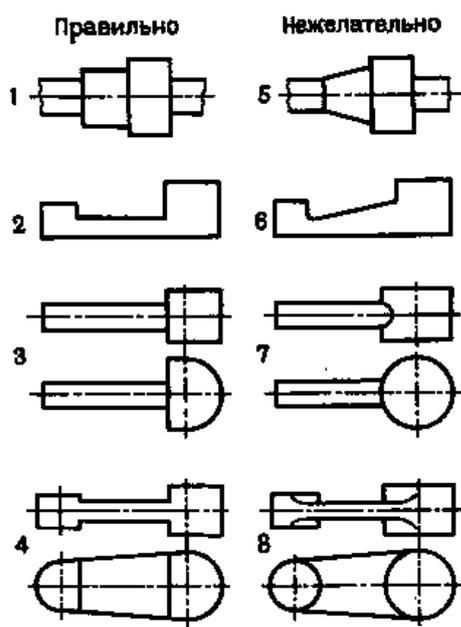


Рис.14.31. Правильные и нежелательные формы поковок

В поковках следует избегать конических (рис.14.31, 5) и клиновых (рис.14.31, 6) поверхностей, взаимных пересечений цилиндрических поверхностей (рис. 14.31, 7), а также пересечений цилиндрических поверхностей с призматическими участками деталей (рис. 14.31, 8). Предпочтительнее назначать односторонние выступы, взамен двухсторонних, особенно для мелких деталей. Следует избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т.п., так как эти элементы в большинстве случаев получить ковкой невозможно. Ребра жесткости в поковках недопустимы. Детали с резкой разницей размеров поперечных сечений или сложной формы следует заменять сочетанием более простых кованных деталей. Детали сложной формы целесообразно выполнять сварными из нескольких поволоков или из кованных и литых элементов.

14.16. Прессование

Прессование – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля.

Это современный способ получения различных профильных заготовок: прутков диаметром 3...250 мм, труб диаметром 20...400 мм с толщиной стенки 1,5...15 мм, профилей сложного сечения сплошных и полых с площадью поперечного сечения до 500 см².

В качестве исходной заготовки используют слитки или прокат из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных металлов и сплавов на их основе (медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, цирконий, уран, торий).

Технологический процесс прессования включает операции:

- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля);
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины;
- укладка заготовки в контейнер ;
- непосредственно процесс прессования;

- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10 000 т.

Применяются два метода прессования: *прямой* и *обратный* (рис. 14.32)

При прямом прессовании движение пуансона пресса и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет 18...20 % от массы заготовки (в некоторых случаях – 30...40 %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая.

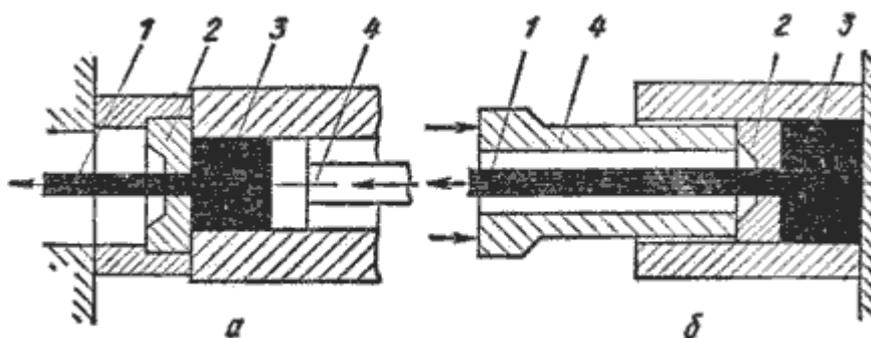


Рис. 14.32. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом

1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – пуансон

При обратном прессовании заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5...6 %. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема более сложная

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из отверстия матрицы.

Коэффициент вытяжки λ определяют как отношение площади сечения контейнера F_K к площади сечения всех отверстий матрицы F_M .

Степень деформации:

$$\varepsilon = \frac{F_K - F_M}{F_K} \times 100\%$$

Скорость истечения металла из очка матрицы пропорциональна коэффициенту вытяжки и определяется по формуле:

$$V_M = \frac{F_K \times V_H}{F_M} = \lambda \times V_H$$

где: V_H – скорость прессования (скорость движения пуансона).

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и имеет очень высокую пластичность.

К основным преимуществам процесса относятся:

- возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно;
- возможность получения практически любого профиля поперечного сечения;
- получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы;
- высокая производительность, до 2...3 м/мин.

Недостатки процесса :

- повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка;
- появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия;
- высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента;
- высокая энергоемкость.

14.16. 1. Формообразование заготовок из порошковых материалов

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами.

При *холодном прессовании* в пресс-форму (рис.14.33.а) засыпают определенное количество подготовленного порошка $З$ и прессуют пуансоном $Л$.

В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки достигается благодаря силам механического сцепления частиц порошка электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру, меньшим единицы, и заготовки втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки, меньшим трех.

Двустороннее прессование (рис.14.33.б) применяют для формообразования заготовок сложной формы. После заполнения пресс-формы порошком к верхнему пуансону с помощью гидропресса прикладывают давление для предварительного прессования. Затем гидропривод выключают и удаляют подкладку 4. В дальнейшем в процессе прессования участвуют оба пуансона. В этом случае требуемое давление для получения равномерной плотности снижается на 30...40 %. Использование вибрационного прессования позволяет в десятки раз уменьшить требуемое давление.

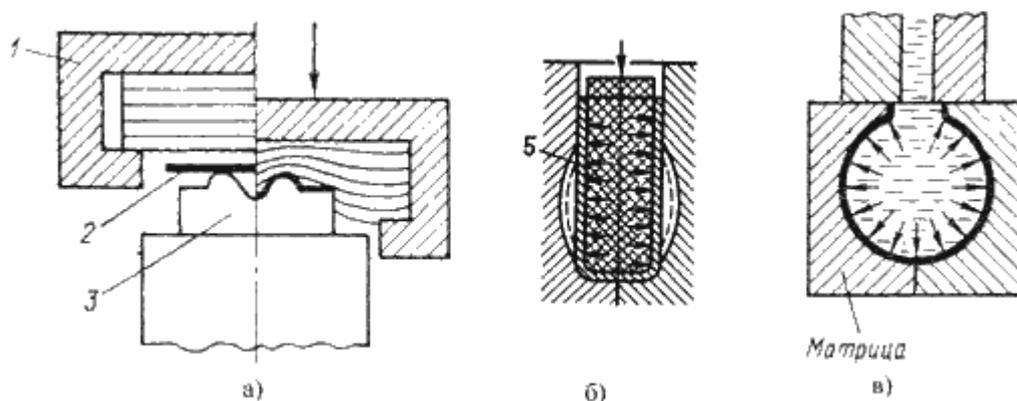


Рис.14.33. Схема холодного прессования: а – одностороннего; б – двусторонне-

ГО

В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругому и пластическому деформированию. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры увеличиваются в результате упругого последействия.

При *горячем прессовании* технологически совмещаются прессование и спекание заготовки. Температура горячего прессования составляет обычно 0,6...0,8 температуры плавления порошка. Благодаря нагреву уплотнение протекает гораздо интенсивнее, чем при холодном прессовании. Это позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячим прессованием получают материалы, характеризующиеся высокой прочностью и однородностью структуры. Этот способ применяют для таких плохо прессуемых композиций, как тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, бориды, силициды).

Изостатическое (всестороннее) формование применяют для получения крупногабаритных заготовок с массой до 500 кг и более. Отсутствие потерь на внешнее трение и равномерность давления со всех сторон дают возможность получать необходимую плотность заготовок при давлениях, значительно меньших, чем при прессовании в закрытых пресс-формах.

При гидростатическом формовании (рис.14.34) на порошок 3, заключенный в эластичную оболочку 2, передается давление с помощью жидкости, находящейся в сосуде высокого давления 1. В качестве рабочей жидкости используют масло, глицерин, воду и т.д.

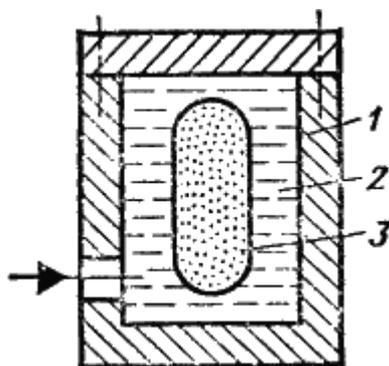


Рис.14.34. Схема гидростатического формования

Прокатка – наиболее производительный и перспективный способ переработки порошковых материалов. Характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность прокатки. Схема прокатки представлена на рис.14.35.

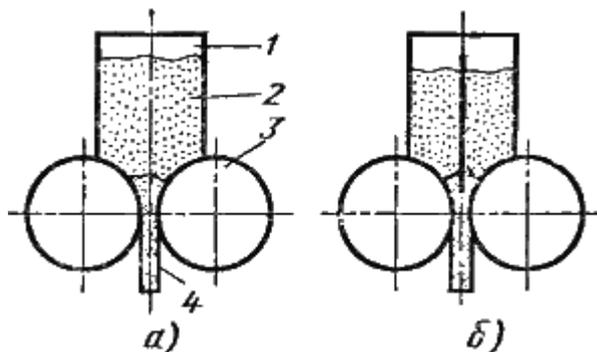


Рис.14.35. Схема прокатки порошков

Порошок непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между вальцами. При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту или полосу 4 определенной толщины. Прокатка может быть совмещена со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок. В этом случае лента проходит через печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров. Применяя бункеры с перегородкой (рис. 4.б) изготавливают ленты из разных материалов (двухслойные). Применение валков определенной формы позволяет получать валки различного профиля, в том числе и проволоку.

14.17. Волочение

Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Схема волочения представлена на рис.14.36.

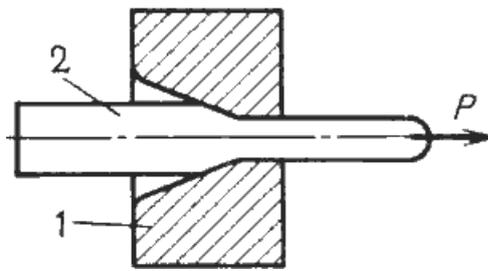


Рис.14.36. Схема волочения

Волочением получают проволоку диаметром 0,002...4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в 1,5...2 раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный прутки, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Волока работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из твердых сплавов. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза. Конструкция инструмента представлена на рис. 14.37.

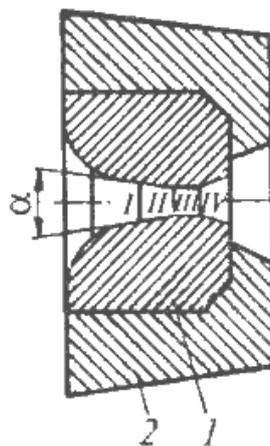


Рис.14.37. Общий вид волоки

Волока 1 закрепляется в обойме 2. Волоки имеют сложную конфигурацию, ее составными частями являются: заборная часть I, включающая входной конус и смазочную часть; деформирующая часть II с углом в вершине α ($6 \dots 18^\circ$ – для прутков, $10 \dots 24^\circ$ – для труб); цилиндрический калибрующий поясok III длиной $0,4 \dots 1$ мм; выходной конус IV.

Технологический процесс волочения включает операции:

- предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой, после удаления окалины на поверхность наносят под-смазочный слой путем омеднения, фосфотирования, известкования, к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается;
- волочение, заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий;
- отжиг для устранения наклепа: после $70 \dots 85$ % обжатия для стали и 99 % обжатия для цветных металлов ;
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.)

Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волочильных станах. В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может достигать до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/с.

Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации.

Коэффициент вытяжки определяется отношением конечной и начальной длины или начальной и конечной площади поперечного сечения:

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}$$

Степень деформации определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(F_0 - F_1)}{F_0} \times 100\%$$

Обычно за один проход коэффициент вытяжки λ не превышает 1,3, а степень деформации ε – 30 %. При необходимости получить большую величину деформации производят многократное волочение.

14.18 Холодная штамповка

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов.

Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую.

14.18.1 Объемная холодная штамповка

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 14.38).

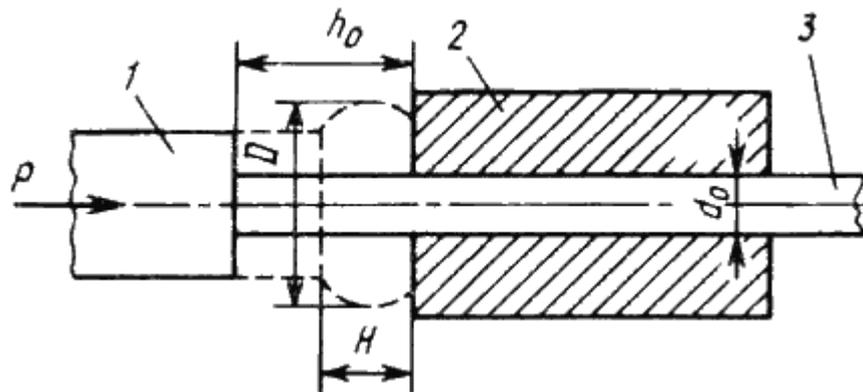


Рис. 14.38. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холодноотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д.

Длина высаживаемой части (h_0) рассчитывается с учетом объема требуемого утолщения (V) по формуле: $h_0 = \frac{4 \times V}{\pi \times d_0^2}$.

Расчет числа переходов производится в основном по соотношению длины высаживаемой части (h_0) и диаметра заготовки (d_0), которое характеризует устойчивость к продольному изгибу. При $\frac{h_0}{d_0} < 2.3$ используют один переход, при $\frac{h_0}{d_0} < 5$ – два перехода, при $\frac{h_0}{d_0} < 8$ – три перехода. При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг.

Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 14.39: за три перехода (рис. 14.39.а); за пять переходов (рис. 14.39.б).

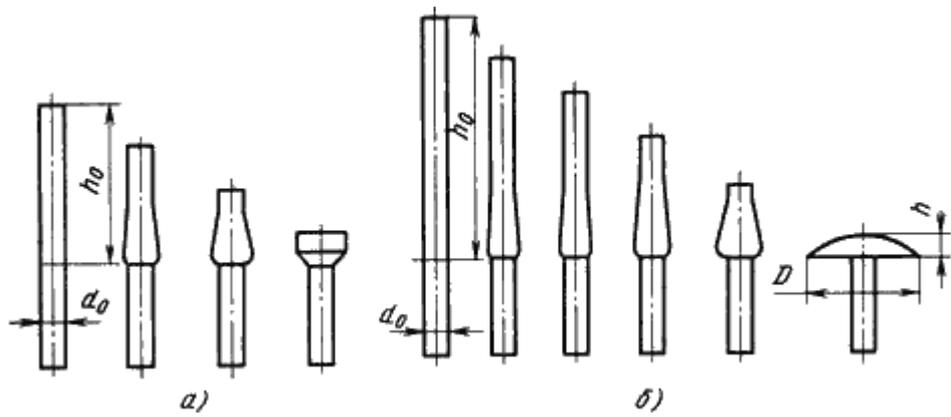


Рис.14.39. Последовательность переходов изготовления детали

Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы.

Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рис. 14.40).

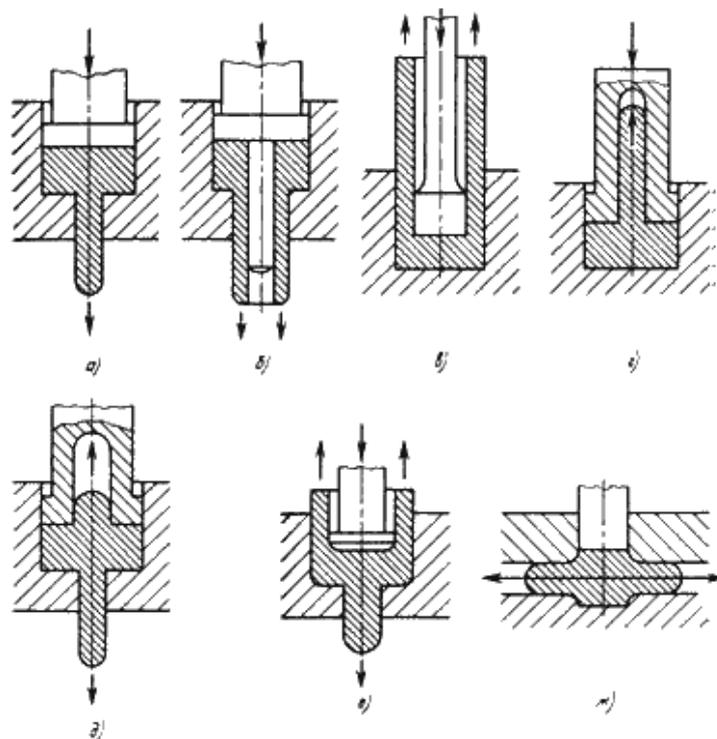


Рис. 14.40. Схемы выдавливания:

а,б – прямого; в, г – обратного; д, е – комбинированного; ж - бокового

При *прямом* выдавливании металл течет из матрицы 2 в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона 1 (рис.14.40.а, 14.40.б). Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При *обратном* выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном (рис. 14.40.в) или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 14.40.г).

При *боковом* выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис.14.40.ж). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отрезка.

При *комбинированном* выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис.14.40.д, 14.40.е). Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубает из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки.

Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

Объемная формовка – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа.

Схемы объемной формовки представлены на рис.14.41.

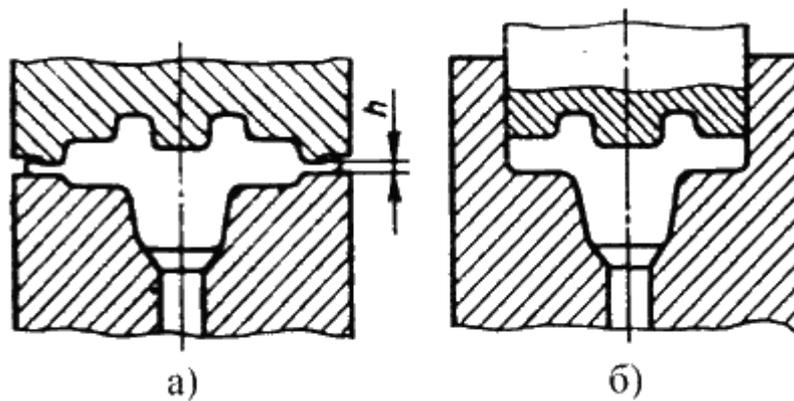


Рис.14.41. Схемы объемной формовки: а – в открытых штампах; б – в закрытых штампах

Она производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис.14.41.а), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис.14.41.б). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за больших сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или прутки, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок.

