

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Н.М. РОМАНЧЕНКО

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Рекомендовано научно-методическим советом Федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»
для межвузовского использования
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по специальности 5.40.05.03 «Судебная экспертиза»
(специализация «Инженерно – технические экспертизы»)*

Красноярск 2018

ББК 34.1
Р 53

Рецензенты:

Ф.М. Носков, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и технологий обработки материалов Политехнического института Сибирского федерального университета

А.А. Климов, канд. техн. наук, доцент Красноярского института железнодорожного транспорта (Ир ГУПС)

Р 53 Романченко Н.М. Материалы и технологии в машиностроении: учеб. пособие / Н.М. Романченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 364 с.

Учебное пособие содержит основные теоретические сведения и методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Материалы и технологии в машиностроении». Для проверки полученных знаний предложены контрольные тестовые задания.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 5.40.05.03 «Судебная экспертиза» (специализация «Инженерно – технические экспертизы»).

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Материалы и технологии в машиностроении» студентами, обучающимися по специальности 5.40.05.03 «Судебная экспертиза» (специализация «Инженерно – технические экспертизы») юридического института Красноярского государственного аграрного университета.

Дисциплина «Материалы и технологии в машиностроении» является дисциплиной по выбору вариативной части программы специалитета и входит в общую профессиональную образовательную программу (ОПОП) по направлению 5.40.05.03 для подготовки специалистов в области судебно-экспертной деятельности.

Дисциплина нацелена на формирование профессионально-специализированных компетенций выпускника, а именно:

- способность применять методики инженерно-технических экспертиз и исследований в профессиональной деятельности;
- способность оказывать методическую помощь субъектам правоприменительной деятельности по вопросам назначения и производства инженерно-технических экспертиз и современным возможностям использования инженерно-технических знаний в судопроизводстве.

Материаловедение и технология материалов является наукой о строении, свойствах и технологии создания материалов. Эта область знаний относится к числу основополагающих инженерных дисциплин, поскольку изготовление традиционных и разработка новых материалов, изучение их свойств и способы их обработки являются основой современного производства.

Достаточный уровень знаний в области материаловедения и технологии материалов является важным показателем образованности специалистов в области судебно-экспертной деятельности.

Цель изучения курса – дать теоретические знания по строению материалов, их свойствам и технологии изготовления, а также выработать практические навыки использования данных материаловедения в технических и экспертных задачах.

В результате изучения курса слушатель должен

знать: современные возможности судебных инженерно-технических экспертиз, методов и методик их производства; особенности использования специальных инженерно-технических знаний в

целях получения розыскной и доказательственной информации при производстве процессуальных действий.

уметь: проводить судебные инженерно-технические экспертизы и исследования с использованием современных экспертных технологий; применять при участии в процессуальных и непроцессуальных действиях инженерно-технические методы и средства поиска, обнаружения, фиксации, изъятия и предварительного исследования материальных объектов;

владеть навыками применения инженерно-технических методов и средств, а также методиками решения простых и сложных, прямых и обратных диагностических задач при производстве судебных инженерно-технических экспертиз и исследований.

В предлагаемом учебном пособии представлен основной теоретический материал и практические работы по дисциплине «Материалы и технологии в машиностроении».

Практические работы предусматривают закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и при чтении специальной литературы, знакомство с оборудованием и материалами, приобретение практических навыков при проведении макроскопического, микроскопического, термического анализа, термической обработки и определении механических свойств металлов и сплавов.

При изучении основ технологии конструкционных материалов студенты знакомятся с оборудованием и материалами, применяемыми в металлургии, литейном, сварочном производствах, обработке металлов давлением, а также приобретают навыки обработки и оформления полученных данных.

Для проверки полученных знаний по каждой из глав предложены контрольные вопросы и образцы тестовых заданий для текущего контроля по всем разделам дисциплины.

ГЛАВА I. ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

ТЕМА 1. СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства материалов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами.

Основными конструкционными материалами в машиностроении являются металлы.

Что такое металл?

В *технике* под металлом понимают вещества, обладающие «металлическим» блеском, в той или иной мере присущим всем металлам, и пластичностью. По этому признаку металлы можно легко отличить от неметаллов – например, дерева, камня и др.

Кроме металлического блеска и пластичности все металлы обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью.

Теория металлического состояния рассматривает металл как вещество, состоящее из положительно заряженных ионов, окруженных отрицательно заряженными частицами – электронами, слабо связанными с ядром. Эти электроны непрерывно перемещаются внутри металла и принадлежат не одному какому-то атому, а всей совокупности атомов.

Таким образом, характерной особенностью атомно-кристаллического строения металлов является наличие электронного газа внутри металла, слабо связанного с положительно заряженными ионами. Легкое перемещение этих электронов внутри металла и малая их связь с атомами обуславливают наличие у металлов определенных металлических свойств (высокая электро- и теплопроводность, пластичность и др.).

По некоторым общим признакам металлы объединяют в группы.

Прежде всего, все металлы можно разделить на две большие группы – черные и цветные металлы.

Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочноземельных) высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладают полиморфизмом.

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, полиморфизм встречается редко.

Черные металлы подразделяются:

Железные металлы – Fe, Co Ni, Mn.

Co Ni, Mn часто применяют как добавки к сплавам железа, а также как основу для соответствующих сплавов.

Тугоплавкие металлы, температура плавления которых выше, чем у Fe (т.е. выше, чем 1539 °С).

Урановые металлы – актиниды, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики.

Редкоземельные металл (РЗМ) – лантан (La), церий (Ce) и сходные с ними по свойствам иттрий (Y) и скандий (Sc). Их применяют как присадки к сплавам других элементов.

Щелочноземельные металлы (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Ca, Sr, Ba, Ra) в свободном металлическом состоянии не применяются, за исключением специальных случаев.

Цветные металлы подразделяются на:

1. *Легкие металлы* – Be, Mg, Al, обладающие малой плотностью.

2. *Благородные металлы* – Ag, Au, металлы платиновой группы.

К ним может быть отнесена и «полублагородная» медь. Обладают высокой коррозионной стойкостью.

3. *Легкоплавкие металлы* – Zn, Cd, Hg, Sn, Bi, Tl, Sb, Ga, Ge, Pb.

1.2. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Всякое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. В чем различие?

В *газах* нет закономерности расположения частиц (атомов, молекул); частицы хаотически двигаются, отталкиваются одна от другой, и газ стремится занять возможно большой объем.

В *твердых* телах порядок расположения атомов определенный, закономерный, силы взаимного притяжения и отталкивания уравновешены, и твердое тело сохраняет свою форму.

В *жидкости* частицы сохраняют лишь так называемый ближний порядок, то есть в пространстве закономерно расположено небольшое количество атомов, а не атомы всего объема, как в твердом теле.

Ближний порядок неустойчив, он то возникает, то исчезает под действием тепловых колебаний.

Правильное, закономерное расположение частиц атомов, молекул в пространстве характеризует *кристаллическое состояние*.

Кристаллическое строение можно представить себе в виде *пространственной кристаллической решетки*, в узлах которой расположены атомы.

Расположение атомов в кристалле удобно изображать в виде так называемых *элементарных кристаллических ячеек*. Под ними подразумевается наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решетку.

Большинство металлов имеют простые кристаллические решетки: объемно-центрированную кубическую, гранецентрированную кубическую или гексагональную (рис. 1).

Взаимное расположение атомов в пространстве и величину межуатомных расстояний определяют рентгеноструктурным анализом.