В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и многопозиционные автоматы.

Чеканка – образование рельефных изображений на деформируемом материале.

Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах.

При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95 %. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

14.18.2 Листовая штамповка

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000...40 000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают *разделительные* операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и *формообразующие* операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

14.18.3 Операции листовой штамповки

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

Обычно ее применяют как заготовительную операцию для разделения листов на полосы и заготовки нужных размеров.

Основные типы ножниц представлены на рис.14.42.

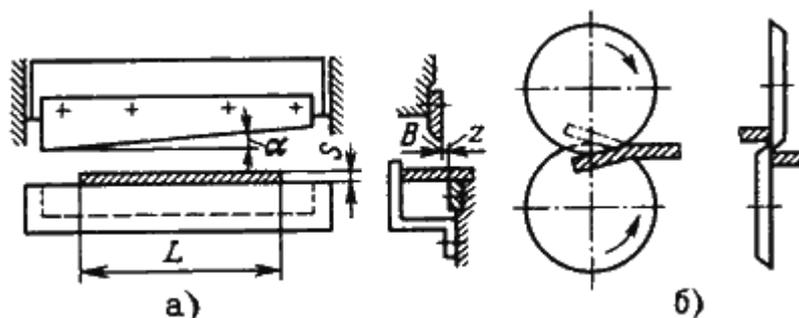


Рис.14.42. Схемы действия ножниц: а – гильотинных; б – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис.14.42.а). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом $1...5^{\circ}$ для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы B . Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей.

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис.14.42.б). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под дей-

ствием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в 30...70 раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и пробивка – отделение металла по замкнутому контуру в штампе.

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов выруб-ки и пробивки представлена на рис. 14.43.

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей z . Зазор z назначают в зависимости от толщины (S) и механических свойств заготовки, он приблизительно составляет $(0.05...0.1)S$. При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их.

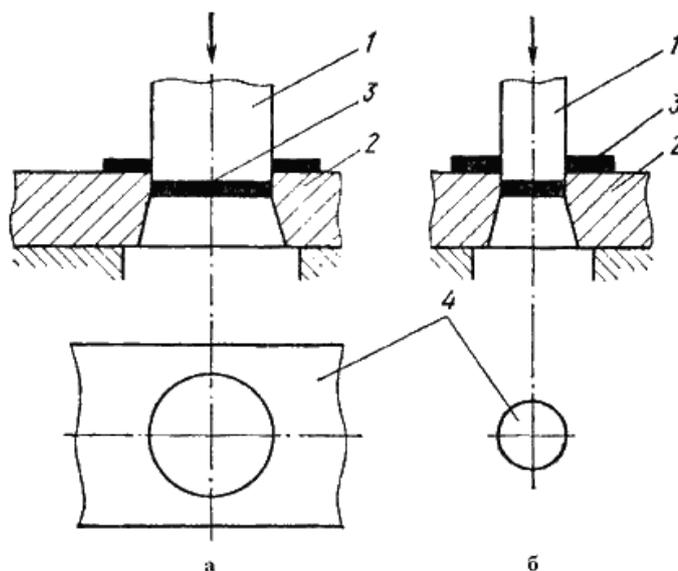


Рис.14.43. Схема процессов выруб-ки (а) и пробивки (б)

1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – изделие, 4 – отход

Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубает несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубает без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскромом. Часть заготовки, оставшаяся после вырубки – высечкой.

Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскром следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 14.45).

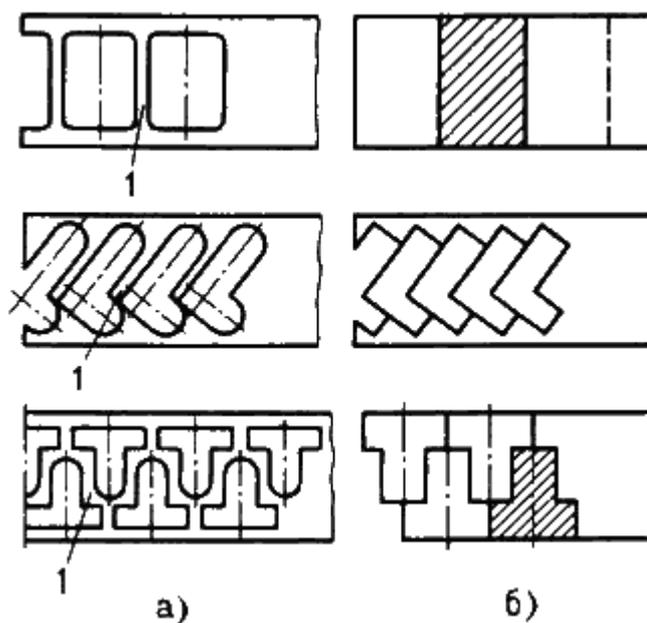


Рис.14.45. Примеры раскром материала с перемычками (а) и без перемычек (б)

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскром, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

14.18.4 Формообразующие операции листовой штамповки

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму.

Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка. Схемы формообразующих операций представлены на рис. 14.46.

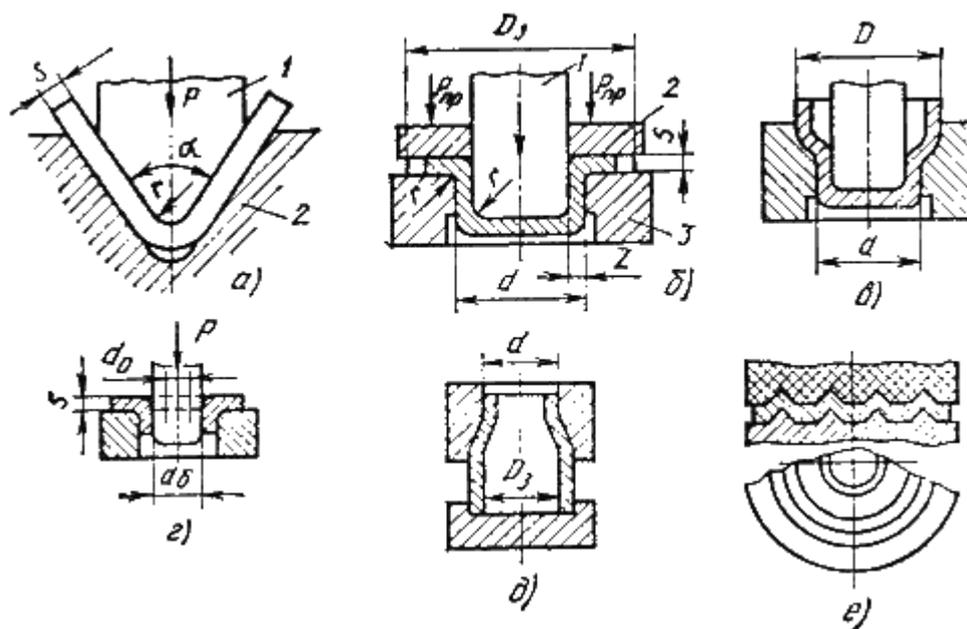


Рис. 14.46. Формообразующие операции листовой штамповки

Гибка – образование угла между частями заготовки или придание заготовке криволинейной формы.

При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис.14.46.а): наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние – сжимаются. Деформация растяжения наружных слоев и сжатия внутренних увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона, при этом возрастает вероятность образования трещин. Поэтому минимальный радиус пуансона ограничивается величиной в пределах 0.1...2,0 от толщины заготовки, в зависимости от механических свойств материала.

При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые – растягиваются, что приводит к изменению угла гибки α , т.е. к пружинению детали.

Это следует учитывать или уменьшением угла инструмента на величину пружинения, или применением в конце рабочего хода дополнительного усилия.

Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах.

Вытяжка – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рис.14.46.б).

Вырубленную заготовку диаметром D_3 и толщиной S укладывают на плоскость матрицы 3. Пуансон 1 надавливает на заготовку и она, смещаясь в отверстие матрицы, образует стенки вытянутой детали диаметром d .

Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $k_B = \frac{D_3}{d}$, который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 2,1.

При $D_3 - d > (18...20)S$, возможны потеря устойчивости фланца и образование складок при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице с определенным усилием $P_{пр}$.

Высокие детали малого диаметра получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра D полуфабриката и увеличением его высоты (рис.14.46.в). При последующих переходах для предотвращения разрушения металла принимают

$$k_B = \frac{D}{d} = 1.2...1.4$$

Промежуточный отжиг для устранения наклепа позволяет увеличить k_B до 1,4...1,6.

Опасность разрушения заготовок устраняют применением смазочных материалов для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента.

При вытяжке зазор между матрицей и пуансоном составляет $(1...1.3)S$.

Отбортовка – получение борта диаметром d_6 путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием d_0 в матрицу (рис.14.46.г).

Формоизменение оценивают коэффициентом отбортовки

$$k_{II} = \frac{d_6}{d_0} < 1.8,$$

который зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины $\frac{S}{d_0}$. Большое увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие резанием, создающим меньшее упрочнение у края отверстия.

Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой массе.

Выделяется отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовки.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки.

Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 8.д). За один переход можно получить $d = (0.7...0.8)d_3$. Для большего формоизменения выполняют несколько последовательных операций обжима.

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки коническим пуансоном; это операция противоположная обжиму.

Рельефная формовка – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис.14.46.е).

Формовкой получают конструкционные выступы и впадины, ребра жесткости, лабиринтные уплотнения.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа, и совмещенного действия, в которых опера-

ции выполняются на одной позиции, например, одновременно вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.д.

В настоящее время применяют специальные конструкции штампов, в которых металлические пуансоны или матрицы отсутствуют, и давление на материал осуществляется при помощи резины, жидкости или сжатого воздуха (рис.9). При этом резина или жидкость легко удаляются из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной.

При изготовлении небольших по глубине изделий пуансон заменяет резиновая подушка (рис.14.47.а). С помощью резины можно осуществлять все операции: вырубку, гибку, вытяжку, формовку. Матрица 3 крепится к столу, а резиновая подушка, помещенная в стальную обойму 1, крепится к ходовой части пресса (толщина заготовки 2 – до 1,5 мм).

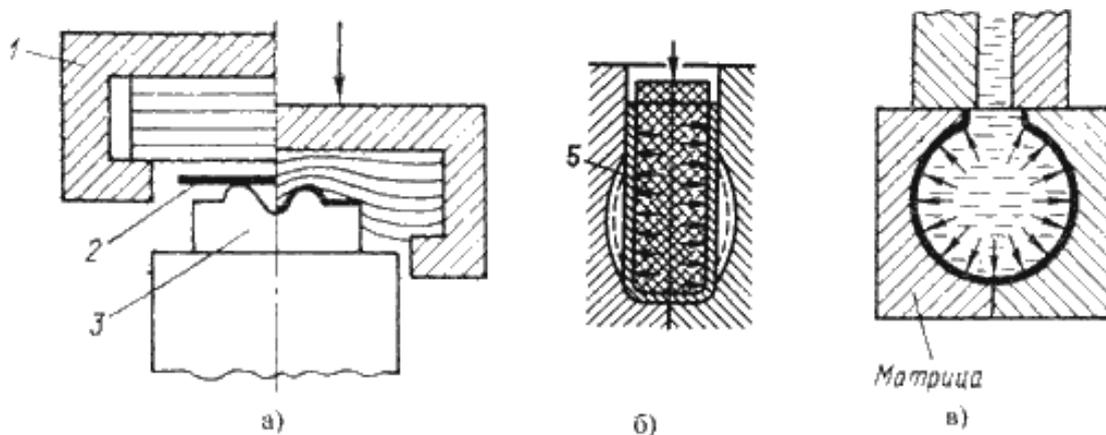


Рис. 14.47. Схемы листовой штамповки при помощи эластичной среды и жидкости

Резиновые пуансоны цилиндрической формы применяются при вытяжке изделий сложной формы, при необходимости увеличения диаметральных размеров средней части цилиндрических полуфабрикатов (рис.14.47.б).

При гидравлической вытяжке (рис.14.47.в) полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную оболочку.

14.18.5 Высокоскоростные методы штамповки

Особенностью таких методов является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Кратковременное приложение больших усилий разгоняет заготовку до скоростей 150 м/с. Последующее ее деформирование происходит за счет накопленной в период разгона кинетической энергии. Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются: штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная штамповка (рис.14.48).

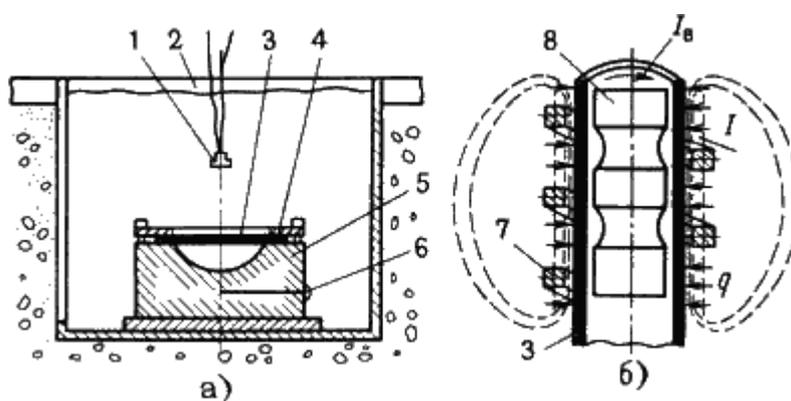


Рис. 14.48. а- электрогидравлическая, б – электромагнитная штамповка

Штамповка взрывом осуществляется в бассейнах, наполненных водой (рис.10.а). Заготовку 3, зажатую между матрицей 5 и прижимом 4 опускают в бассейн с водой 2. Полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумной линии б. Заряд с детонатором 1 подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле. При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста.

Электрогидравлическую штамповку также осуществляют в бассейне с водой. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает при кратковременном электрическом разряде в жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате

разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее сильное воздействие и деформирует ее по матрице.

При *электромагнитной штамповке* (рис.14.48. б) электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Взаимодействие магнитных полей вихревых токов $I_{в}$ с магнитным полем индуктора создает механические силы F , деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединения деталей.

14.19 Горячая объемная штамповка

Объемной штамповкой называют процесс получения поковок, при котором формообразующую полость штампа, называемую ручьем, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией.

Применение объемной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа значительно повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокие точность формы изделия и качество поверхности. Штамповкой можно получать очень сложные по форме изделия, которые невозможно получить приемами свободнойковки.

Объемную штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила горячая объемная штамповка (ГОШ), которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения.

Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, пресованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

14.19.1 Формообразование при горячей объемной штамповке

Основная операция ГОШ может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – *ручьем (гравюрой)*. Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные. Схема технологического процесса получения сложной заготовки в нескольких ручьях представлена на рис. 14.49.

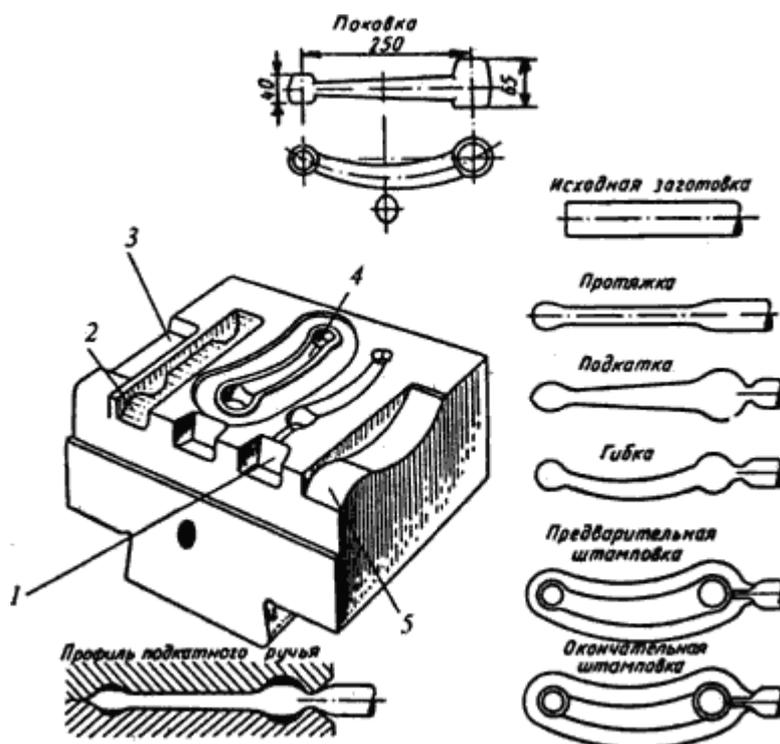


Рис. 14.49. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях
1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей; 4 – чистовой ручей, 5 – гибочный ручей

Заготовительные ручки предназначены для фасонирования в штампах.

Фасонирование – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

К заготовительным ручьям относятся протяжной, подкатной, гибочный и пережимной, а также площадка для осадки.

Протяжной ручей предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения, выполняемого воздействием частых слабых ударов с кантованием заготовки.

Подкатной ручей служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, то есть для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. Переход осуществляется за несколько ударов с кантованием.

Пережимной ручей предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения. Выполняется за 1...3 удара.

Гибочный ручей применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось. Служит для придания заготовке формы поковки в плоскости разъема. Из гибочного ручья в следующий заготовку передают с поворотом на 90° .

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этого на плоскости штампа предусматривают *площадку для осадки*.

Штамповочные ручьи предназначены для получения готовой поковки. К штамповочным ручьям относятся черновой (предварительный) и чистовой (окончательный).

Черновой ручей предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

Чистовой ручей служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», то есть больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

Технологический процесс ГОШ отличается значительным разнообразием и определяется выбором самого изделия и применяемым оборудованием.

Технологический процесс зависит от формы поковки. По форме в плане поковки делятся на две группы: диски и поковки удлиненной формы.

К первой группе относятся круглые или квадратные поковки, имеющие сравнительно небольшую длину: шестерни, диски, фланцы, ступицы, крышки и др. Штамповка таких поволок производится осадкой в торец исходной заготовки с применением только штамповочных переходов.

Ко второй группе относятся поковки удлиненной формы: валы, рычаги, шатуны и др. Штамповка таких поволок производится протяжкой исходной заготовки (плашмя). Перед окончательной штамповкой таких поволок в штамповочных ручьях требуется фасонирование исходной заготовки в заготовительных ручьях штампа, свободной ковкой или на ковочных вальцах.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 14.50).

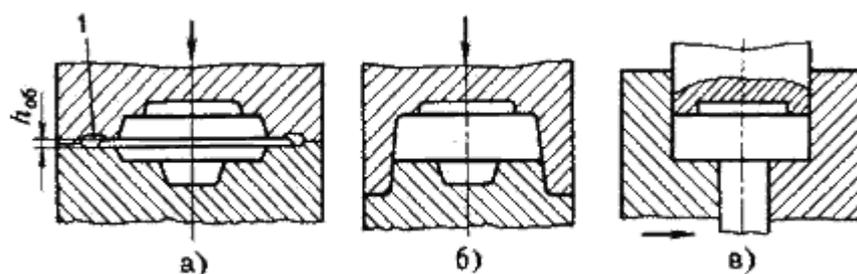


Рис.14.50. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах: 1 – облойная канавка

Штамповка в открытых штампах (рис.14.50.а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не

предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Штамповкой в открытых штампах можно получить поковки всех типов.

Штамповка в закрытых штампах (рис.14.50.б) характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя – выступ (на прессах), или верхняя – полость, а нижняя – выступ (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно перпендикулярные плоскости разъема (рис.14.50.в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

14.20.2 Чертеж поковки

Чертеж поковки является основным документом при разработке технологического процесса и проектировании штампа. Его выполняют на основе чертежа детали по ГОСТ 7505 – Поковки стальные штампованные.

Сначала необходимо выбрать поверхность разъема, т.е. поверхность, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Обычно эта поверхность является плоскостью или сочетанием плоскостей. Она необходима для установки исходной заготовки и удаления из штампа готовой поковки. Поверхность

разъема устанавливают в плоскости двух наибольших габаритных размеров, при этом полости штампа имеют наименьшую глубину.

При штамповке в открытых штампах плоскость разъема должна обеспечивать контроль сдвига верхней и нижней частей штампа после обрезки обля. Для этого она должна пересекать вертикальную поверхность поковки (рис.14.51.а). Желательно плоскость разъема располагать так, чтобы естественные уклоны облегчали удаление поковки из штампа (рис.14.51.б) даже без выталкивателей и без существенного упрощения формы детали.

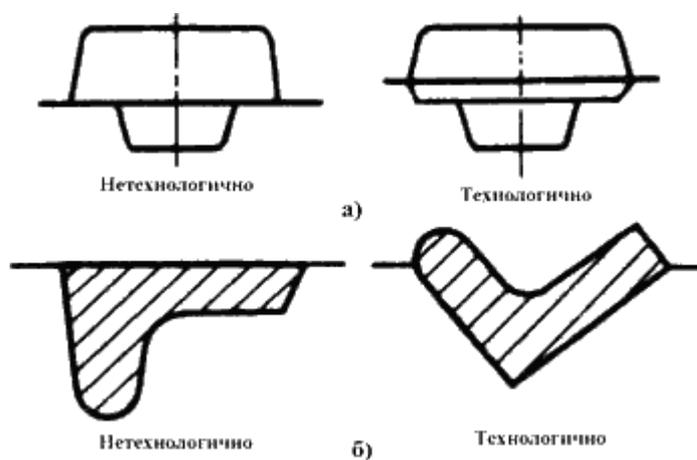


Рис.14.51. Выбор плоскости разъема штампа

В некоторых случаях положение плоскости разъема определяется макроструктурой металла. Например, при штамповке шестерен плоскость разъема должна быть перпендикулярна к оси детали. В этом случае макроструктура получается одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечивает их высокую прочность. На рис. 14.52 показан выбор положения разъема штампа по условиям работы детали. Если деталь работает на срез по линии $a - a$, то волокна металла должны располагаться перпендикулярно к линии среза (положение $II - II$). Положение плоскости разъема $I - I$ в данном случае нежелательно.

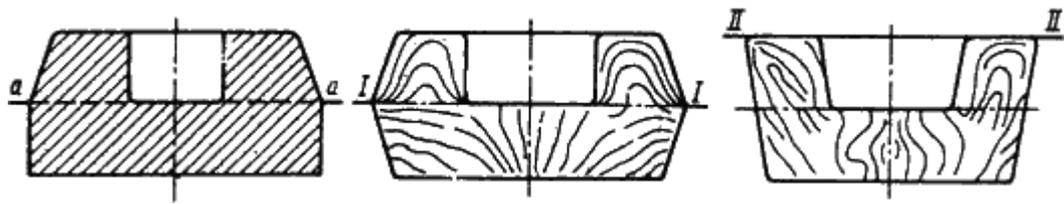


Рис.14.52. Схема к выбору плоскости разреза с учетом условий работы детали

При выборе плоскости разреза необходимо учитывать использование поверхностей поковки в качестве баз при механической обработке. Базы должны быть цилиндрическими, без штамповочных уклонов. При этом припуск на механическую обработку должен быть одинаков в направлении обработки.

При штамповке в закрытых штампах плоскость разреза выбирают по торцевой наибольшей поверхности детали.

Припуски на механическую обработку регламентируются ГОСТ 7505 с учетом точности поковки, которая определяется видом оборудования и технологией ГОШ (открытая или закрытая) и назначаются в основном на сопрягаемые поверхности.

Допуски учитывают возможные отклонения от номинальных размеров вследствие недоштамповки по высоте, сдвига частей штампов, их износа и т.п.

К кузнечным напускам относятся штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений, перемычки отверстий.

Штамповочные уклоны назначаются сверх припуска, они повышают отход металла при механической обработке и утяжеляют поковку. Для наружных поверхностей, вследствие температурной усадки, уклоны меньше, чем для внутренних поверхностей.

Все пересекающиеся поверхности сопрягаются по радиусам. Это необходимо для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременного износа и поломок. Радиусы скругления зависят от глубины полости штампа. Внутренние радиусы скругления в 3...4 раза больше, чем наружные. Наружные радиусы обычно составляют $1...6^0$.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разреза нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому наносят только наметку отверстия с перемычкой-

пленкой, удаляемой впоследствии в специальных штампах. Толщина перемычки (s) устанавливается в зависимости от диаметра отверстия (D), $s = 0.1 \times D$, но не должна быть менее 4 мм. Отверстия диаметром менее 30 мм не штампуются

14.20.3 Технологический процесс горячей объемной штамповки

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок.

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажатая медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки, в том числе из малопластичных материалов. Поковки простой формы штампуют в штампах с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т.п. штампуют в многоручьевых штампах.

После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя и пробивку пленок в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис.14.53).

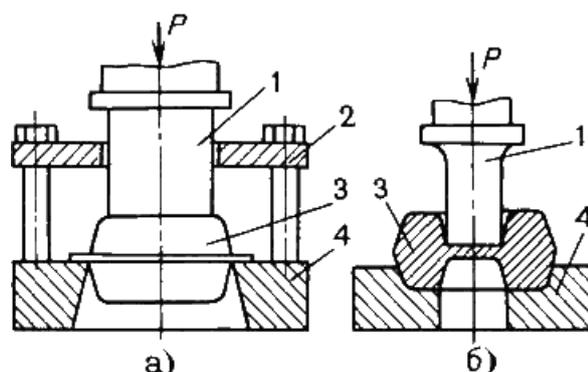


Рис. 14.53. Схемы обрезания облоя (а) и пробивки пленок (б)

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезания облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4%.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1...2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

14.20.4 Оборудование для горячей объемной штамповки

Оборудование для горячей объемной штамповки молоты штамповочные, горячештамповочные кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины. Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

14.20.4.1 Горячая объемная штамповка на молотах

Основным типом молотов являются паровоздушные штамповочные молоты. Их конструкция несколько отличается от ковочных молотов. Стойка станины устанавливается непосредственно на шаботе. Молоты имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Масса шабота превышает массу падающих частей в 30...30 раз. Все это обеспечивает необходимую точность соударения штампов.

Масса падающих частей составляет 630...25000 кг.

Используются молоты бесшаботной конструкции. Шабот заменен подвижной нижней бабой, связанной с верхней бабой механической или гидравлической связью. Энергия удара поглощается механизмами молота. При соударении верхней и нижней баб развивается значительная энергия, что позволяет штамповать поковки в одноручьевых штампах.

Особенностями ГОШ на молотах являются ударный характер деформирующего воздействия и возможность регулирования хода подвижных частей и величины удара при одновременном кантовании заготовки, что позволяет более эффективно про-

изводить перераспределение металла. На молотах возможно выполнение всех заготовительных переходов, в том числе протяжки и подката. Верхняя часть штампа заполняется лучше. Части штампа при штамповке на молоте должны смыкаться.

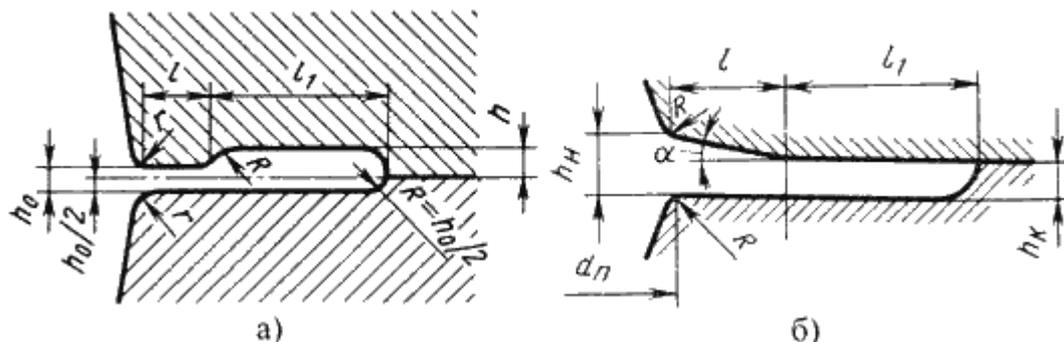


Рис.14.54. Виды облойной канавки при штамповке на молотах

При штамповке в открытых штампах облойная канавка имеет вид, представленный на рис. 14.54.

Размеры облойной канавки (рис. 14.54.а) назначаются в зависимости от сложности поковки и ее размеров в плане. Клиновая облойная канавка (рис. 14.54. б) позволяет снизить потери на облой в результате повышения сопротивления течению металла.

При закрытой штамповке на молотах применяются штампы с одним и двумя замками. Конструкции штампов представлены на рис. 7.

Штампы с одним замком используются чаще, так как они проще в изготовлении. Но они требуют точной наладки и хорошего состояния оборудования. Второй замок (большой конус) предохраняет первый замок и упрощает наладку штампа, но при этом увеличиваются его размеры и масса.

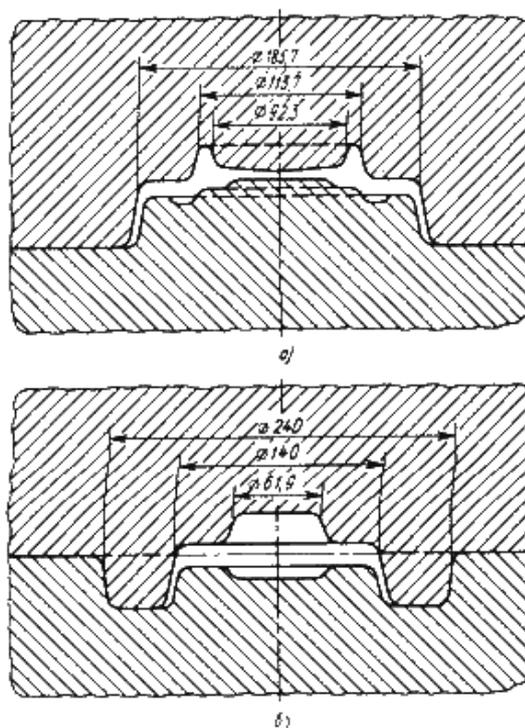


Рис.14.55. Конструкции закрытых молотовых штампов
а – с одним замком; б – с двумя замками

На молотах поковки изготавливаются с самыми низкими классами точности: Т4, Т5. Это обусловлено возможностью смещения частей штампа, отсутствием направляющих в конструкции штампа, ударным характером деформирования.

Допускаемые отклонения от номинальных размеров поковки соответствуют припускам, поэтому также являются увеличенными.

Кузнечные напуски имеют максимальные значения. Ввиду ударного характера работы молота в конструкции штампа нельзя использовать выталкиватели, поэтому для извлечения поковки из ручья штампа на вертикальных поверхностях поковок оформляются значительные штамповочные уклоны: наружные – до 7° , внутренние – до 10° . Радиусы закругления назначаются для облегчения течения металла, повышения стойкости штампа, обеспечения расположения волокон.

14.20.4.2 Горячая объемная штамповка на прессах

Наиболее часто используются кривошипные горячештамповочные прессы. Выбор прессы осуществляется по номинальному усилию, которое составляет 6,7...100 МН.

К особенностям конструкции прессы следует отнести жесткий привод, не позволяющий изменять ход ползуна, отсутствие ударных нагрузок.

Жесткий привод не позволяет производить переходы, требующие постепенно возрастающего обжатия с кантованием, (протяжка, подкат). Для фасонирования заготовки могут быть использованы заготовительные ручки: пережимной, гибочный. Поэтому при штамповке на прессах сложных заготовок, имеющих удлиненную форму в плане (шатуны, турбинные лопатки), фасонирование осуществляется ковочными вальцами, свободной ковкой, высадкой на горизонтально-ковочных машинах.

Отсутствие ударных нагрузок позволяет не применять массивные шаботы, использовать сборную конструкцию штампов (блок-штампы).

При открытой штамповке на прессах части штампа не должны смыкаться на величину, равную толщине облая. Полость штампа выполняется открытой и облойная канавка имеет вид, показанный на рис.14.56.

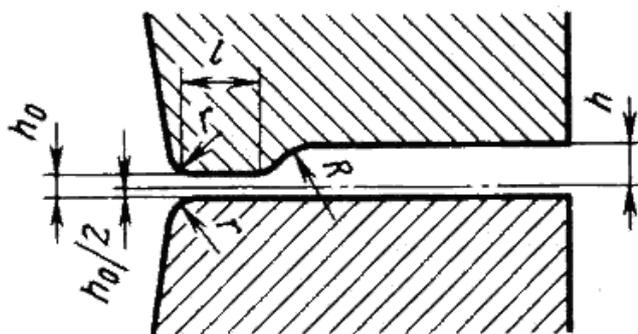


Рис.14.56. Вид облойной канавки при штамповке на прессах

Для закрытой штамповки используются штампы двух видов:

- с цельной матрицей, для изготовления поковок типа тел вращения, усилие распора в них воспринимается матрицей и не передается ползуну прессы;
- с разъемной матрицей, для легкого извлечения из полости штампа поковок, что позволяет значительно уменьшить штамповочные уклоны.

Поковки, полученные на прессах, характеризуются высокой точностью, которая достигается за счет снижения припусков на механическую обработку (в среднем на 20...30 % по сравнению с поковками, полученными на молотах) и допускаемых отклонений на номинальные размеры, снижения штамповочных уклонов в два – три раза. Наличие постоянного хода приводит к большей точности поковок по высоте, а жесткость конструкции прессы делает возможным применение направляющих колонок в штампах, что исключает сдвиг.

Производительность труда повышается в среднем в 1,4 раза за счет однократности и повышения мощности деформирующих воздействий. В результате себестоимость поковок снижается на 10...30 %. Как показывают исследования, штамповка на прессах может быть экономически выгодной даже при загрузке оборудования на 35...45 %.

При штамповке на прессах деформация глубже проникает в заготовку, что позволяет штамповать малопластичные материалы, применять штампы с разъемной матрицей с боковым течением металла.

Процессу штамповки на прессах присущи недостатки:

- окалина вдавливается в тело поковки, для предотвращения этого необходимо проводить малоокислительный или безокислительный нагрев или полную очистку заготовки от окалины;
- из-за невысокой скорости деформирования время контакта металла с инструментом больше, чем на молотах, поэтому имеет место переохлаждение поверхности заготовки, что приводит к худшему заполнению полости штампа.

14.20.4.3 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах

Горизонтально-ковочная машина представляет собой механический кривошипный штамповочный пресс, имеющий разъемную матрицу, одна часть которой является подвижной – зажимной.

Кроме главного деформирующего ползуна, имеется ползун, движение которого перпендикулярно движению главного.

Горизонтально-ковочные машины выбираются по номинальному усилию, которое составляет 1...31,5 МН.

Схема горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине показана на рис. 14.57.

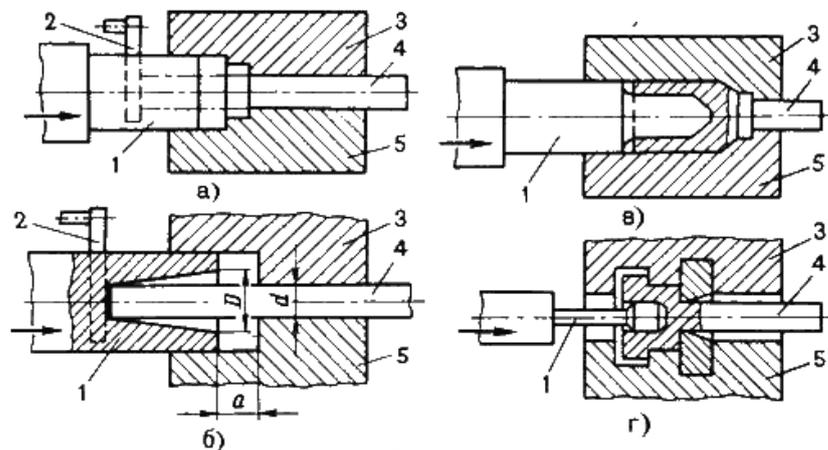


Рис. 14.57. Схема горячей объемной штамповки на горизонтально-ковочной машине

Штамп состоит из трех частей: неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком на его конце закладывают в неподвижную матрицу. Положение конца прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор автоматически отходит в сторону, и только после этого пуансон 1 соприкасается с выступающей частью прутка и деформирует ее. Металл при этом заполняет формующую полость, расположенную впереди зажимной части. Формующая полость может находиться только в матрице, только в пуансоне, а также в матрице и пуансоне.

После окончания деформирования пуансон движется в обратном направлении, выходя из полости матрицы. Матрицы разжимаются, деформированную заготовку вынимают или она выпадает из них.

Штамповка выполняется за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход ползуна. Осуществляются операции: высадка, прошивка, пробивка. За один

переход можно высадить выступающий из зажимной части матрицы конец прутка только в том случае, если его длина не превышает трех диаметров. При большей длине возможен изгиб заготовки, поэтому предварительно необходимо произвести набор металла. Набор металла осуществляется в полости пуансона, которой придают коническую форму.

В качестве исходной заготовки используют прутки круглого или квадратного сечения, трубный прокат. Штампуют поковки: стержни с утолщениями и глухими отверстиями, кольца, трубчатые детали со сквозными и глухими отверстиями.

Так как штамп состоит из трех частей, то напуски на поковки и штамповочные уклоны малы или отсутствуют.