Простейшим типом кристаллической ячейки является кубическая решетка. В простой кубической решетке атомы расположены (упакованы) достаточно плотно.

Стремление атомов занять места, наиболее близкие друг к другу, приводит к образованию решеток других типов: кубической объемно-центрированной, кубической гранецентрированной, гексагональной плотноупакованной.

Кружки, изображающие атомы, располагаются в центре куба и по его вершинам (куб объемно-центрированный), или в центрах граней и по вершинам куба (куб гранецентрированный), или в виде шестигранника, внутрь которого наполовину вставлен также шестигранник, три атома верхней плоскости которого находятся внутри шестигранной призмы (гексагональная решетка).

Большинство металлов имеет именно такие упаковки ион-атомов: гранецентрированную – Al, Cu, Pb, Ni, Au, Ag и др.; гексагональную – Mg, Cd, Zn, Be и др. У многих металлов объемно-центрированная упаковка – здесь условными шарами заполнено 68 % объема – Li, Cr, V, Mo, W и др.

Размеры кристаллической решетки характеризуются *параметрами или периодами решетки*, которые измеряются в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$). Кубическую решетку определяет один параметр – длина

ребра куба a (например, у хрома $a = 2,9 \text{ \AA}$, у алюминия $a = 4,04 \text{ \AA}$), а гексагональную – a и c .

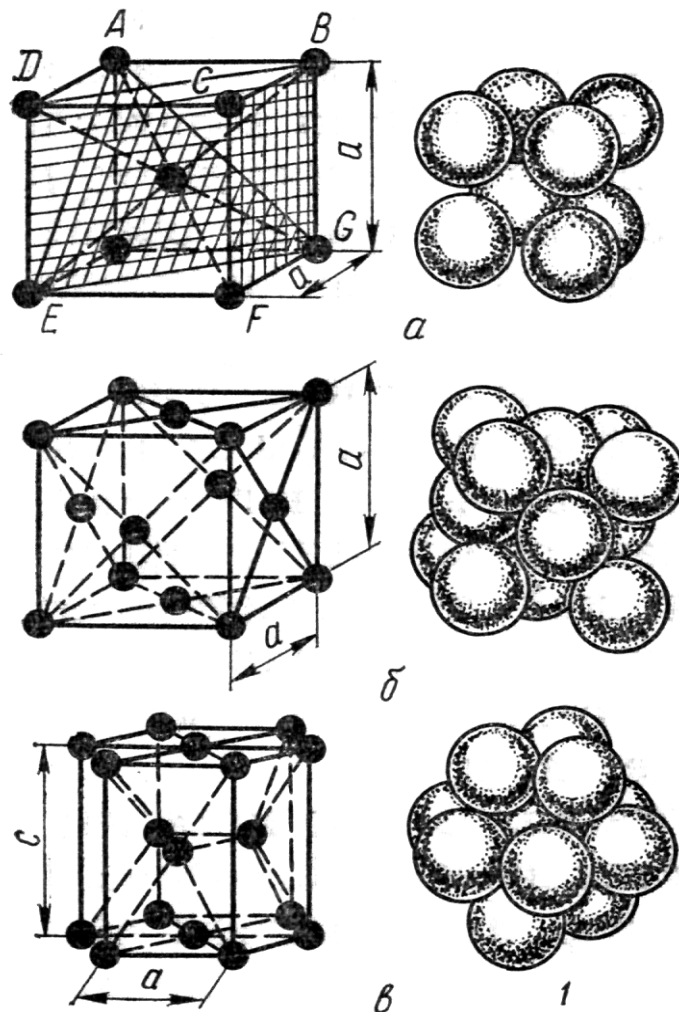


Рис. 1. Элементарные кристаллические решетки металлов:
 а) объемно-центрированный куб; б) гранецентрированный куб;
 в) гексагональная

В гексагональной решетке, если три атома внутри решетки касаются атомов, расположенных на верхних и нижних плоскостях, то имеем плотноупакованную гексагональную решетку. Размеры гексагональной плотноупакованной решетки имеют постоянное значение $c/a = 1,633$. При иных значениях c/a получается не плотноупакованная гексагональная решетка.

Некоторые металлы имеют тетрагональную решетку, она характеризуется тем, что ребро c не равно ребру a . Отношение этих параметров характеризует так называемую степень тетрагональности. При

$c/a = 1$ получается кубическая решетка. Тетрагональная решетка (как и кубическая) может быть простой, объемно-центрированной и гранецентрированной.

Существенное значение для свойств данного металла или сплава имеет число атомов, находящихся во взаимном контакте. Это определяется числом атомов, равностоящих на ближайшем расстоянии от любого атома.

Число атомов, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от данного атома, называется координационным числом. Так, например, атом в простой кубической решетке имеет шесть ближайших равностоящих соседей, то есть координационное число этой решетки равно 6.

Кристаллы металлов обычно имеют небольшие размеры. Поэтому реальное металлическое изделие состоит из очень большого числа кристаллов.

Подобное строение называется поликристаллическим. По ряду причин отдельные кристаллы не имеют возможности принять правильную форму. *Кристаллы неправильной формы в поликристаллическом агрегате называются зернами или кристаллитами.*

Различие отдельных зерен состоит в различной пространственной ориентации кристаллической решетки, случайной ориентации.

При очень медленном отводе тепла при кристаллизации, а также с помощью других специальных способов может быть получен кусок металла, представляющий собой один кристалл, так называемый *монокристалл*. Монокристаллы используются в полупроводниковой промышленности.

Итак, рассмотрим встречающиеся несовершенства кристаллического строения или, то же самое, строение реальных кристаллов.

В чем же физическая причина возникновения дефектов в кристаллической решетке металла?

Находящиеся в узлах решетки ион-атомы не остаются неподвижными. Они колеблются с тем большей амплитудой, чем выше температура. При ее повышении увеличивается средняя энергия большинства ион-атомов, причем в результате их взаимодействия друг с другом отдельные из них приобретают столь большую энергию, что могут покинуть положение равновесия. После этого они или странствуют внутри кристаллической решетки, или испаряются с поверхности металла в окружающее пространство. Блуждающие в решетке ион-атомы называют дислоцированными (дислокация по-

английски значит смещение, сдвиг), а пустое место, откуда ушел ион-атом – вакансией, или «дыркой». В узлах решетки либо между узлами могут находиться и примесные атомы.

Описанные дефекты кристаллических решеток называются *точечными* (рис. 2).

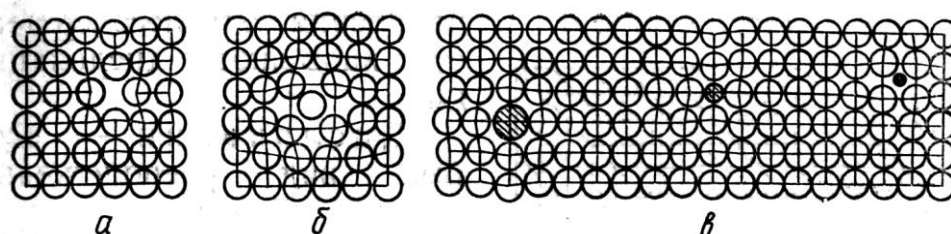


Рис. 2. Точечные дефекты в кристаллической решетке:
а – вакансия; б – дислоцированный атом;
в – примесные атомы замещения или внедрения

Другим важнейшим видом несовершенства кристаллического строения являются *линейные дефекты* или так называемые *дислокации*.