К недостаткам горизонтально-ковочных машин следует отнести их малую универсальность и высокую стоимость.

14.20.4.3 Ротационные способы изготовления поковок

В основе этих способов лежит процесс ротационного обжатия при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании инструментом заготовки очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего усилие, действующее на инструмент, меньше чем при штамповке. Это позволяет изготавливать поковки большой массы (заготовка вагонных осей) с большой точностью, так как упругие деформации при меньших усилиях меньше.

Штамповка на ковочных вальцах напоминает продольную прокатку, на двух валках закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. 14.58.а).

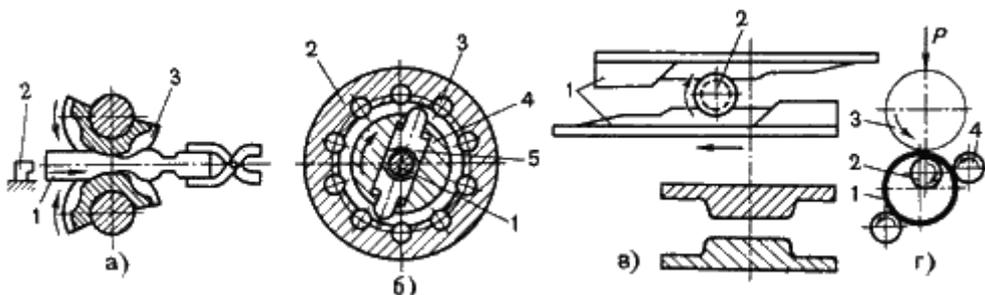


Рис.14.58. Схемы действия ковочных вальцов (а), ротационно-ковочной машины (б), станов поперечно-клиновой прокатки (в); раскатки (г)

Нагретую заготовку *1* подают до упора *2*, когда секторные штампы *3* расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п., а также осуществляют фасонирование заготовок. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах подобна операции протяжки и заключается в местном обжатии заготовки по периметру (рис. 14.58.б). Заготовку *1* в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками *5* машины, находящимися в шпинделе *4*. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики *3*, помещенные в обойме *2*, толкают бойки *5*, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. В машинах этого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины. В таких машинах получают поковки квадратного, прямоугольного и других сечений.

Поперечно-клиновой прокаткой (рис.14.58.в) получают заготовки валов и осей с резкими ступенчатыми переходами диаметром от 12 до 120 мм. Деформирование может осуществляться инструментом в виде двух валков, валка и сегмента или двух плоских плит. Плоско-клиновой инструмент наиболее прост и обеспечивает получение валов сложной конфигурации с высокой точностью. Заготовка *2* из круглого прокатанного прутка после нагрева автоматически перемещается в рабочую зону клиньев *1* в их исходном положении. Клиновой инструмент, закрепленный в подвижной салазке станка, совершает прямолинейное движение. Заготовка прокатывается между двумя клиновыми плитами.

Раскатка кольцевых заготовок на раскатных станах получила особенно большое распространение при производстве колец подшипников. Схема процесса

показана на рис. 9.г. Заготовка 1 представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. Заготовки получают штамповкой на молотах или горизонтально-ковочных машинах. При подведении к заготовке 1, надетой на валок 2, быстро вращающегося валка 3 заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счет уменьшения толщины и происходит ее контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение правильной кольцевой формы поковки. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается.

Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы наружным диаметром 70...700 мм и шириной 20...180 мм.

14.20.4.4 Штамповка жидкого металла

Штамповка жидкого металла является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Технологический процесс штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и горячей объемной штамповки.

Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания.

Сопряжение пуансона и матрицы образует закрытую фасонную полость. Наружные контуры заготовки получают разъемной формой, если деталь имеет наружные выступы, или неразъемной формой – при отсутствии выступов. Внутренние полости образуются внедрением пуансона в жидкий металл.

После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

Под действием высокого давления и быстрого охлаждения газы, растворенные в расплаве, остаются в твердом растворе. Все усадочные пустоты заполняются незатвердевшим расплавом, в результате чего заготовки получаются плотными, с мелко-

кристаллическим строением, что позволяет изготавливать детали, работающие под гидравлическим давлением.

Этим способом можно получить сложные заготовки с различными фасонными приливами на наружной поверхности, значительно выходящими за пределы основных габаритных размеров детали. В заготовках могут быть получены отверстия, расположенные не только вдоль движения пуансона, но и в перпендикулярном направлении.

Возможно запрессовывать в заготовки металлическую и неметаллическую арматуру.

Процесс используется для получения фасонных заготовок из чистых металлов и сплавов на основе магния, алюминия, меди, цинка, а также из черных металлов.

ТЕМА 15. ТИПОВЫЕ ДЕТАЛИ И УЗЛЫ МАШИН

15.1. Классификация механизмов, узлов и деталей машин

Механизм - искусственно созданная система тел, предназначенная для преобразования движения одного из них или нескольких в требуемые движения других тел.

Машина - механизм или сочетание механизмов, которые служат для облегчения или замены физического или умственного труда человека и повышения его производительности.

В зависимости от назначения различают:

- энергетические машины- двигатели, компрессоры;
- рабочие машины – технологические, транспортные, информационные. Все машины состоят из деталей, которые объединены в узлы.

Деталь - это часть машины, изготовленная без применения сборочных операций.

Узел - крупная сборочная единица, имеющая вполне определенное функциональное назначение.

Различают детали и узлы общего и специального назначения.

Детали и узлы общего назначения делят на три основные группы:

- соединительные детали;
- передачи вращательного и поступательного движения;
- детали, обслуживающие передачи.

Создание машин и их звеньев из различных деталей вызывает необходимость соединения последних между собой. Этой цели служит целая группа соединительных деталей (соединения), которые, в свою очередь, делятся на:

- неразъемные - заклепочные, сварные, клеевые; с натягом;
- разъемные – резьбовые; шпоночные; шлицевые.

Любая машина состоит из двигательного, передаточного и исполнительного механизмов. Наиболее общими для всех машин являются передаточные механизмы. Передачу энергии удобнее всего производить при вращательном движении. Для передачи энергии во вращательном движении служат передачи, валы и муфты.

Передачи вращательного движения являются механизмами, предназначенными передавать энергию с одного вала на другой, как правило, с преобразованием (уменьшением или увеличением) угловых скоростей и соответствующим изменением крутящих моментов.

Передачи подразделяют на передачи *зацеплением* (зубчатые, червячные, цепные) и *трением* (ременные, фрикционные).

Вращательные детали передачи - зубчатые колеса, шкивы, звездочки устанавливают на валах и осях. Валы служат для передачи крутящего момента вдоль своей оси и для поддержания указанных выше деталей. Для поддержания вращающихся деталей без передачи крутящего момента служат оси.

Валы соединяют с помощью муфт. Различают муфты постоянные и сцепные.

Валы и оси вращаются в подшипниках. В зависимости от вида трения их подразделяют на подшипники качения и скольжения.

В большинстве машин необходимо использовать упругие элементы - пружины и рессоры, назначение которых аккумулировать энергию или предотвращать вибрации.

Для повышения равномерности хода, уравнивания деталей машин

и накопления энергии в целях повышения силы удара применяют маховики, маятники, бабы, копры.

Долговечность машин в значительной степени определяется устройствами для защиты от загрязнений и для смазки.

Важную группу составляют детали и механизмы управления.

Кроме того, весьма значительные группы составляют специфические детали:

- для энергетических машин - цилиндры, поршни, клапаны, лопатки и диски турбин, роторы, статоры и другие;

- для транспортных машин - колеса, гусеницы, рельсы, крюки, ковши и другие.

15.1.2. Требования к машинам и деталям

К большинству проектируемых машин предъявляются следующие требования:

- высокая производительность;
- экономичность производства и эксплуатации;
- равномерность хода;
- высокий КПД;
- точность работы;
- компактность, надежность и долговечность;
- удобство и безопасность обслуживания;
- транспортабельность;
- соответствие внешнего вида требованиям технической эстетики.

При конструировании и изготовлении машин должны строго соблюдаться ГОСТы.

Применение в машине стандартных деталей и узлов уменьшает количество типоразмеров, обеспечивает взаимозаменяемость, облегчает ремонт машин.

Одним из главных требований, предъявляемых к деталям, является *технологичность*, которая значительно влияет на их стоимость. Следует предусматривать максимально возможное применение стандартных узлов и деталей. Существенными показателями технологичности конструкции являются ее *материалоемкость*, *тру-*

доемкость изготовления и себестоимость. Технологичной считают такую конструкцию, для которой характерны минимальные затраты при производстве и эксплуатации.

15.1.3. Критерии работоспособности и влияющие на них факторы

Быть работоспособными - значит находиться в таком состоянии, в котором детали могут выполнять заданные функции в пределах технических требований. Без учета работоспособности детали нельзя говорить о её надежности.

Работоспособность деталей оценивают:

- прочностью;
- жесткостью;
- износостойкостью;
- теплостойкостью;
- вибрационной устойчивостью.

Значение того или иного параметра возрастает или уменьшается в зависимости от функционального назначения детали. Например, для крепежных винтов - прочность, ходовых деталей - износостойкость. Работоспособность обеспечивают выбором соответствующего материала и расчетом детали по основным критериям работоспособности.

Рассмотрим критерии работоспособности:

Прочность - главный критерий. Различают статическую и усталостную прочность. При статической - разрушение наступает при превышении предела прочности. При усталостной - при превышении предела выносливости. Усталостная прочность значительно снижается при наличии концентраторов напряжений или дефектов производства. Факторы, влияющие на величину коэффициента запаса усталостной прочности, степень ответственности детали, однородность материала и надежность его испытаний, точность расчетных формул, влияние технологии изготовления детали и т.д. В каждой отрасли машиностроения, основываясь на своем опыте, выбирают свои нормы запаса прочности для конкретных деталей. Эти нормы не яв-

ляются стабильными. Их периодически корректируют по мере накопления опыта и роста уровня техники.

В деталях машин существенным является и разрушение от контактных напряжений. Они возникают в месте соприкосновения двух деталей в тех случаях, когда размеры площади касания малы по сравнению с размерами деталей. Если они больше допускаемых, то на поверхности деталей появляются вмятины, борозды, трещины или мелкие раковины. Подобные явления наблюдаются у фрикционных, зубчатых, червячных и цепных передач, а также в подшипниках качения.

Жесткость. Расчет на жесткость предусматривает ограничение упругих деформаций деталей в пределах, допустимых для конкретных условий работы, например:

- условия работы сопряженных деталей (правильность зацепления зубчатых колес);
- технологические условия (точность станка и т.д.);

Значение расчетов на жесткость возрастает в связи с широким внедрением высокопрочных материалов, у которых увеличиваются характеристики прочности, а модуль упругости практически не меняется.

Износ - процесс постепенного уменьшения размеров деталей в результате трения. Детали, изношенные больше нормы, бракуют и заменяют при ремонте. Интенсивность износа зависит от величины давления на поверхности соприкосновения деталей, коэффициента трения и износостойкости материала.

Различают несколько видов изнашивания деталей:

- абразивный износ (имеет основное значение);
- износ при заедании;
- износ при коррозии.

Для повышения износостойкости широко используют смазку трущихся поверхностей, применяют антифрикционные материалы, специальные виды химико-термической обработки поверхностей, уменьшают нагрузки и т.д. Износостойкость значительно понижается при коррозии. Что надо учитывать при проектировании деталей, работающих в агрессивных средах.

Теплостойкость. Нагрев способствует:

- понижению механических свойств и появлению ползучести;
- понижению защищающей способности масляных пленок, и, следовательно, увеличению износа;
- изменению зазоров в сопрягаемых деталях (заклинивание);
- понижению точности машин.

Для определения температуры работы деталей проводят тепловые расчеты и, если необходимо, вносят соответствующие конструктивные изменения (применяют специальные устройства для охлаждения).

Виброустойчивость. Вибрации понижают усталостную прочность деталей, т.к. возникают дополнительные переменные напряжения. В некоторых случаях они снижают качество работы машины (например, в металлорежущих станках снижают точность обработки и ухудшают качество обрабатываемой поверхности). Особое значение имеют резонансные явления.

Коэффициент надежности сложного изделия равен произведению коэффициентов надежности отдельных составляющих элементов. Таким образом:

- надежность сложной системы всегда меньше надежности самого не надежного элемента, поэтому важно не допускать в систему ни одного ненадежного элемента;

- чем больше элементов имеет система, тем меньше её надежность. Рассмотрим изменение надежности системы во времени, которое характеризуется интенсивностью отказов – т.е. числом отказов в единицу времени (рис. 15.59).

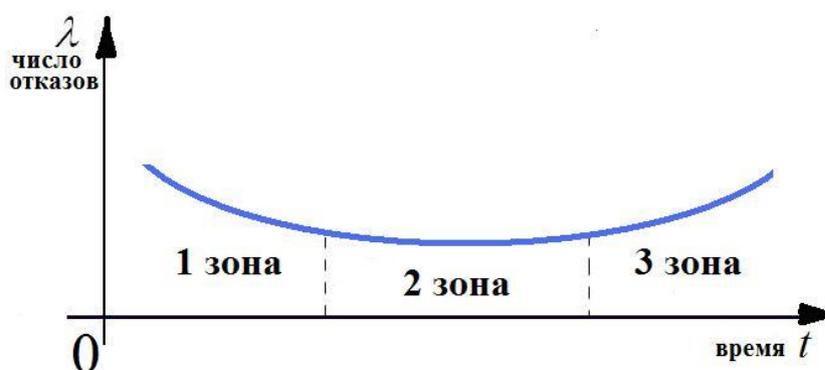


Рис.15.1. Изменение надежности системы во времени

1 зона – период приработки. Вследствие приработки все трущиеся детали автоматически доводятся до наиболее рациональных форм. Из этого следует, что для повышения надежности целесообразно производить обкатку изделия до сдачи его в эксплуатацию.

2 зона – период нормальной эксплуатации, характеризуется примерно постоянным значением интенсивности отказов. Причиной отказов здесь служат случайные перегрузки, скрытые дефекты производства, не проявившиеся в период приработки.

3 зона – период проявления изнашивания. Здесь различные виды износа достигают таких значений, которые приводят к разрушению деталей или к нарушению нормальной работы машины. Машина потребует очередного ремонта.

Основы надежности закладываются конструктором при проектировании изделия. Плохо продуманные, не отработанные конструкции не надежны.

Рассмотрим основные пути повышения надежности:

- улучшение качества производства конструкции;
- уменьшение напряженности деталей (рационально применять высокопрочные материалы, различные виды термической обработки, которые увеличивают нагрузочную способность зубчатых передач до 2...4 раз);
- применение хорошей смазки;
- установка предохранительных устройств;
- должный контроль ОТК.

15.2 Основы проектирования механизмов

Основные принципы проектирования:

1. Последовательность (очередность выполнения этапов при проектировании) и итерационность (корректировка проектных решений предыдущих этапов).
2. Схемная надежность (min элементов в конструкции). Коэффициент надежности сложного изделия выражается произведением коэффициентов надежно-

сти составляющих элементов. Чем больше элементов имеет система, тем меньше ее надежность.

3. Равнопрочность. Надежность сложной системы всегда меньше надежности самого ненадежного элемента, поэтому важно не допускать в систему ни одного слабого элемента.

4. Унификация - стремление к использованию однотипных и стандартных элементов. Стандартные узлы и детали разрабатывают на основе большого опыта и изготавливают на специализированных заводах с автоматизированным производством.

5. Компромиссность проектных решений (поиск компромиссов между техническими характеристиками и экономическими показателями)

6. Резервирование - создание в конструкции определенных резервов (запас прочности, и т.д.).

7. Сменные детали должны быть взаимозаменяемыми с запасными частями. Конструкция должна обеспечивать легкую доступность к узлам.

Конструирование машин и механизмов – творческий процесс. Основные особенности этого процесса состоят в многовариантности решений, необходимости согласования принимаемых решений, что делает необходимым анализ этих вариантов, принятие решений с учетом предшествующего опыта и использованием существующих аналогичных конструкций. В наше время большое внимание уделяется вопросам технической эстетики, поэтому создаваемые конструкции должны быть не только надежными и экономичными, но и сочетать красивый внешний вид с целесообразностью форм.

Проектированием называется процесс разработки технической документации, содержащей технико-экономические обоснования, расчеты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для производства машины. По типу изображения объекта различают чертежное и объемное проектирование; последнее включает выполнение макета или модели объекта. Для деталей машин характерен чертежный метод проектирования.

Совокупность конструкторских документов, полученных в результате проектирования, называется проектом.

Чтобы избавить конструктора от выполнения трудоемких расчетов, многофакторного анализа и большого объема графических работ используют ЭВМ. При этом конструктор ставит задачу для ЭВМ и принимает окончательное решение, а машина обрабатывает весь объем информации и делает первичный отбор. Для такого общения человека с машиной создаются системы автоматизированного проектирования (САПР). Целью создания САПР являются повышение технико-экономического уровня проектируемых объектов, сокращение сроков, уменьшение стоимости и трудоемкости проектирования.

15.3. Стадии разработки проекта

Стадии разработки конструкторской документации и этапы работ установлены стандартом, который обобщает опыт, накопленный в передовых странах по проектированию механизмов и машин.

Первая стадия – разработка технического задания - документа содержащего наименование, основное назначение и технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые заказчиком к разрабатываемому изделию.

Вторая стадия – разработка технического предложения — совокупность конструкторских документов, содержащих технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа технического задания, сравнительной оценки возможных решений с учетом достижений науки и техники в стране и за рубежом, а также патентных материалов. Техническое предложение утверждается заказчиком и генеральным подрядчиком.

Третья стадия – разработка эскизного проекта — совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения и разработки общих видов чертежей, дающих общие представления об устройстве и принципе работы разрабатываемых изделия, его основных параметрах и габаритных размерах.

ТЕМА 16. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Совокупность неровностей на реальной поверхности детали с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины, называется шероховатостью поверхности.

Шероховатость возникает в процессе формообразования поверхности и может являться следом режущего инструмента или являться следствием копирования неровностей режущей кромки резца, она возникает из-за пластической деформации поверхностного слоя при образовании стружки или вибраций, а также из-за химической коррозии материала и в результате других причин.

Шероховатость поверхности является важным показателем состояния поверхности и в значительной степени влияет на работу деталей машин и их долговечность.

Шероховатость поверхности оказывает большое влияние на работу подвижных соединений (трущихся пар). При больших неровностях трущихся поверхностей подшипников, направляющих, ползунов, поршней и т. д. соприкосновение между ними происходит в отдельных точках, нарушается непрерывность масляной пленки, происходит интенсивный износ поверхностей, увеличиваются зазоры. При очень малых неровностях масло не задерживается в зазорах соединения и нарушается оптимальный режим трущихся поверхностей.