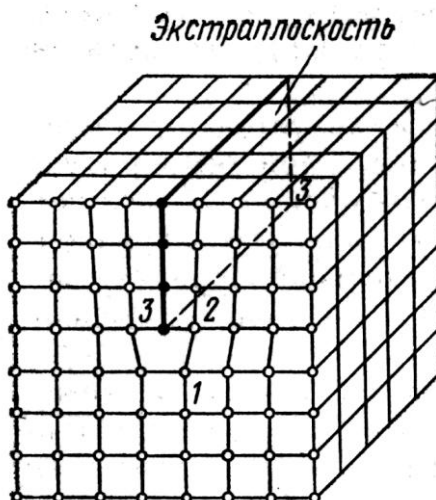


Рис. 3. Схема возникновения дислокации

Так что же такое дислокация? Это особый вид расположения атомов. Иногда в реальных кристаллах появляется лишняя полуплоскость атомов, называемая *экстраплоскостью*. Край этой плоскости 3-3 образует дефект решетки, который называется *линейной (краевой) дислокацией* (рис. 3).

Краевая дислокация может простираться в длину на многие тысячи параметров решетки, может быть прямой, может выгибаться в ту

или иную сторону, в пределе она может закручиваться в спираль, образуя *винтовую дислокацию*.

Около дислокации возникают другие искажения решетки, поэтому атом 3 может смещаться вправо (влево) и устанавливать связь с атомом 1. В этом случае соседняя полуплоскость переходит в промежуточное положение и превращается в экстраплоскость, образуя дислокацию вдоль краевых атомов 2. Такое перемещение дислокаций может продолжаться дальше вдоль некоторой плоскости, расположенной перпендикулярно к экстраплоскости.

В результате несовершенств кристаллической решетки зерно разделяется на фрагменты, разориентированные между собой на несколько градусов. В свою очередь, фрагмент содержит большое количество блоков. Такая структура называется *блочной, мозаичной*.

Состояние границ зерен, размер фрагментов и блоков, несовершенства кристаллической решетки оказывает влияние на свойства металлов.

1.3. АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ

Рассматривая различные плоскости в о.ц.к. решетке (рис. 1а) – АЕГ, ВДЕГ, ВСФГ, можно легко заключить, что они заполнены атомами с различной плотностью.

Вследствие неодинаковой плотности атомов в различных плоскостях и направлениях решетки, многие свойства (химические, физические, механические) каждого кристалла зависят от направления испытания. Подобная неодинаковость свойств монокристаллов в разных кристаллографических направлениях называется *анизотропией*.

Кристалл – тело анизотропное в отличие от аморфных тел (стекло, пластмассы и др.), свойства которых не зависят от направления испытания.

Технические металлы являются *поликристаллами*, то есть состоят из большого количества анизотропных кристаллитов. В большинстве случаев кристаллы статистически неупорядоченно ориентированы один по отношению к другому, поэтому во всех направлениях свойства более или менее одинаковы, то есть поликристаллическое тело является *псевдоизотропным*. Такая мнимая изотропность металла не будет наблюдаться, если кристаллы имеют одинаковую преимущественную ориентировку в каких-то направлениях. Эта ориентированность или текстура создается в известной степени, но не полностью, например, в результате значительной холодной деформации.

В этом случае поликристаллический металл приобретает анизотропию свойств.

1.4. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Существует много разнообразных способов, при помощи которых изучают кристаллическое строение металлов. Они могут быть разделены на два вида: к первому относятся методы изучения внутреннего строения металлов, ко второму – методы изучения внешних форм кристаллов.

Внутреннее строение кристаллов, то есть расположение атомов в кристаллической решетке, изучают посредством *рентгеноструктурного анализа*, использующего рентгеновские лучи.

Рентгеновские лучи представляют собой электромагнитные волны весьма малой длины ($2 \dots 0,005 \text{ \AA}$).

Вследствие малой длины волны рентгеновские лучи не отражаются на поверхности, а проникают внутрь вещества. Под действием электромагнитного поля этих лучей электроны атомов приводятся в колебательное движение. Колеблющиеся электроны являются источником электромагнитных волн, так называемых рассеянных лучей; распространяющихся во все стороны. Можно считать, что эти волны исходят из центра атома. Вследствие правильного расположения атомов в кристалле рассеянные лучи взаимодействуют между собой: в одних направлениях усиливают друг друга, в других – гасят. Если по направлению потока этих лучей расположить фотопластинку, то в направлениях усиления лучей возникнут пятна или кольца. Полученная рентгенограмма представляет собой интерференционную картину, которую можно истолковать как результат интерференции лучей, отраженных от отдельных параллельных атомных плоскостей. На этом основании определяются расстояние между атомами, а также и характер расположения атомов в пространстве (то есть тип кристаллической решетки и ее параметр).

Размеры, форму и взаимное расположение кристаллов изучают *металлографическими методами*.

Так как все металлы – вещества непрозрачные (для видимого света), то форму кристаллов, а также их размер и взаимное расположение изучают на специально изготавливаемых микрошлифах. В этом случае делают разрез металла в плоскости, интересующей исследователя. Затем полученную плоскость шлифуют и полируют до зеркального состояния. Чтобы выявить структуру, следует создать

рельеф или окрасить в разные цвета структурные составляющие, что достигается обычно химическим травлением. При травлении кислота, в первую очередь, воздействует на границы зерна как места, имеющие наиболее дефектное строение, которые в травленном шлифе станут углублениями; свет, падая на них, будет рассеиваться, и в поле зрения микроскопа они будут казаться темными, а тело зерна – светлым.

Для рассмотрения микрошлифов при исследовании микроструктуры металлов применяют специальные микроскопы, в которых луч от источника света, отражаясь от шлифа, проходит через объектив и окуляр, давая соответствующее увеличение (обычный, металлографический микроскоп, работающий на видимом свете, 1000...1500 раз; электронный микроскоп, работающий на пучке электрона, 15000...20000 раз).

Структура металла, полученная при увеличении на микроскопе, называется *микроструктурой* (зерна, границы зерен). Иногда требуется рассмотреть наиболее грубые детали структуры – конгломераты отдельных более или менее однородных зерен и т.д. В этом случае после глубокого травления шлиф рассматривается глазом или при помощи лупы. Выявленная таким образом структура называется *макроструктурой* (а шлиф – макрошлифом).

ТЕМА 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

2.1. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Металлы и сплавы характеризуются механическими, физическими, химическими и технологическими свойствами. Они определяют соответствие выбранного материала расчетным нагрузкам при проектировании и обеспечивают надежность и долговечность машины в эксплуатации.

Механические свойства. К механическим свойствам относятся: прочность, пластичность, твердость, вязкость, выносливость, ползучесть и др.

Внешняя нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию.

Напряжение – это нагрузка P (H), отнесенная к единице начальной площади поперечного сечения F_0 (m^2) образца (H/m^2)

$$\sigma = P / F_0 \quad (1)$$

Деформация – изменение формы и размеров тела под действием приложенной нагрузки или в результате физико-механических процессов, возникающих в самом теле. Деформация может быть *упругая*, исчезающая после снятия нагрузки, и *пластическая*, остающаяся после снятия нагрузки.

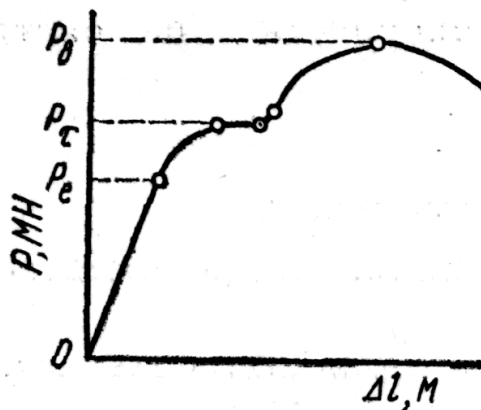


Рис. 4. Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали

Упругая деформация при увеличении нагрузки переходит в пластическую; при дальнейшем повышении нагрузки происходит разрушение тела.