В неподвижных соединениях гребешки неровностей при сборке срезаются или в процессе работы соединения сминаются, тем самым нарушается выбранный конструктором характер сопряжения. У посадок с натягом, которые передают крутящие моменты и осевые силы за счет сил трения, слишком гладкие поверхности снижают коэффициент трения и уменьшают эффективность соединения с натягом.

Прочность деталей тоже зависит от состояния поверхности. Разрушение деталей, особенно при переменных нагрузках, в большой степени зависит от наличия концентраторов напряжений, которыми являются имеющиеся неровности. Финишные методы обработки (доводка, полирование, суперфиниш и т. п.)

значительно снижают величину шероховатости и повышают усталостную прочность деталей.

Уменьшение шероховатости поверхности существенно улучшает антикоррозионную стойкость деталей.

Шероховатость поверхности значительно влияет на герметичность соединений, на качество гальванических и лакокрасочных покрытий, а также на внешний вид изделий и их контакт с руками человека.

Шероховатость поверхности влияет также на точность измерения деталей.

16.1 Основные понятия

Реальная поверхность – поверхность, ограничивающая тело и отделяющая его от окружающей среды.

Номинальная поверхность – поверхность, заданная в технической документации без учета допускаемых отклонений.

Базовая линия (поверхность) – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

Профиль поверхности – линия пересечения поверхности с плоскостью.

Базовая длина l – это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (рис. 16.1).

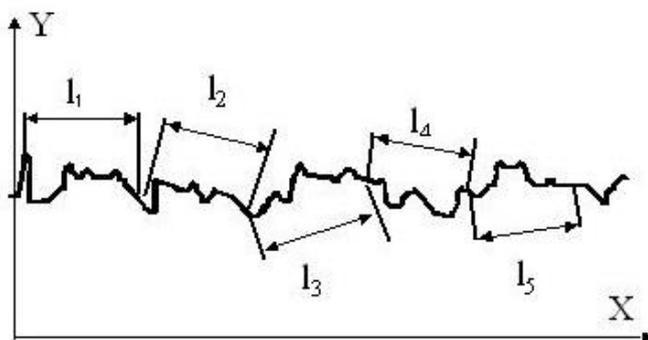


Рис. 16.1. Выделение параметров поверхности с помощью базовой длины

Длина оценки L – длина, на которой оцениваются значения параметров шероховатости. Она может содержать одну или несколько базовых длин.

Средняя линия профиля m - m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля от этой линии минимально.

Линия выступов профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

Местный выступ профиля – часть профиля, расположенная между двумя соседними минимумами профиля.

Местная впадина профиля – часть профиля, расположенная между двумя соседними максимумами профиля.

Выступ профиля – часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией, направленная из тела.

Впадина профиля – часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией, направленная в тело.

Отклонение профиля Y – расстояние между точкой профиля и базовой линией.

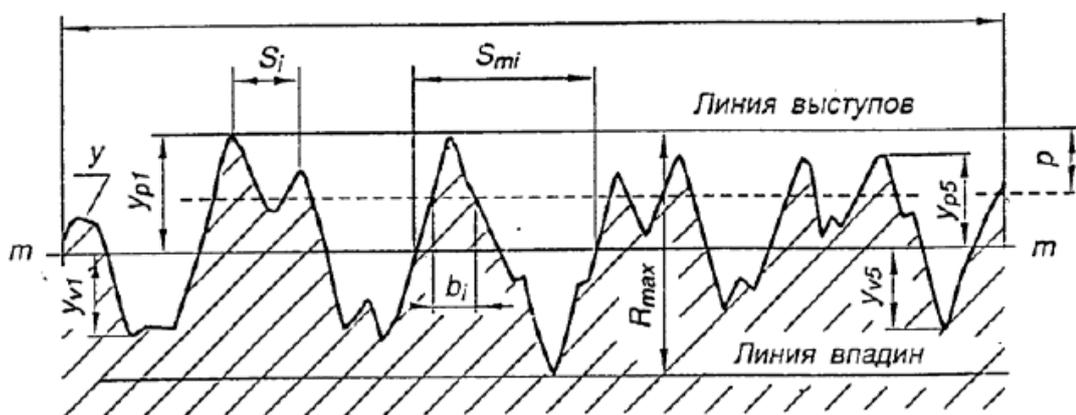


Рис. 16.2. Профиль поверхности

Неровность профиля – выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля.

Направление неровности профиля – условный рисунок, образованный нормальными проекциями экстремальных точек неровностей поверхности на среднюю поверхность.

Уровень сечения профиля r – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля.

Высота выступа профиля u_r – расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля.

Глубина впадины профиля u_v – расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля.

Высота наибольшего выступа профиля R_p – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины.

Высота неровности профиля – сумма высоты выступа профиля и глубины сопряженной с ним впадины профиля.

Шаг неровностей профиля – отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля.

Шаг местных выступов – отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля.

Опорная длина профиля – сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины.

Для оценки шероховатости ГОСТ 2789-73 предусматривает следующие численные параметры шероховатости поверхности:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля;

R_z – высота неровности профиля по десяти точкам;

R_{max} – наибольшая высота профиля;

S_m – средний шаг неровностей;

S – средний шаг местных выступов профиля;

t_r – относительная опорная длина профиля, где r – значение уровня сечения профиля в % от R_{max} .

Все параметры шероховатости поверхности определяются на базовой длине.

Базовая длина задается на чертеже или определяется в зависимости от числового значения высотного параметра шероховатости поверхности, заданного на чертеже. Соотношение величины высотных параметров шероховатости поверхности и базовых длин, в случае если она явно не указаны на чертеже, приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1.

Базовая длина в зависимости от высотных параметров

Значение параметра		Величина базовой длины l
мкм		
Ra	Rz или Rmax	мм
До 0,025	До 0,10	0,08
св. 0,025 до 0,4	св. 0,1 до 1,6	0,25
св. 0,4 до 3,2	св. 1,6 до 12,5	0,8
св. 3,2 до 12,5	св. 12,5 до 50	2,5
св. 12,5 до 100	св. 50 до 400	8,0

Обычно для увеличения достоверности измерений параметры шероховатости определяют на длине оценки L , которая включает в себя несколько значений базовой длины (3, 5, 7). Параметры шероховатости определяются на каждой базовой длине в отдельности, а затем находится среднее значение каждого из измеряемых параметров на длине оценки.

ГОСТ 2789-73 распространяется на поверхности изделий, изготовленных из любых материалов и любыми методами, кроме ворсистых поверхностей. Кроме количественных параметров шероховатости ГОСТом предусмотрены два качественных параметра шероховатости, это вид обработки и направление неровностей.

Для определения параметров шероховатости поверхности используют профиль поверхности (рис. 2), который может быть получен с помощью приборов профилографов, которые ощупывают профиль поверхности специальной алмазной иглой. Для оценки параметров на профиле проводят среднюю линию, а также линии выступов и впадин. Все параметры шероховатости определяются относительно средней линии. Современные приборы профилиметры автоматически определяют все численные параметры шероховатости поверхности. Высотные параметры шероховатости поверхности Ra , Rz , R_{max} нормируются и указываются на чертежах в мкм, а шаговые S и S_m в мм, параметр t_p нормируется в процентах, базовая длина задается в мм.

16.2 Численные параметры шероховатости поверхности

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra – среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l – базовая длина; n – число выбранных точек профиля на базовой длине; y – отклонение профиля от средней линии.

Среднее арифметическое отклонение профиля является наиболее информационным параметром шероховатости и именно его рекомендуется указывать на чертежах.

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

где y_{pi} – высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где n – количество шагов на базовой длине.

Средний шаг местных выступов профиля S – среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i.$$

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{1} \cdot 100 \% \quad \eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$$

η_p – опорная длина профиля находится как сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины.

Относительная опорная длина профиля характеризует форму неровностей профиля.

Значение t_p нормируется в процентах и выбирается из ряда: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %.

Численные значения уровня сечения r нормируются в процентах от R_{\max} и выбираются из ряда 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %.

ТЕМА 17. ПОНЯТИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

Взаимозаменяемостью называются принципы, обеспечивающие сборку деталей и узлов и их замену при ремонте без дополнительной обработки с сохранением заданного качества. Взаимозаменяемость базируется на нормирование требований к

деталю, узлам и механизмам, используемых при конструировании, благодаря которым представляется возможность изготавливать их независимо и собирать или заменять без дополнительной обработки при соблюдении технических требований к изделию.

Детали и узлы, изготовленные на основе принципов взаимозаменяемости, называются взаимозаменяемыми.

Взаимозаменяемость может быть:

Полной – при которой 100 % деталей и узлов механизма устанавливаются и заменяются при сборке без дополнительной обработки, без регулирования и без подбора.

Неполной (ограниченной) – при которой для обеспечения сборки применяют: групповой подбор деталей, компенсаторы, регулирование положения некоторых частей машин, пригонку и другие дополнительные технологические мероприятия при обязательном выполнении требований к качеству сборочных единиц и изделий.

Внешней – при которой обеспечивается взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие более сложные изделия) и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей (электродвигатели, подшипники, редуктора и т. д.).

Внутренней – которая распространяется на детали и узлы, входящие в изделие.

17.1. Основные нормы взаимозаменяемости

К гладким соединениям относятся соединения образованные цилиндрическими и плоскими параллельными поверхностями. Они являются наиболее распространенными в машиностроении соединениями. На этот вид соединений были разработаны одни из первых стандартов.

В нашей стране впервые система таких стандартов была предложена в 1915 – 1917 годах профессором И. Н. Куколевским. Она использовалась в основном при выполнении военных заказов. В 1919 году комиссией по нормализации, под руководством инженера П. М. Шелоумова, был разработан первый проект общегосударственной системы допусков для гладких цилиндрических соединений.

В дальнейшем эта система допусков подвергалась существенной переработке. В 1924 – 1925 годах под руководством профессора Ленинградского политехнического института А. Д. Гатцуга был разработан проект стандарта «Допуски для пригонок», который послужил основой нашей государственной системы допусков и посадок, утвержденной в 1929 году, получившей название общесоюзного стандарта (ОСТ). В 1940 году система стандартов получила название Государственных стандартов (ГОСТ). На протяжении следующих лет эта система стандартов неоднократно совершенствовалась, пополнялась новыми стандартами и была отменена в связи с переходом на новую систему стандартов. Работа по стандартизации из узко национальной переросла в международную. Ведущей международной организацией в области стандартизации является в настоящее время ИСО (ISO). Ее рекомендации используются при разработке отечественных стандартов, а в ряде случаев, разработанные ИСО международные стандарты, принимаются в качестве национальных. К числу таких стандартов относится и единая система допусков и посадок (ЕСДП), регламентирующая требования к гладким цилиндрическим соединениям и элементам деталей, ограниченных параллельными плоскостями.

Основные термины и определения по ГОСТ 25346-89

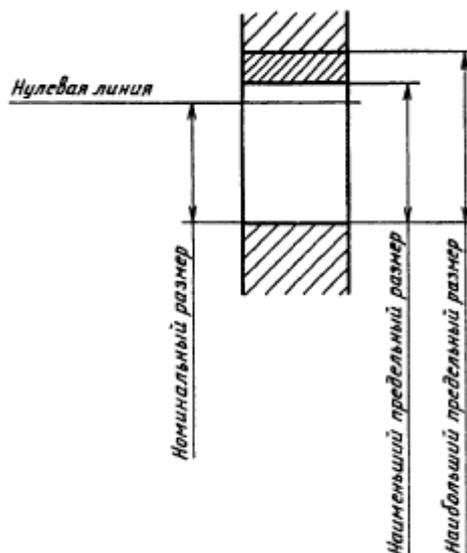
Размер – числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т. п.) в выбранных единицах измерения. На чертежах все линейные размеры указываются в миллиметрах.

Действительный размер – размер элемента, установленный измерением. Результат измерения зависит от выбранного измерительного средства.

Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должны находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали. Большой из них называется наибольшим предельным размером, а меньший – наименьшим предельным размером. Обозначаются D_{\max} и D_{\min} для отверстия и d_{\max} и d_{\min} для вала.

Вал – термин, условно применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов деталей.



Номинальный размер – размер, относительно которого определяются отклонения. Размер, который указан на чертеже, и является номинальным. Номинальный размер определяется конструктором в результате расчетов на прочность и жесткость или с учетом конструктивных и технологических особенностей. Для деталей, образующих посадочное соединение, номинальный размер является общим.

Для сокращения числа типоразмеров заготовок и деталей, режущего и измерительного инструмента значения номинальных размеров, полученных расчетом, следует округлять (как правило, в большую сторону) до значений, указанных в ГОСТ 6636-69 Нормальные линейные размеры. Ряды номинальных линейных размеров (диаметров, длин, высот и т. д.) построены на основе рядов предпочтительных чисел, которые представляют собой геометрическую прогрессию со знаменателями:

ряд R5 – $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$; ряд R10 – $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$; ряд R20 – $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$; ряд R40 – $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$;
ряд R80 – $\sqrt[80]{10} \approx 1,03$.

Ряд с более крупной градацией является предпочтительным по отношению к ряду с более мелкой градацией, например ряд R5 предпочтителен ряду R10. Пример

значений размеров, для рядов R5 и R10 приведен в табл. 1, для получения более крупных и мелких размеров необходимо умножить эти числа на 10n.

Отклонение - алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером.

Предельное отклонение - алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

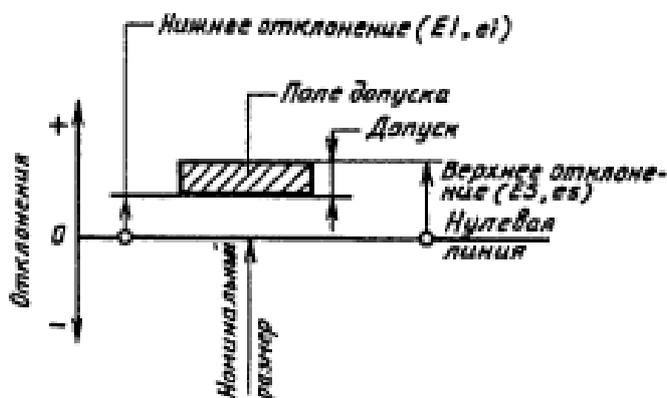
Верхнее отклонение ES , es – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами. Для отверстия $ES = D_{\max} - D$, для вала $es = d_{\max} - d$.

Нижнее отклонение EI , ei – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. Для отверстия $EI = D_{\min} - D$, для вала $ei = d_{\min} - d$.

Таблица 17.1

Значения нормальных линейных размеров

Ряд	Размер, мм									
R5	1,0		1,6		2,5		4,0		6,3	
R10	1,0	1,25	1,6	2	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0



Действительное отклонение – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами. Особенность отклонений в том, что они всегда имеют знак либо (+), либо (-) или равны нулю.

Основное отклонение - одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В данной системе допусков и посадок основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Нулевая линия - линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Допуск T – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.

$$T = D_{\max} - D_{\min} = |ES - EI| \text{ - для отверстий,}$$

$$T = d_{\max} - d_{\min} = |es - ei| \text{ - для вала.}$$

Допуск всегда положителен. Он определяет допускаемое поле рассеивания действительных размеров годных деталей в партии, то есть заданную точность изготовления.

Любой из допусков, установленный ЕСДП, носит название стандартного допуска и обозначается IT .

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска T и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Допуск отверстия обозначается TD , а вала Td . Помимо охватывающих и охватываемых элементов, называемых отверстиями и валами, в деталях имеются элементы, которые нельзя отнести ни к отверстию, ни к валу (уступы, расстояния между осями отверстий и т. д.). На рис. 17.1 размеры отверстий обозначены буквой «а», валов – «в», остальных размеров – «с».

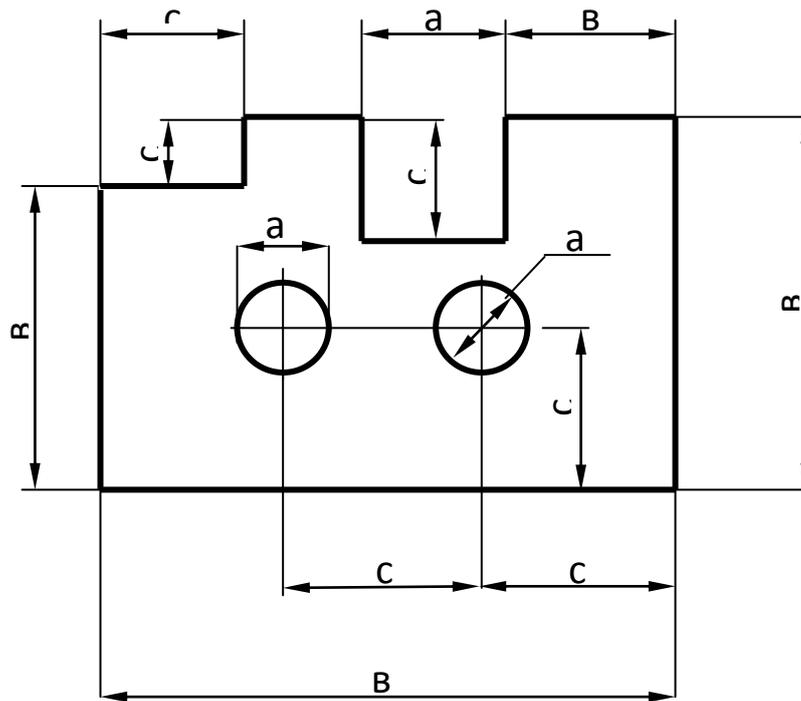


Рис. 17.1. Виды размеров

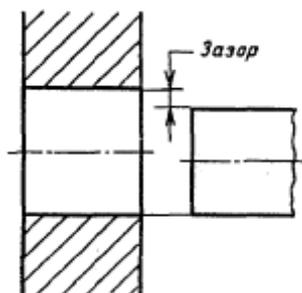
Предел максимума материала – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, то есть наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия.

Предел минимума материала – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наименьший объем материала, то есть наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия.

Посадка - характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению. По характеру соединения различают три группы посадок: посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки.