Большинство характеристик прочности определяют статическими испытаниями образцов на растяжение. Для этого стандартный образец испытываемого материала разрушают на разрывной машине.

Результаты испытаний представляют диаграммой нагрузка–деформация, которая изображена на рисунке 4. По оси ординат отложена нагрузка, а по оси абсцисс – абсолютное удлинение.

Упругая деформация на диаграмме характеризуется прямой линией OP_e . На этом участке наблюдается пропорциональность между удлинением и нагрузкой. Условное напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой малой величины, называется пределом упругости:

$$\sigma_{уп} = P_e / F_0. \quad (2)$$

Выше точки P_e нарушается пропорциональность между напряжением и деформацией. Наряду с упругими деформациями в металле возникают пластические деформации. В пределах горизонтального участка (площадка текучести) удлинение происходит при постоянной нагрузке. Минимальное напряжение, при котором начинается текучесть, называется пределом текучести:

$$\sigma_{\tau} = P_{\tau} / F_0. \quad (3)$$

Материал течет некоторое время, затем снова обретает сопротивление деформации и нагрузка возрастает. При достижении максимального значения нагрузки деформация сосредоточивается на участке, близком к середине образца. Здесь он удлиняется, одновременно площадь поперечного сечения уменьшается, нагрузка падает и образец разрушается. Напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется пределом прочности при растяжении:

$$\sigma_{\sigma} = P_{\sigma} / F_0, \quad (4)$$

где P_{σ} – наибольшая нагрузка перед разрушением, Н.

Прочность – способность материала сопротивляться деформации или разрушению.

Пластичность – способность металла получать остаточную деформацию без разрушения. Характеризуют пластичность относительным удлинением δ и относительным сужением ψ образца при разрыве:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \cdot 100, [\%]; \quad (5)$$

$$\psi = (F_0 - F_k) / F_0 \cdot 100, [\%], \quad (6)$$

где l_0 – начальная длина образца, м;

l_k – конечная длина образца после разрыва, м;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения на участке сужения при разрыве, м²;

F_k – конечная площадь поперечного сечения на участке сужения при разрыве, м².

Твердость – способность материала сопротивляться пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое. Наибольшее применение получили методы определения твердости твердомерами ТШ (прибор Бринелля), ТК (прибор Роквелла), ТП (прибор Виккерса).

Методом Бринелля твердость определяют статическим вдавливанием в испытываемую поверхность под нагрузкой P (Н) стального закаленного шарика диаметром D , м.

Методом Роквелла твердость определяют вдавливанием в испытываемый образец специального наконечника (алмазного конуса или стального шарика). Значение твердости определяют по глубине остаточной деформации вдавливания и измеряют в условных единицах. В зависимости от нагрузки и типа наконечника твердость обозначают по шкале А, В, С, например HRC 45, HRA 30 и т. д.

2.2. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

Практически все металлы обладают высокой пластичностью. *Пластичность* – это способность материала под воздействием внешних сил деформироваться без разрушения и сохранять принятую форму после снятия нагрузки.

Внешние силы, приложенные к телу, вызывают в металле внутренние напряжения: *нормальные* (сжатия или растяжения) и *касательные* (сдвиговые). Под действием силы P (рис. 5) в сечении $a-b$ (площадь F_0) возникают максимальные растягивающие напряжения $\sigma_0 = P / F_0$. В любом сечении $c-d$, проведенном под углом α к сечению $a-b$, действуют нормальные напряжения $\sigma_n = \sigma_0 \cdot \cos^2 \alpha$ и касательные напряжения $\sigma_\tau = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin 2\alpha$. Наибольшие нормальные напряжения возникают при $\alpha = 0^\circ$, а касательные при $\alpha = 45^\circ$.

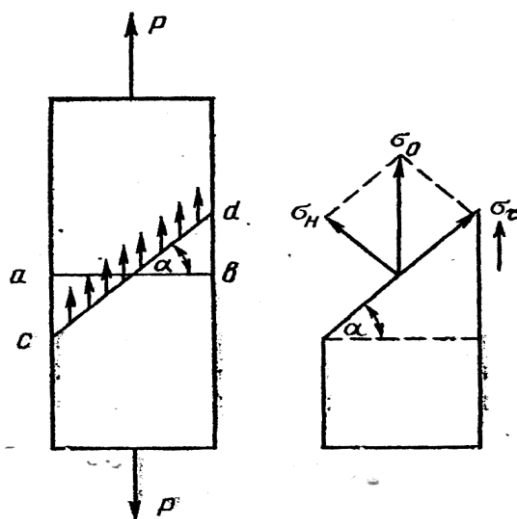


Рис. 5. Схема растягивающих напряжений в стержне

Различают деформацию *упругую* (обратимую) и *пластическую* (необратимую). При упругой деформации смещение атомов с мест устойчивого равновесия не превышает расстояния между соседними атомами кристаллической решетки. После снятия нагрузки атомы возвращаются в исходное положение, и форма тела полностью восстанавливается.

При пластической деформации отклонение атомов значительно превышает межатомные расстояния, и они смещаются в новые места устойчивого равновесия. После снятия нагрузки форма тела не восстанавливается.

Нормальные напряжения сначала вызывают упругую деформацию кристаллической решетки, а затем отрыв одной ее части от другой (рис. 6, а, б, в, г).

Касательные напряжения вызывают сначала упругую деформацию, а затем сдвиг одной части относительно другой, то есть пластическую деформацию. При развитии пластической деформации может произойти разрушение путем сдвига (рис. б, д, е, ж, з).

Пластическая деформация металла изучалась на крупных кристаллических зернах – монокристаллах.

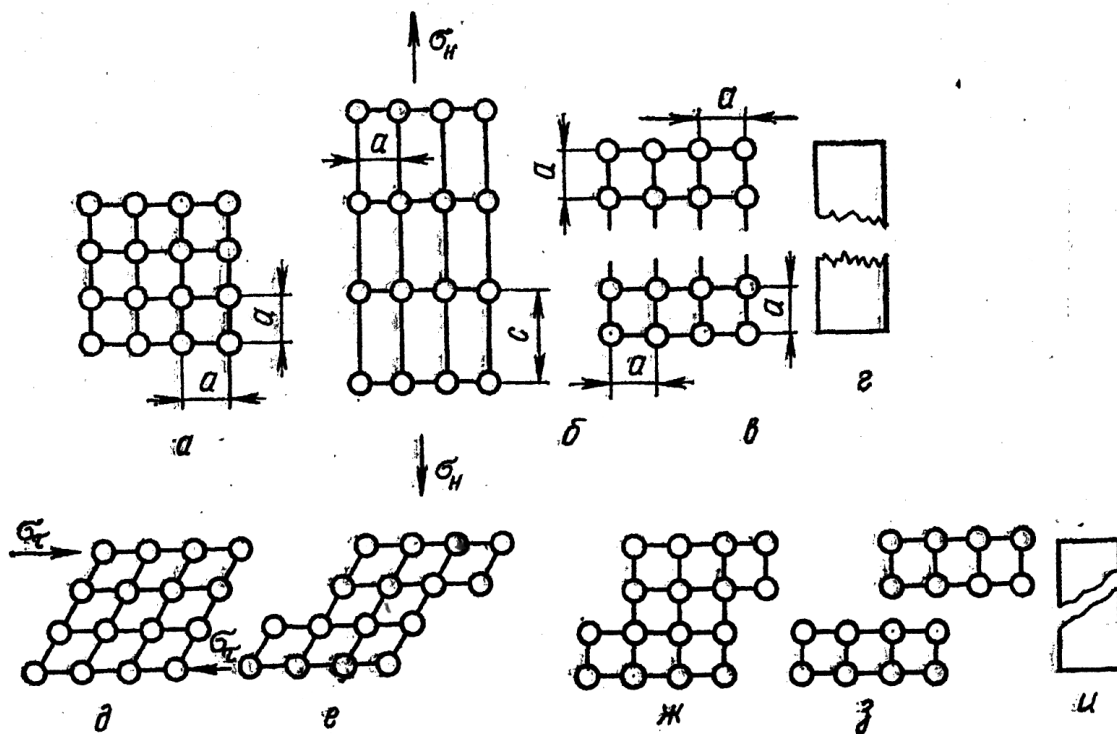


Рис. 6. Схема упругой и пластической деформации и разрушения под действием напряжений:
а – ненапряженная решетка; *б, д* – упругая деформация;
в, г – хрупкое разрушение путем отрыва;
е – упругая и пластическая деформация;
ж – пластическая деформация, напряжения сняты,
з, и – вязкое разрушение путем среза

Под действием внешних сил в кристалле происходит сдвиг по слабой плоскости, расположенной в зоне максимальных касательных напряжений. Обычно это плоскости с более плотной упаковкой атомов, их называют плоскостями сдвига или скольжения. Теоретические расчеты показывают, что для одновременного перемещения атомов на один параметр решетки в плоскости сдвига требуется значительное напряжение. Реально пластическую деформацию вызывают напряжения, которые намного меньше теоретических. Например,

для железа теоретическое напряжение сдвигу составляет 2300...11000 МПа, а реальное – 29 МПа. Расхождение между теоретическим и реальным напряжением сдвигу объясняет дислокационный механизм пластической деформации.

Величина пластической деформации определяется *степенью деформации* ε , выраженной в процентах:

$$\varepsilon = \frac{F_H - F_K}{F_H} 100, [\%] \quad (7)$$

где F_H – площадь поперечного сечения заготовки до деформации, м^2 ;

F_K – площадь поперечного сечения заготовки после деформации, м^2 .

Отношение F_H / F_K называется *уковом*.

2.3. НАКЛЕП И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

При холодной деформации изменяется форма зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла, повышаются прочность, твердость, растворимость в кислотах, коэрцитивная сила и гистерезис, а пластичность, плотность, магнитная проницаемость, электро- и теплопроводность металла снижаются.

Изменение свойств деформированного металла объясняется остаточным искажением кристаллической решетки и появлением внутренних напряжений. Упрочнение металла при пластической деформации называется *наклепом*. Наклеп повышает сопротивление металла деформированию, что приводит к увеличению необходимой мощности на обработку. Появляется потенциальная опасность образования трещин, расслоений и других дефектов при дальнейшей деформации. Наклеп может играть и положительную роль при некоторых технологических процессах (волочении, листовой штамповке и т.д.).

Искажение кристаллической решетки в процессе холодной пластической деформации вызывает появление термодинамической неустойчивости металла. Поэтому в нем должны протекать процессы, направленные на достижение более равновесного, устойчивого состояния. Переход к этому состоянию связан с уменьшением искажения кристаллической решетки, что приводит к снятию внутренних напряжений. Этот процесс возможен только при перемещении атомов. При низких температурах подвижность атомов мала. С повыше-

нием температуры развиваются процессы, приводящие металл к равновесному состоянию. При сравнительно невысокой температуре (например, для железа 100...400 °С) происходит частичное снятие внутренних напряжений и восстановление упруго искаженной кристаллической решетки. Это явление в деформированном металле называется *отдыхом* или *возвратом*. При возврате заметных изменений в микроструктуре не наблюдается, металл сохраняет волокнистое строение, однако твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает. Дальнейшее повышение температуры металла увеличивает амплитуду тепловых колебаний его атомов и скорость диффузионных процессов. В результате происходит перегруппировка атомов и появление новых, недеформированных зерен и их рост. При этом полностью исчезают искажения кристаллической решетки и внутренние напряжения.

Процесс, при котором происходит разупрочнение металла, освобождение его от искажений кристаллической решетки и внутренних напряжений, называется *рекристаллизацией*.

Различают два периода рекристаллизации – первичную и собирательную. Рекристаллизация первичная состоит в образовании зародышей и росте новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в деформированном металле и стремление вещества перейти в состояние с наименьшим запасом свободной энергии.

Собирательная рекристаллизация заключается в росте образовавшихся новых зерен за счет других (соседних). Движущей силой этого периода является изменение свободной энергии границ зерен.

По данным А.А.Бочвара, температура рекристаллизации $T_{рек}$ чистых металлов может быть определена для практических целей по формуле:

$$T_{рек} = 0,4 T_{пл}, \quad (8)$$

где $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления металла.

Обработка металлов давлением, выполняемая при температуре ниже $T_{рек}$, называется холодной, а выше – горячей.

При горячей обработке давлением в металле протекают одновременно процессы упрочнения и разупрочнения. Скорость процесса разупрочнения, вызванного рекристаллизацией, обычно превышает скорость процесса упрочнения. При этом разрушается дендритная структура металла, завариваются микропоры, газовые пузыри, и вытягиваются неметаллические включения в направлении преимущест-

венного течения металла. Это приводит к появлению волокнистой структуры. При последующей термической обработке такую структуру изменить невозможно, а повторная обработка давлением изменит лишь направление волокон. Волокнистая структура образует анизотропию механических свойств металла вдоль и поперек волокон, что необходимо учитывать при изготовлении изделий. Механические свойства при горячей обработке металлов давлением изменяются незначительно.

ТЕМА 3. ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ

3.1. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

Любое вещество, как известно, может находиться в трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом.

При переходе из жидкого состояния в твердое образуется кристаллическая решетка, возникают кристаллы. Такой процесс называется *кристаллизацией*.

В природе все самопроизвольно протекающие превращения, а следовательно кристаллизация и плавление обусловлены тем, что новое состояние в новых условиях является энергетическим более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

Поясним примером.

Тяжелый шарик из положения 1 (рис. 7) стремится попасть в более устойчивое положение 2, так как потенциальная энергия в положении 2 меньше, чем в положении 1.

Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц (атомов, молекул), характеризуется особой термодинамической функцией F , называемой свободной энергией (свободная энергия $F = U - TS$, где U – внутренняя энергия системы; T – абсолютная температура, S – энтропия).

Чем больше свободная энергия системы, тем система менее устойчива, и если имеется возможность, то система переходит в состояние, где свободная энергия меньше («подобно» шарик, который скатывается из положения 1 в положение 2, если на пути нет препятствий).

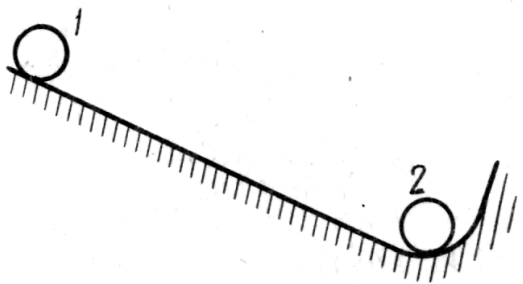


Рис. 7.

С изменением внешних условий, например температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и кристаллического состояния. Схематически характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с температурой показан на рис. 8.