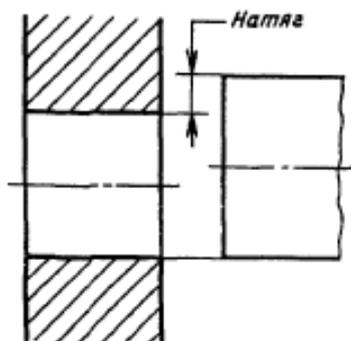
Зазор S – разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала. Зазор обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей. Наибольший, наименьший и средний зазоры определяются по формулам:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}; S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}; S_m = (S_{\max} + S_{\min})/2.$$

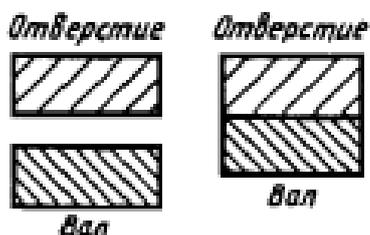


Натяг N – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. Наибольший, наименьший и средний натяги определяются по формулам:

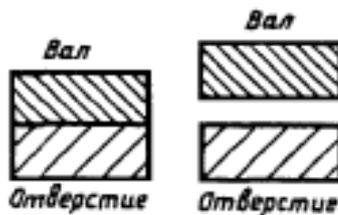
$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}; N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}; N_m = (N_{\max} + N_{\min})/2.$$



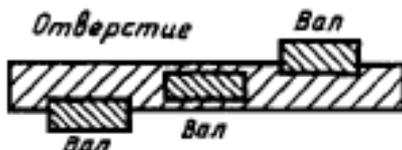
Посадка с зазором – посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении (поле допуска вала расположено ниже поля допуска отверстия или касается его при $S_{\min} = 0$)



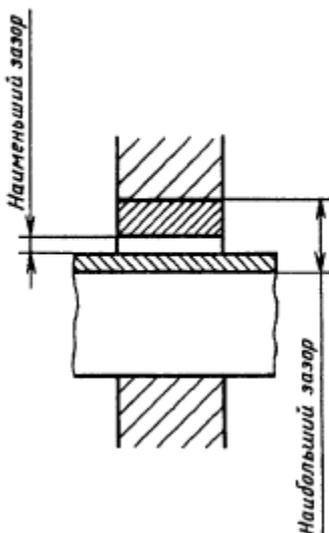
Посадка с натягом – посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении (поле допуска вала располагается выше поля допуска отверстия или касается его при $N_{\min} = 0$)



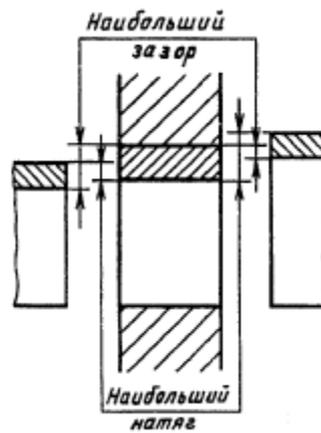
Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора так и натяга (поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично)



Наименьший зазор - разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала в посадке с зазором.

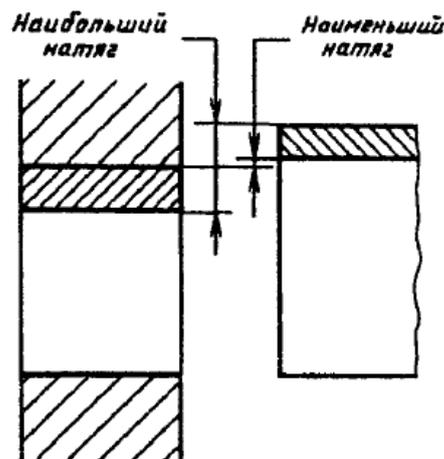


Наибольший зазор - разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке



Наименьший натяг - разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом.

Наибольший натяг - разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом или в переходной посадке.

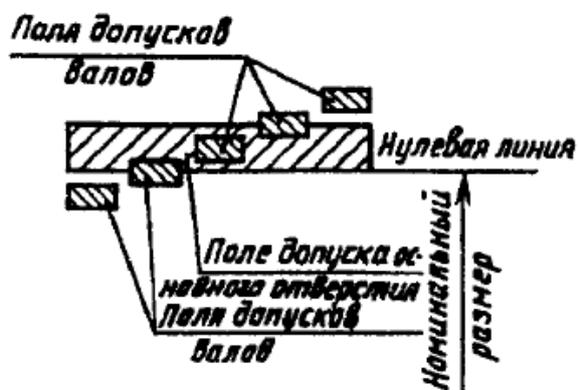


Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение:
 $T_{\text{пос}} = T_D + T_d$. Для посадки с натягом: $T_N = N_{\text{max}} - N_{\text{min}}$. Для посадки с зазором $T_S = S_{\text{max}} - S_{\text{min}}$. В переходных посадках допуск посадки определяется, как сумма наибольших натяга и зазора $T_{\text{пос}} = N_{\text{max}} + S_{\text{max}}$.

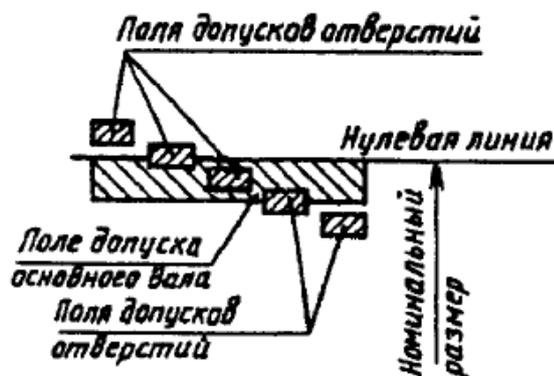
Основной вал – вал, основное отклонение которого равно нулю, а поле допуска расположено от нулевой линии вниз, нижнее отклонение равно величине допуска со знаком минус.

Основное отверстие – отверстие, основное отклонение которого равно нулю, а поле допуска расположено от нулевой линии вверх, верхнее отклонение равно допуску.

Посадки в системе отверстия – это посадки, в которых требуемые зазоры и натяги сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия.



Посадки в системе вала – это посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала.



Система отверстия является предпочтительной по экономическим соображениям. Однако в ряде случаев применение просадок в системе вала по экономическим или конструктивным соображениям оказывается более целесообразным, а иногда и безальтернативным (посадки на валы из калиброванного проката, не требующего последующей обработки, посадки наружных колец подшипников качения, пальцев, шпонок, штифтов и т. д.)

17.2. Единая система допусков и посадок

Системой допусков и посадок называется совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин. Дает возможность стандартизировать режущие инструменты, калибры и измерительные приборы.

К ЕСДП относятся стандарты:

- ГОСТ 25346-82 ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений;
- ГОСТ 25347-82 ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки;
- ГОСТ 25348-82 ЕСДП. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм;
- ГОСТ 25349-82 ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс;
- ГОСТ 26179-84 ЕСДП. Допуски размеров свыше 10000 до 40000 мм.

Единая система допусков и посадок (ЕСДП) распространяется на гладкие элементы деталей: цилиндрические и ограниченные параллельными плоскостями. Система базируется на стандартах и рекомендациях международной системы ISO.

Основные принципы построения единой системы следующие:

1. Допуски и отклонения, устанавливаемые стандартами, относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре, которая во всех странах принята равной $+20^{\circ}\text{C}$.

2. Система распространяется на следующие диапазоны размеров: менее 1 мм (приборостроение), от 1 мм до 500 мм, свыше 500 мм до 3150 мм, свыше 3150 мм до 10000 мм, свыше 1000 до 40000 мм.

3. Для построения рядов допусков каждый из диапазонов размеров, в свою очередь, разделен на интервалы. Для диапазона номинальных размеров от 1 до 500 мм установлено 13 основных интервалов: от 1 до 3 мм, свыше 3 до 6 мм, свыше 6 до 10 мм, ... , свыше 400 до 500 мм.

4. Установлено 20 квалитетов точности: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. Самый точный квалитет 01, самый грубый 18. Под квалитетом понимается совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров данного диапазона.

5. Допуск для любого квалитета: $IT = k \cdot i$, где i – единица допуска, является функцией номинального размера и выражает зависимость допуска от номинального размера, k – число единиц допуска, зависящее от квалитета и не зависящее от номинального размера.

6. Величина единицы допуска рассчитана по формуле:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D \text{ для размеров до 500 мм и квалитетов с 5 по 18;}$$

где $D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$ – среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала в мм.

7. Соотношение квалитета и числа единиц допуска показано в табл. 2, где k – число единиц допуска для каждого квалитета.

Таблица 17.2

Числа единиц допуска в соответствующих квалитетах

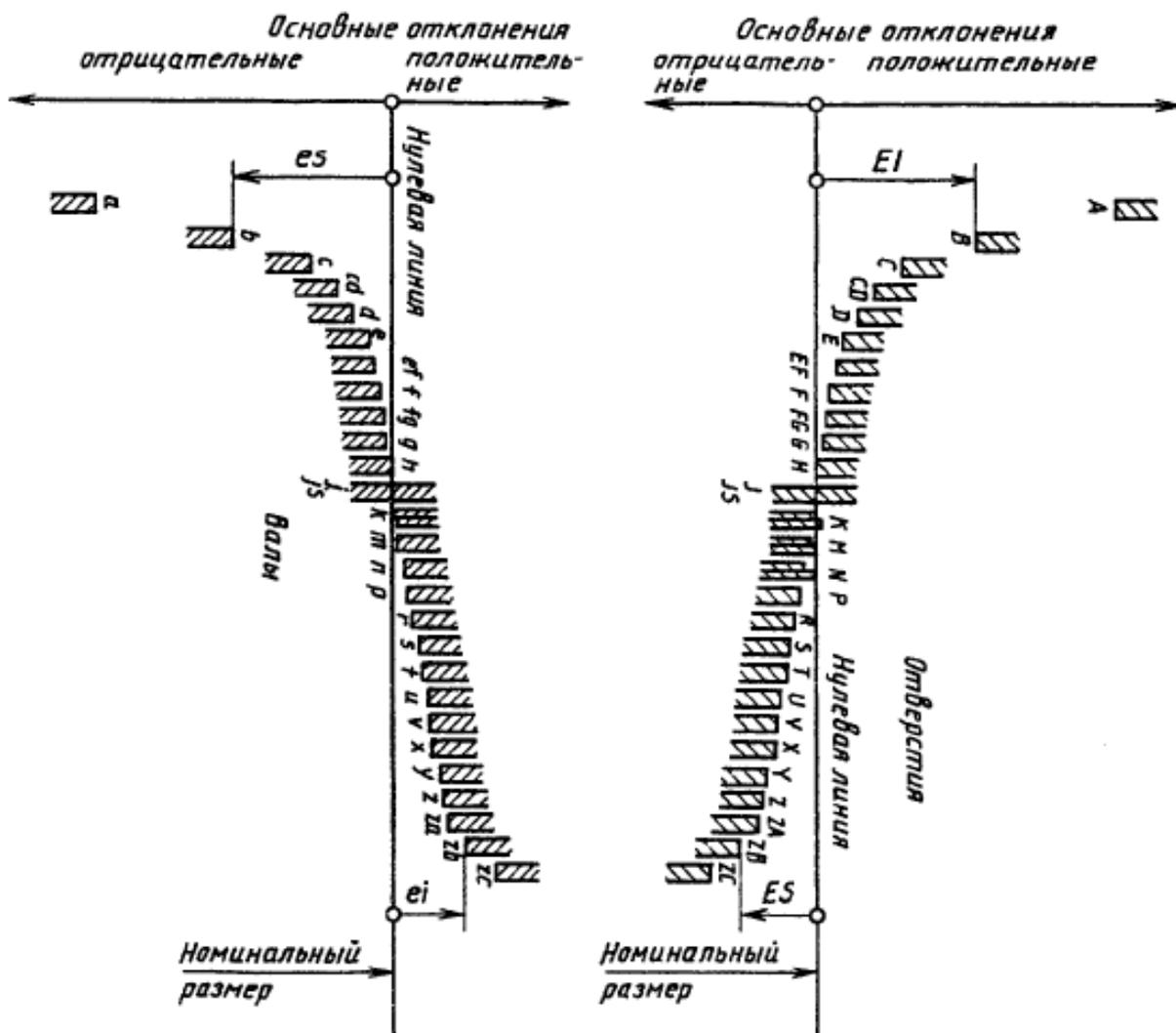
	Области применения																			
	Меры длины			Калибры			Размеры сопрягаемых поверхностей										Несопрягаемые размеры			
Квалитеты	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
k	-	-	-	2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

8. Установлено 28 основных отклонений валов и отверстий, обозначаемых буквами латинского алфавита.

Для валов: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, j, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc.

Для отверстий: A, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, JS, J, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC.

Основное отклонение не зависит от квалитета, а только от интервала размеров.



9. Основные отклонения отверстий соответствуют отклонениям вала того же обозначения по общему или специальному правилу.

В большинстве случаев действует общее правило:

1. $EI = -es$ для отверстий с основным отклонением от А до Н;
2. $ES = -ei$ для отверстий с основным отклонением от J до Z;

Специальное правило установлено для отверстий с основным отклонением J, K, M, N до 8-го квалитета включительно; для N от 9 до 16 квалитетов основное отклонение равно нулю; для отверстий с основным отклонением от P до ZC до 7-го квалитета включительно; для интервала размеров свыше 3 до 500 мм.

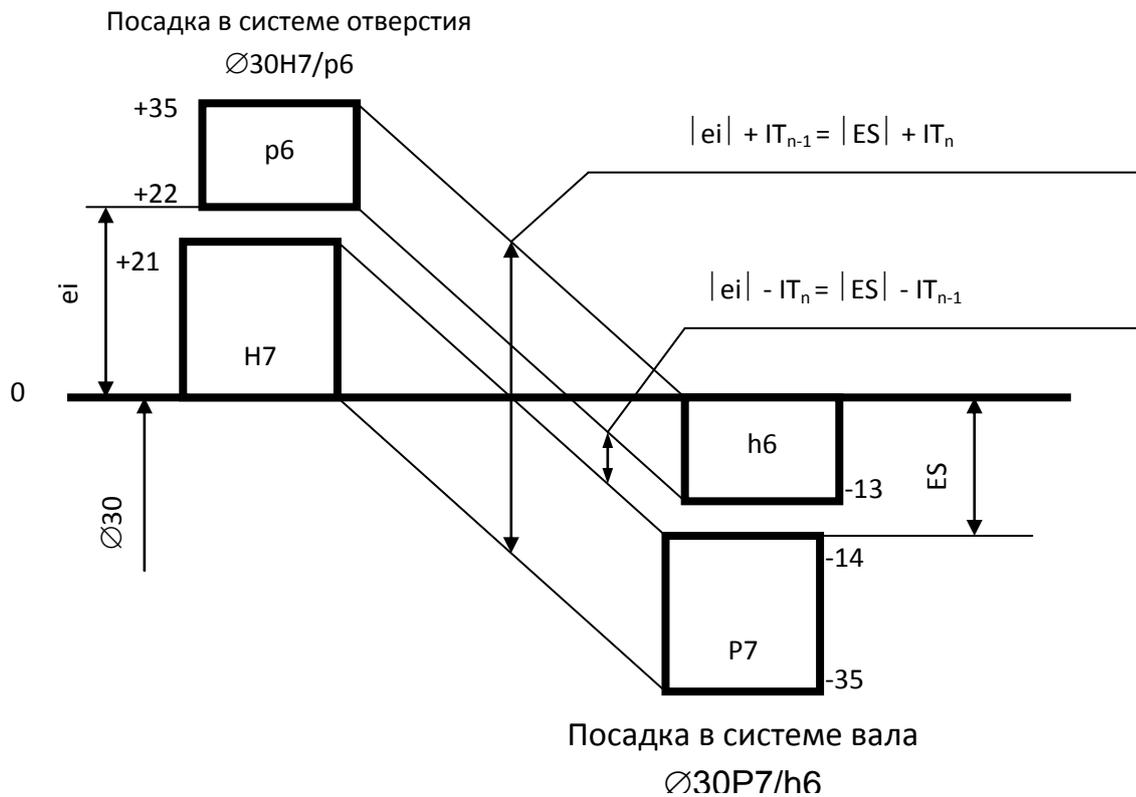
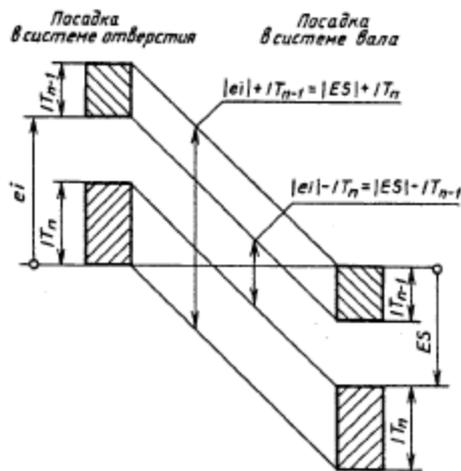


Схема определения основного отклонения отверстия по специальному правилу

Специальное правило выражается следующей формулой:

$ES = -ei + \Delta$, где $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$ – разность между допуском рассматриваемого квалитета IT_n и допуском ближайшего более точного квалитета IT_{n-1} .

Это необходимо, чтобы две посадки в системе отверстия и в системе вала, в которых отверстие данного квалитета соединяется с валом ближайшего более точного квалитета имели одинаковые зазоры и натяги (например: $\text{Ø}30\text{H}7/\text{p}6$ и $\text{Ø}30\text{P}7/\text{h}6$). При образовании посадок из стандартных полей допусков выбирают

отклонения, указанные в таблицах ГОСТ 25347-82, в которых поправка уже внесена. Схема расположения основных отклонений валов и отверстий основного отбора относительно нулевой линии с указанием рекомендованных отклонений и отклонений предпочтительного применения приведена на рис. 7.

10. Поля допусков образуются сочетанием основного отклонения и допуска по одному из квалитетов. Из 94 полей допусков валов, предназначенных для образования посадок, 54 поля включено в основной отбор и 24 поля в дополнительный.

Из 87 полей допусков отверстий 46 полей включены в основной отбор и 25 в дополнительный. Для предпочтительного применения выделено из основного отбора 10 полей допусков отверстий и 16 полей допусков валов.

11. Помимо полей допусков предпочтительного применения рекомендованы также посадки предпочтительного применения, смотри приложения П 4.1 и П 4.2.

12. Для размеров свыше 500 мм единица допуска рассчитывается по формуле $i = 0,004D + 2,1$; где $D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$ - среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала в мм.

Для размеров свыше 500 мм в каждом диапазоне установлен соответствующий отбор полей допусков, предельных отклонений и интервалов размеров, отличный от ранее рассмотренного. Например, для диапазона размеров свыше 3150 до 10000 мм не предусмотрены переходные посадки, а также посадки с натягом в системе вала, а для диапазона размеров свыше 10000 до 40000 мм посадки вообще не предусмотрены.

Основные положения, числовые значения, условные обозначения полей допусков и посадок, принятые в ЕСДП полностью соответствуют принятым в системе ИСО.