Выше температуры T_s меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии. Ниже T_s – вещество в твердом состоянии. Следовательно, выше T_s вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_s – в твердом кристаллическом состоянии. При T_s свободные энергии жидкого и твердого состояний равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии. Эта температура T_s и есть *равновесная или теоретическая температура кристаллизации*.

Однако при T_s не может происходить процесс кристаллизации (плавления), так как при данной температуре $F_{ж} = F_{кр}$.

Для начала кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден и сопровождался уменьшением свободной энергии тела. Из рис. 8 видно, что это возможно только тогда, когда жидкость будет охлаждена ниже точки T_s . Температура, при которой практически начинается кристаллизация, может быть названа *фактической температурой кристаллизации*.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется *переохлаждением*.

Аналогично – обратное превращение из кристаллического состояния в жидкое может произойти только выше температуры T_s , это явление называется *перегревом*.

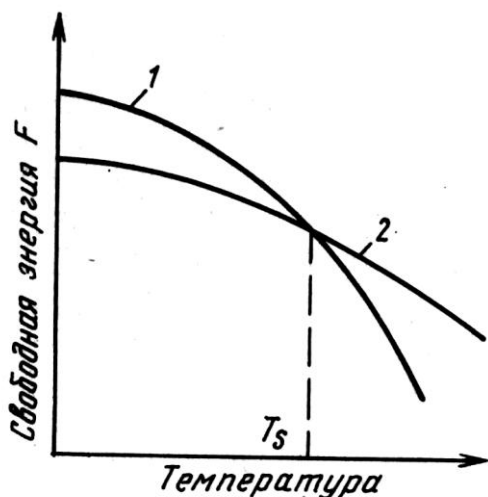


Рис. 8. Изменение свободной энергии жидкого (1) и кристаллического состояния (2) в зависимости от температуры

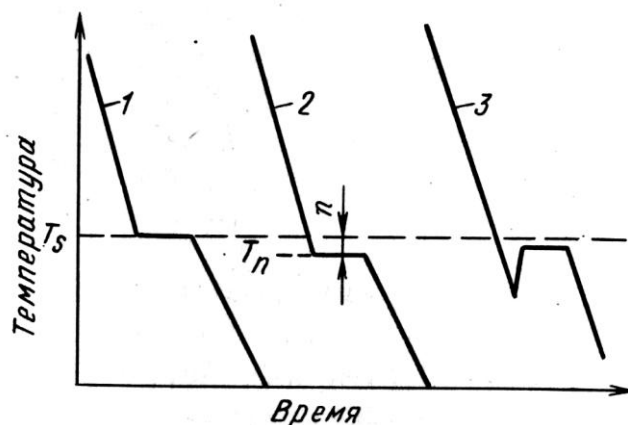


Рис. 9. Кривые охлаждения при кристаллизации

Величиной или *степенью переохлаждения* называют разность между теоретической и фактической температурой кристаллизации.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура (рис. 9).

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния.

При достижении температуры кристаллизации на кривой температура - время появляется горизонтальная площадка (кривая 1, рис. 9), так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой кристаллизации. По окончании кристаллизации, то есть после полного перехода в твердое состояние, температура снова начинает снижаться, твердое кристаллическое вещество охлаждается. Теоретически процесс кристаллизации изображается кривой 1. Кривая 2 показывает реальный процесс кристаллизации (n – степень переохлаждения). Только при охлаждении ниже температуры T_s создаются энергетические условия, необходимые для протекания процесса кристаллизации.

У некоторых металлов из-за большого переохлаждения скрытая теплота плавления выявляется в первый момент кристаллизации настолько бурно, что температура скачкообразно повышается, приближается к теоретической (кривая 3). Так кристаллизуется, например,

сурьма. Для большинства же металлов величина переохлаждения при кристаллизации оказывается весьма незначительной и даже не улавливается в нормальных условиях эксперимента.

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации или зародышей; роста кристаллов вокруг этих центров.

Установлена зависимость числа центров кристаллизации (ч. ц.) и скорости роста кристаллов (с .к.) от степени переохлаждения (рис. 10).



Рис. 10. Зависимость скорости роста кристаллов (с .к.) и скорости зарождения центров кристаллизации (ч. ц.) от степени переохлаждения

При равновесной температуре T_s ч. ц. и с. к. равны нулю, кристаллизации не происходит. Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей точке a , то образуются крупные зерна. При температуре, соответствующей точке b , образуются мелкие зерна. При большем переохлаждении (точка c) жидкость не кристаллизуется — образуется аморфное тело.

Размер зерна зависит не только от числа самопроизвольных зарождающихся центров кристаллизации, но и от количества частичек нерастворимых примесей в жидком металле. Они играют роль готовых центров кристаллизации. Такими центрами могут быть твердые частицы (окислы, нитриды, сульфиды и т.д.), которые имеют небольшую разницу в атомных размерах с основным металлом, а их кристаллические решетки близки по строению и параметрам.

Для получения мелкозернистого металла в расплав специально добавляют небольшое количество тех или иных веществ. Такие добавки называют *модификаторами*, а процесс – *модифицированием*.

Описание процесса кристаллизации в реальных условиях впервые дал в 1878 г. инженер Дмитрий Константинович Чернов, работавший на Обуховском заводе в Петербурге. При заливке металла в изложницу кристаллизация начинается от стенок и распространяется вглубь расплавленного металла. Скорость роста кристаллов в различных направлениях неодинакова. Вначале образуется ствол кристалла *a*, а затем от ствола *a* под определенным углом растут ветви *b*, от которых, в свою очередь, растут боковые ветви *в* (рис. 11).

Такие кристаллы напоминают форму дерева и поэтому они называются *дендритами*. Дендриты можно видеть на поверхности литого металла. Переплетаясь своими ветвями, дендриты вырастают друг в друга, и, таким образом, отдельные металлические зерна цепляются между собой.

Рассмотрим картину кристаллизации стального слитка (рис. 12). Зона мелких кристаллов 1 образуется у холодной стенки изложницы. Затем по направлению отвода тепла, перпендикулярно стенкам изложницы, растут столбчатые кристаллы 2. В центре слитка скорость охлаждения небольшая и там образуются крупные неориентированные кристаллы 3. Вследствие уменьшения объема металла при кристаллизации в слитке образуется усадочная раковина 4.

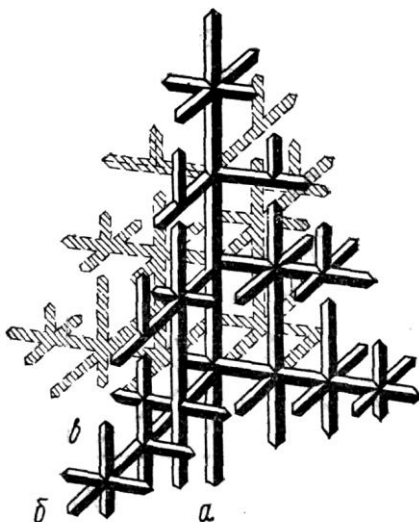


Рис. 11. Схема дендрита

При затвердевании металла, кроме того, образуются многочисленные пузырьки газов. Происходит это потому, что растворимость

различных газов в твердом металле значительно меньше, чем в жидком, и при кристаллизации металла избыток газа из него выделяется. Часть их уходит в атмосферу, а часть так и остается в застывшем металле в виде газовых пузырей.