+								18	18											
	13	13	13																	
		12	12	12					12											
	11	11	11	11				11												

				10		10		10														
				9	9	9		9												9		9
				8	8	8		8								8			8		8	
				7		7	7	7	7	7	7			7		7						
							6	6	6	6	6	6	6	6					6		6	
							5	5	5	5	5	5	5	5							z	
							4	4	4	4	4										y	
A																			x			
	B																	v				
		C																u				
			D															t				
				E														s				
					F													r				
						G												p				
																		n				
																		m				
																		k				
-									JS,									κ				
									h									M		N		
						f	g												P			
				e															R			
				d																S		
																					T	
			c																		U	
																					V	
		b																				
																					X	
a								4	4													
								5	5	5												
								5	5	5	5	5	5									
								6	6	6	6	6	6	6								Y
								7	7		7	7	7	7	7							
								8	8	8	8	8	8	8	8							Z
								9	9	9									8			
								10														
													10									
11	11	11	11					11														
	12	12	12					12														
13	13	13																				
								18														

Схема расположения основных отклонений валов и отверстий в системе

ЕСДП, цифрами указаны рекомендованные качества, в рамку обведены качества предпочтительного применения

ТЕМА 18. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

Проектирование (упрощенное понимание) - процесс создания окончательных описаний технического объекта (нового или модернизируемого), достаточных для изготовления или реализации этого объекта в заданных условиях.

Под техническим объектом понимается изделие (механизм, машина) или процесс (техпроцесс изготовления (производства), ремонта, модернизации).

Более строгое определение понятию «**проектирование**» дает ГОСТ 23501.101 – 87 «Система автоматизированного проектирования. Основные положения». Проектирование – процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта на основе первичного описания этого объекта и (или) алгоритма его функционирования ... с оптимизацией заданных характеристик объекта, устранением некорректности первичного описания и последующим представлением описания на различных языках (заданном языке).

Конструирование – процесс придания техническим объектам (изделиям) и их элементам конкретных геометрических форм и размеров, наиболее эффективно обеспечивающих их изготовление, взаимодействие (сопряжения) и реализацию функционального назначения.

Конструирование включает процедуры обдумывания и отображения, выбора материалов и технологии изготовления, оно должно обеспечивать возможность экономически целесообразного материального воплощения общей концепции объекта и его элементов.

Различают новое конструирование, конструирование на основе аналогов и вариантное конструирование.

Традиционно и проектированием, и конструированием в машиностроении занимается один специалист, называемый конструктором. Задача конструктора – создавать машины, отвечающие требованиям заказчика, дающие наибольший экономический эффект и обладающие наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

Окончательное описание – комплект конструкторской и технологической документации в виде чертежей, пояснительных записок, расчетов, схем, спецификаций (документы, предусмотренные ЕСКД), программ для ЭВМ и т.п.

Промежуточные описания – это разного рода тексты, эскизы и др. Главное в описании – содержание, отражающее характеристики и свойства объекта.

В ходе проектирования определяются основные параметры технических систем (технических изделий) или их элементов, которые, будучи записанными в той или иной форме, позволяют оценивать их конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики. Проектирование в самом общем случае предполагает выполнение комплекса работ, включающего теоретические и экспериментальные исследования, расчеты (анализ), моделирование, конструкторскую работу.

Цель проектирования – преобразование исходного описания (технического задания) в окончательное описание. Нельзя проектировать по принципу: пойдя туда – не знаю куда, спроектируй то – не знаю что. Поэтому исходным пунктом, основой любого проектирования является техническое задание, содержащее параметры проектируемого объекта, которые, безусловно, должны быть обеспечены в результате проектирования. Цель конкретного проектирования – решение конкретной инженерной задачи.

Проектирование может быть функциональным и конструкторским. **Функциональное проектирование** – совокупность проектных процедур, связанных с получением и преобразованием описаний функционального аспекта (уровень функциональных схем).

Конструкторское проектирование – совокупность проектных процедур, направленных на получение описаний конструкции объекта (формы, элементов объекта, значений параметров).

Математическая модель – совокупность математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств, точек и т.д.) и отношений между ними, отражающая свойства моделируемого объекта.

Спецификой используемых при проектировании технических изделий математических моделей является то, что они, как правило, создаются для отдельных

элементов изделия и отражают взаимосвязь внешней нагрузки и таких свойств объекта, как размеры, механические характеристики материала (анализ прочности), а также (если объект – механизм) взаимосвязь между параметрами движения ведущего и ведомого звеньев. Создание всеобъемлющей математической модели для всего изделия в целом нецелесообразно из-за ее громоздкости.

Целевая функция – функция одной или нескольких переменных, называемых управляемыми параметрами и изменяемых с целью оптимизации значения целевой функции, характеризующая качество проектируемого (оптимизируемого) объекта.

Управляемые параметры – внутренние параметры проектируемого объекта, значения которых могут меняться в процессе проектирования (оптимизации).

Внутренние параметры – величины, характеризующие свойства элементов проектируемого объекта.

Внешние параметры – величины, характеризующие свойства внешней среды (температура, внешнее давление, приложенные извне силы и т.п.).

Входные параметры – внутренний или внешний параметр. Говоря иначе, входные параметры – это величины, воспринимаемые проектируемым объектом со стороны внешней среды или сопряженного объекта и обеспечивающее функционирование проектируемого объекта.

Выходные параметры – величины, характеризующие свойства проектируемого объекта, а также являющиеся результатом преобразования входных параметров.

Анализ – это проектная процедура использования математической модели, выполняемая для получения информации о свойствах проектируемого объекта.

Цель анализа – определение внутренних параметров объекта (материалов (если они не заданы техническим заданием), наиболее существенных параметров и размеров – модуль зацепления, катет сварного шва, диаметр резьбы).

Одновариантный анализ – однократное обращение к математической модели (то, что в технической литературе называется расчетом).

Многовариантный анализ - сводится к многократному выполнению одновариантного анализа при варьировании значений внутренних и (или) внешних параметров с целью оптимизации внутренних параметров объекта.

Анализ предполагает обязательное выполнение следующих этапов:

- предварительное определение на основе использования математической модели значения размера или параметра объекта;
- приведение полученного значения размера или параметра в соответствие с нормативными документами;
- определение в соответствии с заложенными в математической модели уравнениями прочности действующих напряжений и сравнение их с допускаемыми напряжениями.

Использование ЭВМ позволяет выполнять все три этапа анализа одновременно. В технической литературе первые два этапа называются проектным (проектировочным) расчетом, а последний этап – проверочным расчетом.

Критериями оценки принятых значений внутренних параметров являются выходные параметры объекта (или один из них) – габариты, массоинерционные характеристики, КПД, погрешность передаточного отношения.

Оптимальные значения показателей качества (а это один из выходных параметров) достигается за счет изменения управляемых параметров – внутренних параметров. При этом на управляемые параметры могут быть наложены ограничения: прямые и функциональные. Прямые ограничения, например: габариты, масса. Функциональные ограничения: величина действующих напряжений, числа зубьев зубчатых колес, величина катета сварного шва, выполняемого ручной сваркой.

В соответствии со стандартом по степени применения технических средств различают проектирование:

- неавтоматизированное – если все описания объекта или алгоритмов его функционирования осуществляет человек;
- автоматизированное – результат взаимодействия человека и ЭВМ;
- автоматическое – когда все операции проектирования происходят без участия человека.

18.1 Системный подход в конструировании

Техническая система – совокупность элементов (звеньев), свойства которых взаимосвязаны, скоординированы, подчинены общим для данной системы закономерностям; используемая в различного рода средствах человеческой деятельности, созданных для осуществления процессов производства и обслуживания непродовольственных потребностей общества. Например, машина, механизм, структурная группа, узел и т.п.

В технических системах, предназначенных для выполнения технологических процессов, входная величина может представлять собой основные параметры, характеризующие физические свойства (масса, влажность) и размеры (диаметр и конфигурация заготовки) объекта переработки. В качестве выходной величины такой технической системы могут служить параметры, оценивающие свойства или размеры готового продукта.

Сложность реальных технических систем колеблется в широких пределах. Для проектирования и исследования простых технических систем конструктору достаточно листа бумаги и знаний инженерной графики и математики. Сложные технические системы труднопредставимы даже для опытного конструктора, и для того, чтобы их грамотно и квалифицированно спроектировать и затем изготовить, в процессе проектирования прибегают к их моделированию (допустимому упрощению).

В проектировании под моделью понимается некоторый объект, находящийся в определенном соответствии с проектируемым (изучаемым) объектом - оригиналом и более удобный для решения задачи конкретного исследования (принятия решения при конкретном проектировании). В общем случае модель – это явление, техническое устройство, знаковое образование или иной условный образ, которые находятся в определенном соответствии (сходстве) с проектируемым (изучаемым) объектом - оригиналом и способны замещать оригинал в процессе проектирования, давая о нем необходимую информацию. Применяются модели двух видов: аналитические и физические. Модель должна быть достаточно простой, чтобы ее можно было проанализировать, но, с другой стороны, достаточно полной, чтобы полученные результаты можно было распространить на проектируемый объект. Так называемые

«натурные модели», макеты, опытные образцы по исследуемым элементам не отличаются от проектируемого объекта, а по составу могут воспроизводить оригинал частично или полностью.

Аналитическая модель отражает использование определенных физических принципов и может быть представлена в виде математических выражений. Построение модели неизбежно связано с принятием допущений. Слишком грубые допущения нарушают соответствие модели проектируемому объекту, делают модель неадекватной. Строгость аналитической модели обманчива и может быть кажущейся, если принятые допущения недостаточно учитывают относительную важность различных аспектов решаемой задачи.

Физические (экспериментальные) модели строятся в тех случаях, когда создание аналитической модели затруднено или невозможно или если поставленная задача проще и быстрее решается экспериментально. Под физической моделью понимают также схему нагружения конструкции, электрическую схему, кинематическую схему и т.п., отображающую переменные и постоянные параметры конструкций, устройств и процессов, подлежащих проектированию или изучению.

Построение физической модели в процессе проектирования изделия предусмотрено стандартами ЕСКД. В ряде случаев оно является обязательным, в частности для изделий, нарушение работоспособности которых недопустимо с точки зрения правил безопасности.

При решении ряда задач приходится строить комбинированные модели, например, получаемые экспериментальные значения, подставляются в математические выражения, функциональные зависимости. Возможны также параллельные, уточняющие друг друга модели, например, аналитическая оценка целесообразности тех или иных экспериментов и т.п.

При проектировании и инженерном анализе часто используются расчетные модели (схемы):

- структурно-кинематические модели (схемы) механизмов;
- динамические модели механизмов, машин и приборов;
- расчетные модели деталей машин и приборов.

Целью построения модели является получение данных и их оценка для установления соответствия ожидаемых показателей качества спроектированного изделия (процесса) показателям, предусмотренным техническим заданием, и для выбора наиболее рационального варианта решения.

Построение модели определяет успех дальнейшей работы в инженерном анализе, т.к. его (анализа) результаты будут полезными только при достаточной адекватности модели объекту.

Некоторые источники выделяют мысленные, или интуитивные, модели. Их реализует человек (эксперт), который на основе имеющихся знаний и опыта проводит мысленные эксперименты с технической системой с целью выявить ее соответствие требованиям или выбрать из двух вариантов наилучший по определенному показателю качества. Например, глядя на чертежи двух различающихся по конструкции механизмов, эксперт может ответить на вопросы: выдержат ли они задаваемую нагрузку или нет у какой конструкции меньше трудоемкость изготовления или расход материала и т.д.

Любая сложная машина представляет собой совокупность более простых преобразователей (механизмов), соединенных между собой определенным образом, т.е. имеет присущую только ей структуру. Каждый механизм осуществляет свое элементарное преобразование параметров движения. В ряде случаев некоторые простые механизмы состоят из совокупности еще более простых механизмов. Чем совершеннее машина, тем больше в ней механизмов (преобразователей), тем сложнее связи между ними. Сложность ТС определяется не суммой узлов, агрегатов, элементов, составляющих систему, а их взаимодействием. Сложность взаимодействия составляющих определяется количеством связей между элементами и между системой и средой.

Сложная техническая система состоит из совокупности типовых и специальных преобразователей (рис. 18.1). Специальные преобразователи встречаются редко, применяются в виде исключения и представляют собой устройства, присущие только данной машине. Типовые встречаются во многих видах технических устройств. Соединяются между собой преобразователи с помощью четырех видов

связей : механической, электрической, гидравлической, пневматической. В сложных технических системах могут применяться как один вид связи, так и совокупность нескольких (мотор-колесо). По своей природе преобразователи делятся на механические, электрические, гидравлические и пневматические. Т.к. в технической системе могут применяться их различные сочетания, то созданы прямые и обратные комбинированные преобразователи, позволяющие передавать параметры между преобразователями разных групп . Например, для соединения механических преобразователей с электрическими применяют прямые (электродвигатели, электромагниты) и обратные (сельсины, потенциометры) преобразователи.

Преобразователь (механизм) конструируют из функциональных деталей, служащих для выполнения его функционального назначения , и деталей обслуживания, обеспечивающих нормальную работу конструкции, не оказывая непосредственного влияния на функцию преобразования параметров.

Мы сосредоточимся на механических преобразователях – передаточных механизмах (передачах), осуществляющих кинематические связи как между двигателем и рабочим органом, так и между отдельными механизмами. Их можно подразделить на следующие группы:

- со стабильным характером преобразования (передачи с постоянным передаточным отношением – зубчатые, червячные);
- с переменным характером преобразования, имеющие переменное или регулируемое передаточное отношение (рычажные передачи, кулачковые механизмы, фрикционные и зубчатые вариаторы);
- прерывного действия, в которых непрерывное механическое перемещение преобразуется в дискретное перемещение (мальтийские, храповые механизмы).

Структуру (схему) машины обычно выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов, которые подвергают сравнительной оценке по стоимости изготовления, энергоемкости, надежности действия, габаритам, металлоемкости и массе, технологичности, удобству обслуживания. При этом часто приходится выбирать вариант, не столько обладающий наибольшим числом достоинств, сколько имеющий наименьшее количество недостатков.

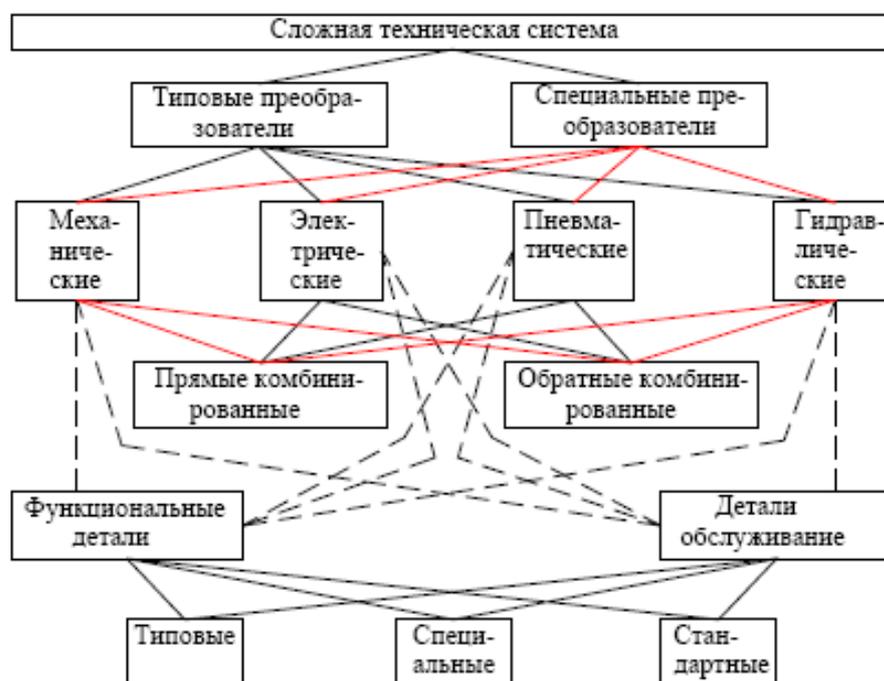


Рис. 18.1. Схема сложной технической системы

Исследованиями установлено, что в машиностроении на доводочное конструирование приходится около 56%, на пионерское (поисковое) конструирование – 24% и на конструирование вариантов из нормализованных элементов – 20% общего объема работ.

Главная задача пионерского проектирования – разработка конструктивной схемы технической системы (машины, механизма), предполагающая разработку функциональной схемы или принципа действия, определение типа и числа элементов, расположение элементов, составление общей конфигурации, определение и простановку размеров.

Основным критерием пионерского конструирования является новое расположение известных или новых элементов. В соответствии с опытом большинство конструкторских разработок, называемых новыми конструкциями, создаются путем не использовавшегося ранее сочетания элементов, давно известных как по принципу функционирования, так и по исполнению. Использование новых элементов предполагает, как правило, открытие новых физических принципов или изобретение новых рабочих принципов.

Конструктивная схема – это творческая реализация (воплощение) технического замысла изделия, его функциональной структуры и технологии изготовления. В процессе ее обдумывания и отображения осуществляется предварительный выбор материалов и технологии изготовления. Она должна обеспечивать возможность экономически целесообразного материального воплощения технической идеи.

18.2 Критерии совершенства конструкций

Функция – основа задачи конструирования. Цель конструирования в какой-то мере наиболее полное решение поставленной функциональной задачи. Приступить к разработке проекта нужно, поняв функцию будущего изделия и представив возможное решение.

Для решения функциональной задачи одинаково важны геометрическая форма (собственно конструкция), материалы и технология (рис. 18.2). Технически воспроизведение функций современной машины может быть представлено в виде совокупности трех взаимосвязанных составляющих (рис.18.3).

Вопрос: какая из трех соответствующих систем важнее: традиционная механическая система с непосредственным воспроизведением заданного движения или обеспечением заданного состояния, система измерения воспроизводимой характеристики или система управления. Ответ однозначен – все три составляющие равноценны.