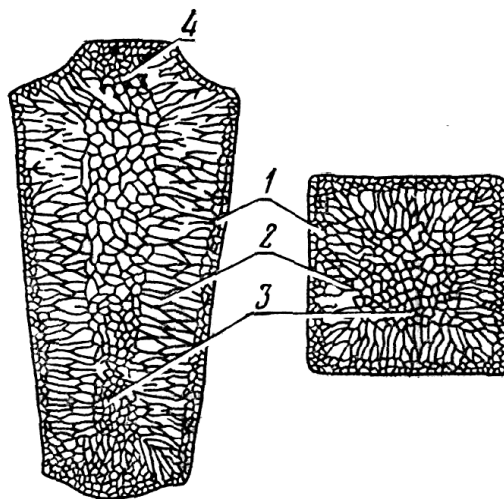


Рис. 12. Схема стального слитка

3.2. ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ. АЛЛОТРОПИЯ

Атомы данного элемента могут образовывать, если исходить только из геометрических соображений, любую кристаллическую решетку. Однако устойчивым, а, следовательно, реально существующим типом является решетка, обладающая наиболее низким запасом энергии. Так, например, в твердом состоянии Li, Na, K, Mo, W и другие металлы имеют объемно-центрированную решетку; Al, Ca, Cu, Au — гранецентрированную.

Однако, в ряде случаев при изменении температуры или давления может оказаться, что для того же металла более устойчивой будет другая решетка, чем та, которая была при другой температуре или давлении. В различных решетках кристаллизуются Fe, Co, Sn, Mn, Ti и другие металлы.

Существование одного металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название *полиморфизма* или *аллотропии*. Различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными или аллотропическими модификациями.

Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β и т.д., которые в виде индексов добавляются к символу, обозначающему элемент. Аллотропическая форма, существующая при самой низкой температуре, обозначается буквой α , следующая — β .

Преобразование одной аллотропической формы в другую при нагреве чистого металла сопровождается поглощением тепла и происходит при постоянной температуре. На термической кривой в координатах температура-время превращение отмечается горизонтальным участком. При охлаждении происходит выделение тепла (выделение скрытой теплоты превращения) теоретически при такой же температуре, что и при нагреве, но практически при несколько более низкой вследствие переохлаждения.

Температура, при которой осуществляется переход одной модификации в другую, называется температурой полиморфного (аллотропического) превращения.

Аллотропические превращения железа показаны на рис. 13. Ниже $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо существует в форме α , при $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ объемно-центрированная решетка Fe_{α} переходит в гранецентрированную решетку Fe_{γ} , которая при $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ вновь превращается в объемно-центрированную α -решетку. Высокотемпературную α -модификацию обозначают буквой δ .

При $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ получается остановка на кривой охлаждения, связанная не с перестройкой решетки, а с изменением магнитных свойств. Выше $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо немагнитно, а ниже $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо ферромагнитно (то есть способно хорошо намагничиваться). Эта температура называется точкой Кюри.

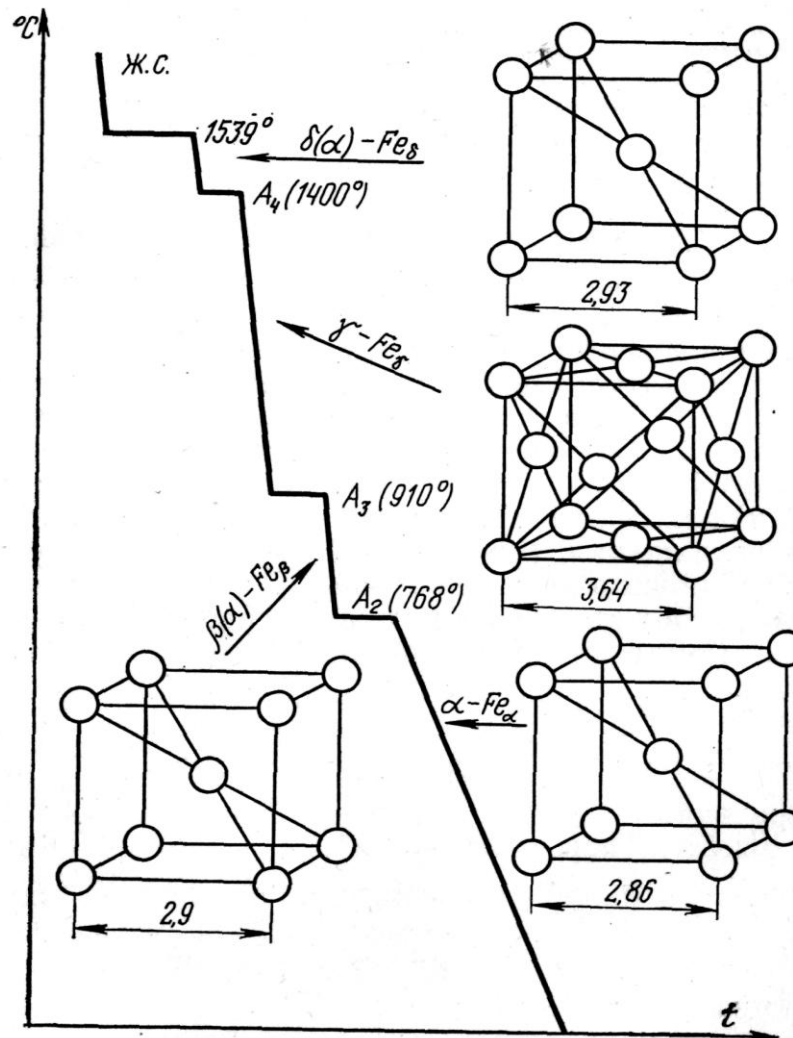


Рис. 13. Кривая охлаждения чистого железа

3.3. СОСТАВЛЯЮЩИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ

Сплавами называются вещества, состоящие из двух и более элементов (компонентов). Металлические сплавы состоят преимущественно из металлов и обладают металлическими свойствами. Они дешевле чистых металлов, имеют лучшие механические и технологические свойства. Большинство сплавов получают сплавлением двух или более элементов. Возможны и другие способы приготовления сплавов – спекание, электролиз, возгонка и др.

В жидком состоянии элементы сплава в большинстве случаев обладают неограниченной взаимной растворимостью. Образуется однородный жидкий раствор с равномерным распределением атомов одного металла среди атомов другого металла. Частичная или полная нерастворимость наблюдается у немногих металлов, имеющих большую разницу в атомных диаметрах и температурах плавления (например, в сплавах медь-свинец; железо-свинец).

После затвердевания компоненты, входящие в сплав, могут образовать *твердые растворы, химические соединения, механические смеси.*

Твердые растворы. Если при переходе из жидкого состояния в твердое сохраняется однородность и растворимость элементов, то образовавшийся сплав называется твердым раствором. В твердом растворе, подобно чистым металлам, атомы в пространстве образуют кристаллическую решетку. При этом один из элементов, входящих в состав сплава, сохраняет присущую ему кристаллическую решетку. Другой элемент в виде отдельных атомов распределен в кристаллической решетке первого. Первый элемент является *растворителем*, а второй – *растворенным элементом*. По характеру размещения атомов растворенного элемента в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы замещения и внедрения.

В *твердых растворах замещения* атомы растворенного элемента вытесняют из некоторых узлов кристаллической решетки атомы растворителя (рис. 14).