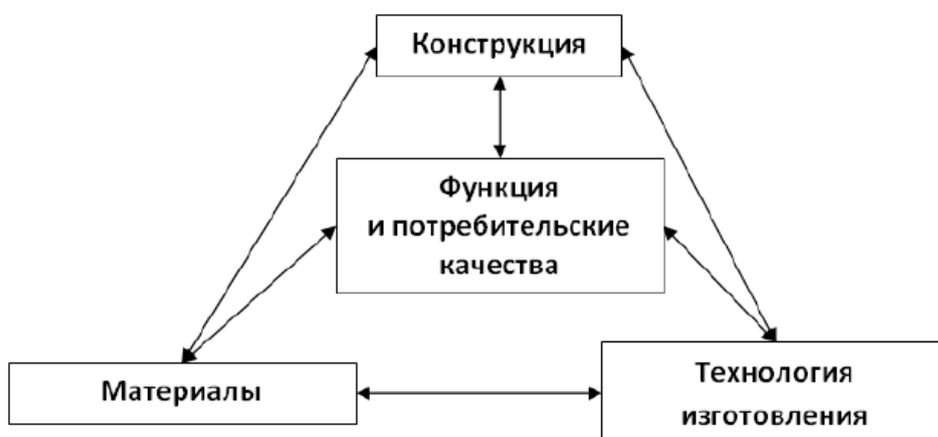


Рис.18.2. Конструирование в создании объектов техники



Рис. 18.3. Процесс воспроизведения функций объекта

Функциональная целесообразность – это принцип, означающий соответствие выбранного решения поставленной задаче. Иными словами, задача должна быть выполнена без превышения необходимых затрат.

Но функция в данном случае понимается в широком смысле, например, водопроводный кран должен не только перекрывать воду, но и быть удобным в обращении. Все это означает, что надо изготавливать его из высококачественных материалов, обеспечить низкую шероховатость поверхностей и высокую точность сопряжений.

Функциональная целесообразность предусматривает, в частности, обеспечение минимальной допустимой для заданной функции прочности, минимальной жесткости и других характеристик, если их повышение сопряжено с увеличением массы, удорожанием изготовления и эксплуатации устройства.

Ниже приведены основные тенденции современного конструирования:

- механизмы и приводы вращательного движения предпочитают устройствам, в которых присутствует возвратно-поступательное движение;
- собственный привод каждого исполнительного звена предпочитают общему приводу с разветвленной трансмиссией;

- в качестве материалов деталей, особенно «несиловых», там, где это возможно, предпочитают пластмассы и композиты;

- блочной конструкции, составленной из отдельных неразборных и практически неремонтируемых узлов, предпочитают конструкции из отдельных последовательно присоединяемых деталей;

- штампованные и штампованно-сварные детали предпочитают литым;
- детали с местной поверхностной термической обработкой предпочитают деталям со сплошной обработкой;
- уплотнения неподвижного стыка предпочитают осуществлять с помощью специальных герметиков, а не с помощью упругих прокладок;
- симметричные геометрические формы – несимметричным и т.д.

Общее правило таково: любую рекомендацию надо проверить на соответствие принципу функциональной целесообразности для заданных условий.

Одним из основополагающих аспектов современного конструирования является преемственность решений. Это становится все более рациональным благодаря тому, что компьютер позволяет запомнить и записать каждый шаг конструктора и его предшественников.

Конструктор уже может не вычерчивать деталь или соединение от начала до конца и тем более не делать это вручную. Обязательно используется готовый прототип, который «извлекают» из компьютерного банка. Укрупненно процесс конструирования представлен на рис. 18.4.

-

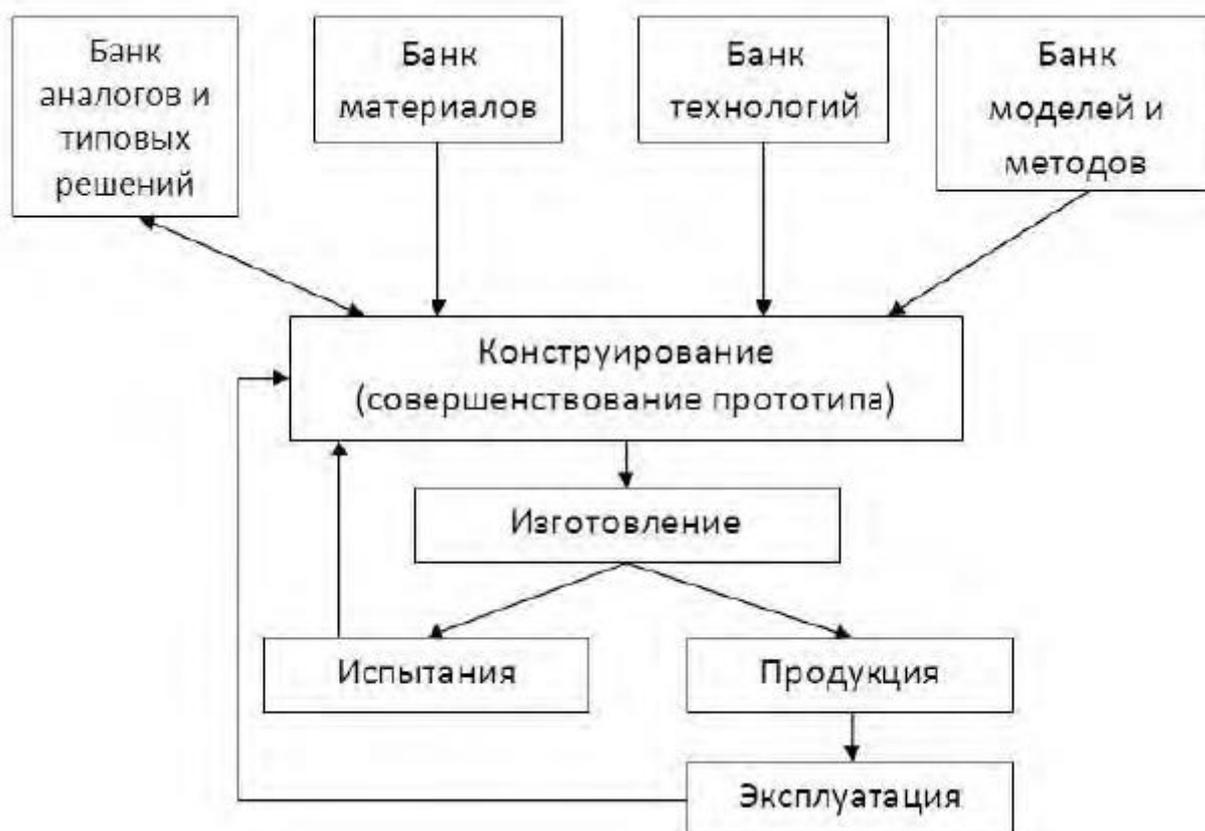


Рис.18.4. Процесс конструирования

Кроме банка конструкций и комплексных решений используются банки материалов и технологий, а также банк информации об испытаниях и эксплуатации предшествующих исполнений, исследовании новых моделей.

Процесс конструирования заключается в правильном выборе известной схемы (модели), подстановке в нее известных решений и, наконец, в совершенствовании конструкции отдельных элементов и системы в целом с учетом накопленного опыта эксплуатации и испытаний прототипа и с учетом анализа других, вновь появившихся решений (используется банк изобретений). Каждый этап совершенствования должен сохранить все полезное и дополнить модель новыми положительными качествами.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторный практикум выполняется по индивидуальному графику бригадами, состоящими из 3 студентов. График выполнения лабораторных работ формируется преподавателем в начале каждого семестра и представляется студентам на первом аудиторном занятии лабораторного практикума. Выполнение лабораторных работ предполагает значительную самостоятельную работу как на этапе предварительной подготовки к работе, так и при выполнении работы, оформлении отчета и подготовки к «защите» работы.

2.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы

Подготовка к лабораторной работе осуществляется студентом *до аудиторных занятий*, в часы, отведенные на самостоятельную работу (см. пункт 3.3).

Студент обязан приходить на занятие подготовленным. Наличие «заготовки» к лабораторной работе является обязательным условием допуска студента к выполнению лабораторной работы.

Студенты, не имеющие подготовки, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

2.2 Выполнение лабораторной работы в лаборатории

На выполнение каждой лабораторной работы отводится 2 часа аудиторного времени, в это время включается: получение допуска к работе, выполнение необходимых измерений и «защита» работы выполненной на предыдущем занятии.

Перед выполнением работы преподаватель проверяет степень подготовленности каждого студента. Для этого студент должен предоставить «заготовку» отчета в индивидуальном лабораторном журнале ответить на следующие вопросы:

- Какова цель экспериментальной задачи? Каковы основы теории изучаемого явления, основные понятия и формулы?
- Каков принцип работы экспериментальной установки? Перечислите основные этапы эксперимента.

Получив допуск к выполнению лабораторной работы, студент должен ознакомиться с измерительными приборами, используемыми в процессе выполнения работы, получить у лаборанта необходимое дополнительное оборудование, подготовить оборудование к проведению эксперимента согласно методическому руководству. После чего предъявить подготовленное к работе оборудование для проверки лаборанту или преподавателю. Только после получения разрешения от преподавателя или лаборанта можно приступать к выполнению измерений.

При выполнении работы следует соблюдать правила техники безопасности, обращаться с приборами и оборудованием следует бережно и аккуратно, применять приборы только в соответствии с их назначением.

Выполнив все измерения, выключить установку, предъявить преподавателю результаты измерений для проверки. Если при записи результатов или в ходе эксперимента была допущена ошибка, опыт повторяется вновь. Если результаты удовлетворительны, преподавателем делается отметка о выполнении студентом лабораторной работы (ставится подпись и дата в отчете студента).

Отчеты без подписи преподавателя в дальнейшем к «защите» не принимаются.

После подписи результатов преподавателем, студенту необходимо привести лабораторную установку в исходное состояние, сдать лаборанту выданное дополнительное оборудование и привести в порядок рабочее место.

2.3 Оформление отчета и подготовка к «защите» лабораторной работы

Оформление отчета и подготовка к «защите» лабораторной работы осуществляется студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу (см. пункт 2.3).

После оформления отчета студент готовится к «защите» лабораторной работы, изучая теоретические основы данной темы, ориентируясь на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях. Для получения зачета по лабораторной работе студент представляет преподавателю оформленный отчет со всеми необходимыми расчетами и «защищает» его в ходе последующего собеседования.

2.4 Наименование предлагаемых к выполнению лабораторных работ и методические указания к ним

Модуль 1. «Основы материаловедения»

1. Изучение устройства металлографического микроскопа. Приготовление микрошлифов
2. Процесс кристаллизации
3. Изучение структурных составляющих двойных сплавов
4. Изучение структурных составляющих диаграммы железо-углерод
5. Изучение микроструктуры сталей в равновесном состоянии
6. Изучение микроструктуры чугунов
7. Определение твердости металлов по методу Бринелля
8. Определение твердости по методу Роквелла
9. Расшифровка марок сталей

Методические указания по выполнению выше перечисленных лабораторных работ представлены в пособии *Материаловедение [Электронный ресурс]: практикум* / В. В. Нешименко; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 85 с. . – Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7708.pdf

Модуль 2. «Основы инженерных знаний»

1. Изучение нормативно-технической документации, используемой при проектировании технических изделий.
2. Изображение разъёмных соединений. Соединение болтом, винтом, шпилькой, шпонкой.
3. Неразъёмные соединения. Понятие сборочного чертежа, чертежа общего вида. Спецификация.
4. Изображение зубчатых колёс, зубчатых соединений, пружин.
5. Составление кинематических схем различных механизмов.

Инженерная графика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие. Ч. 1 / Л. А. Ковалева, Е. А. Гаврилюк. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2011. - 76 с. - Б. ц. – Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4574.pdf

Инженерная графика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие. Ч. 2 / Л. А. Ковалева, Е. А. Гаврилюк. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 84 с. - Б. ц. – Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/3627.pdf

В пособии каждая работа содержит теоретический материал, методику эксперимента, указания по выполнению эксперимента и обработке результатов измерений, контрольные вопросы, а также список рекомендуемой учебной литературы.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей.

Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

Для успешной самостоятельной работы студент должен планировать свое время и за основу рекомендуется брать рабочую программу учебной дисциплины.

При организации самостоятельной работы следует взять за правило:

- учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно;
- чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3–5 часов ежедневно;
- начиная работу, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе, и напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференциальный характер, учитывать специфику специальности, изучаемой дисциплины, индивидуальные особенности студента.

3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки по всем типам занятий является работа с литературой. Умение работать с литературой озна-

чает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины.

Для изучения дисциплины вся рекомендуемая литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы дисциплины.

К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Поскольку в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражения новые документы, события, явления, научные открытия последних лет, то рекомендуется для более углубленного изучения программного материала дополнительная литература.

Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения.

Однако при использовании интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации:

- необходимо критически относиться к информации;
- следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть;
- необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

3.3 Подготовка к лабораторным работам

Подготовка к лабораторным работам осуществляется студентом во внеаудиторное время в часы, отведенные на самостоятельную работу. Подготовка требует немалого времени, поэтому целесообразно планировать ее заранее за несколько дней до занятия и целесообразно проводить в следующей последовательности.

1. Внимательно ознакомьтесь с описанием соответствующей лабораторной работы руководствуясь методическими указаниями к выполнению лабораторной работе, уясните цель и задачи эксперимента.

2. Используя конспект лекций и рекомендованную в описании лабораторной работы учебную литературу, изучите теоретические вопросы, относящиеся к лабораторному эксперименту. Выясните теоретические положения, знание которых необходимо для выполнения работы и понимания полученных результатов.

3. Изучите принципиальную схему лабораторной установки, приведенную в описании работы. Ознакомьтесь с применяемым оборудованием, контрольно-измерительными приборами, принципом их действия, правилами эксплуатации.

4. Ознакомьтесь с порядком выполнения работы, усвойте методику измерения физических величин в лабораторном эксперименте, последовательность операций и форму представления полученных результатов.

5. В индивидуальном лабораторном журнале подготовьте «заготовку отчета», который должен быть отражением работы по систематизации приобретенных знаний, опорным планом для проведения эксперимента.

«Заготовку отчета» рекомендуется выполнять по следующей схеме:

- номер, название и цель работы;
- оборудование, приборы и материалы, применяемые в процессе измерений;
- краткий конспект теоретических положений по теме исследования – анализ физических основ метода и описание методики эксперимента, который включает:
 - физическое явление, изучаемое в работе, связь между величинами, его описывающими;
 - объект исследования, его особенности;
 - физическое явление, положенное в основу метода измерений;
 - зависимость, которая может быть экспериментально проверена;
 - условия, позволяющие осуществить такую проверку;
 - и поясняющие теоретический материал рисунки;
- принципиальная схема установки;
- описание метода измерения;
- заготовки таблиц, в которых будут представлены результаты измерений и расчетов (примеры таблиц даются в методическом указании к работе).

6. Проверьте степень подготовленности к лабораторному занятию по контрольным вопросам, приводимым в описании работы.

Окончательное оформление работы, обработка результатов эксперимента и подготовка к защите по контрольным вопросам проводится студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу.

К следующему (после выполнения очередной лабораторной работы) занятию каждый студент должен представить окончательный отчет о выполненной лабораторной работе, в который входит «заготовка отчета» дополненная следующими пунктами:

- результаты измерений и вычислений в виде таблиц (или ином виде, согласно методическим рекомендациям к данной лабораторной работе);

- расчетные формулы, по которым производились вычисления с примером вычисления по каждой формуле, что позволяет при необходимости быстро проверить правильность расчета;
- систематизированные результаты эксперимента – схемы, графики, диаграммы и т.п., в соответствии с заданием на лабораторную работу и требованиям, предъявляемым к их оформлению;
- оценка надежности и достоверности результатов (примеры вычислений величин, измеряемых косвенно, и погрешностей для прямых и косвенных измерений);
- основные выводы по результатам работы, вытекающие из экспериментальных данных или на основании сравнения полученных результатов с теоретическими данными, если это возможно с объяснением расхождения.

3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций.

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.
2. Внимательно прочитайте текст.
3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.
4. Выделите главное, составьте план.
5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.
6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю

Подготовка к тестированию. В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

Цель тестирований в ходе учебного процесса студентов состоит не только в систематическом контроле знаний, но и способствует повышению эффективности обучения учащихся, позволяет выявить уровень усвоения теоретического материала, выявить уровень практических умений и аналитических способностей студентов. А на основе этого идет коррекция процесса обучения и планируются последующие этапы учебного процесса.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содержанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятными), следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

- прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;
- лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;

- очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытайтесь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;

- если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;

- думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;

- многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;

- рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

- процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

Подготовка к промежуточной аттестации. Формой промежуточной аттестации (контроля) является экзамен. Экзамен может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Экзамен – форма проверки полученных теоретических и практических знаний, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения синтезировать полученные знания.

Основная цель подготовки к экзамену – достичь понимания законов и явлений, а не только механически заучить материал.

Подготовка к устной сдаче экзамена включает в себя несколько основных этапов:

– просмотр программы учебного курса;

– определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;

– использование конспектов лекций;

– консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену начинается с первого занятия по дисциплине, на котором студенты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена. В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.

3. За несколько дней перед экзаменом распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.

4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию.

5. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.

6. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.

7. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и количественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.].– Москва: Изд-во РГТУ, 2013.– 125 с. – Режим доступа:

<https://www.rsuh.ru/upload/iblock/c70/c70c10002f5932ab48798aae10f5a351.do>

2 Лызь, Н.А. Тенденции развития высшего образования [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Н.А Лызь, А.Е. Лызь. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 48 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/2332317/>

3 Солнцев Ю.П. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. — 783 с. — 978-5-93808-294-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67345.html>

4 Солнцев Ю.П. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, В.Ю. Пирайнен. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : ХИМИЗДАТ, 2017. — 504 с. — 978-5-93808-298-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67356.html>

5 Науменко В.С. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Науменко, Т.В. Тришина, В.Г. Козлов. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2017. — 308 с. — 978-5-7267-0958-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72768.html>

6 Начертательная геометрия [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.Н. Потапова [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. — 135 с. — 978-5-89289-837-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61269.html>

7 Дрозд М.И. Основы материаловедения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дрозд М.И.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2011.— 431 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20107>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю

8 Савенков М.В. Начертательная геометрия и инженерная графика. Часть 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.В. Савенков, С.А. Гришин, Н.Н. Зеленова. — Электрон. текстовые данные. — Ростов-на-Дону: Институт водного транспорта имени Г.Я. Седова – филиал «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 2016. — 105 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57351.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Краткий конспект лекций	4
1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции	4
1.2 Краткое содержание курса лекций	6
2 Методические рекомендации к лабораторным работам	321
2.1 Подготовка к выполнению лабораторной работы	321
2.2 Выполнение лабораторной работы в лаборатории	321
2.3 Оформление отчета и подготовка к «защите» лабораторной работы	322
2.4 Наименование предлагаемых к выполнению лабораторных работ и методические указания к ним	322
3 Методические рекомендации к самостоятельной работе	325
3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы	325
3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением	325
3.3 Подготовка к лабораторным работам	327
3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем	329
3.4 Подготовка к текущему и промежуточному контролю	329
Библиографический список	333

Нещименко Виталий Владимирович,
доцент кафедры Физики АмГУ, доктор физ.-мат. наук