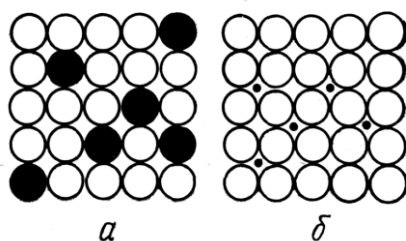


Рис. 14. Схема атомно-кристаллической структуры твердого раствора:

а – замещения; б – внедрения

Твердые растворы замещения образуют *неограниченную растворимость* при одинаковых типах кристаллической решетки элементов, близких температурах плавления и, когда различие в атомных размерах не превышает 8 %. Разница в атомных диаметрах в 8...15 % приводит к *ограниченной растворимости*, а более 15 % устраняет возможность образования твердого раствора.

В *твердых растворах внедрения* атомы растворенного элемента находятся в промежутках между узлами решетки растворителя (рис. 14, б). Вследствие малых размеров пустот между атомами в кристаллической решетке внедрение в нее возможно только элементов с малыми атомными параметрами, например, углерода, бора, водорода, азота. При образовании твердых растворов внедрения происходит искажение решетки и в ней возникают напряжения. Обычно концентрация растворения для таких сплавов не превышает 1-2 %.

Все твердые растворы металлов обладают металлическим типом связи, и в них может происходить диффузия. Образование твердых растворов сопровождается изменением параметров решетки и свойств металла-растворителя. Твердые растворы имеют переменный состав. Их структура состоит из однородных по внешнему виду зерен. Твердые растворы обозначают греческими буквами: α , β , γ , δ и т. д.

Химические соединения образуются между элементами, которые существенно различаются по своему строению и свойствам. Для химических соединений характерно строго определенное соотношение чисел атомов элементов, выраженное формулой A_nB_m ; наличие своей кристаллической решетки, отличной от решетки элементов, образовавших это соединение; резкая разница свойств по сравнению со свойствами исходных элементов; большая твердость и хрупкость; постоянная температура плавления.

Механические (физико-химические) смеси. Механические смеси двух компонентов получаются, когда они не способны взаимно растворяться в твердом состоянии или образовать химическое соединение. Структура сплавов может состоять из механической смеси чистых элементов, твердых растворов или химических соединений. Такие смеси получаются при большом различии в свойствах входящих в сплав металлов.

3.4. ПРАВИЛО ФАЗ

Для изучения процессов кристаллизации и плавления, обоснования кривых охлаждения и нагревания металлических сплавов пользуются правилом фаз.

Правило фаз устанавливает числовую зависимость между фазами, компонентами и степенью свободы системы.

Системой называются металлы и металлические сплавы, выбранные для наблюдения и изучения при определенных условиях (температура, давление). Чистый металл является простой системой, сплавы – сложной системой.

Компонентами называют вещества, образующие сплав. В сплавах компонентами могут быть элементы и химические соединения.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела. При переходе через поверхность раздела резко изменяются свойства фазы. Фазы бывают твердые, жидкие и газообразные. Например, при кристаллизации чис-

того металла в системе имеются две фазы: жидкая (расплавленный металл) и твердая (зерна затвердевшего металла). В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, твердого раствора и химического соединения.

Число степеней свободы системы называют число внешних и внутренних факторов (температура, концентрация, давление), которое можно изменять без изменения числа фаз в системе.

В общем виде правило фаз записывается формулой:

$$C = K - \Phi + P, \quad (9)$$

где K – число компонентов; Φ – число фаз, P – число переменных внешних факторов (давление, температура).

Обычно все превращения в металле происходят при постоянном атмосферном давлении, в этом случае правило фаз записывается так:

$$C = K - \Phi + 1 \quad (10)$$

Если $C = 0$, фазы находятся в равновесии при строго определенных значениях всех факторов; изменение одного из них нарушает равновесие. При $C = 1$ до определенного значения можно менять температуру, не изменяя числа фаз. При $C = 2$ возможно изменить две переменные (температуру и концентрацию) без изменения фазового состава системы. Уравнение правила фаз дает возможность корректировать точность построения диаграммы состояния.

3.5. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Диаграмма состояния показывает зависимость между фазовым составом, температурой и концентрацией сплава. Она отражает превращения в системе для случая устойчивого равновесия. Пользуясь диаграммой состояния, определяют: возможность и режимы термической обработки деталей; температурный интервал проведения горячей обработки металлов давлением; литейные свойства и т.д.

Диаграммы строятся по результатам всесторонних лабораторных испытаний сплавов различного состава. Для этого используют термический, структурный, рентгеноструктурный методы исследования. Дополнительно определяют некоторые механические и физические свойства сплава.

Важнейшим методом построения и изучения диаграмм состояния является *термический анализ*. Он основан на получении серии кривых охлаждения жидкого сплава и определении на них *критических точек*, то есть температур фазовых превращений.

Принято точки начала кристаллизации сплава называть точками *ликвидус*, конца кристаллизации – *солидус*.

При построении диаграмм по оси абсцисс откладывают концентрацию компонентов. Левая крайняя точка на оси концентрации соответствует 100 %-му содержанию одного из компонентов. Процентное содержание второго компонента откладывается по этой оси слева направо. По оси ординат откладывают температуру. Соединяя все точки ликвидус в одну кривую, а солидус – в другую, получают основные линии диаграммы.

3.5.1. Диаграмма состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (первого рода)

Оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений.

К таким системам относятся сплавы Pb–Sb (рис. 25), образующие в твердом состоянии механические смеси.

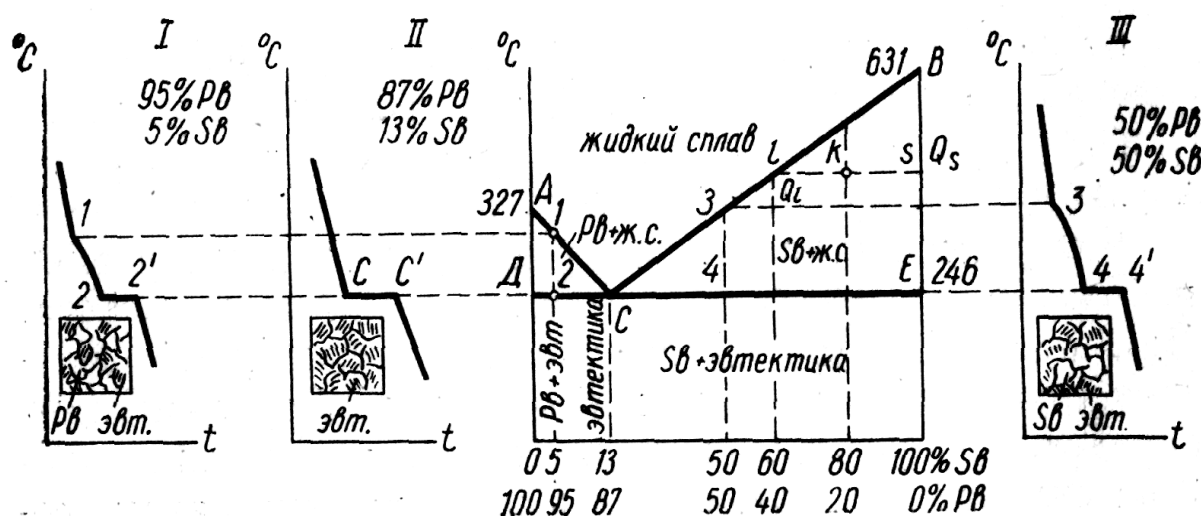


Рис. 15. Диаграмма состояния сплавов Pb–Sb

При охлаждении на кривой ACB (ликвидус) находятся точки температур начала кристаллизации сплавов: выделение из жидкого сплава свинца – по линии AC и сурьмы – по линии CB. Выше кривой ACB сплавы находятся в жидком состоянии.

При температуре соответствующей линии DCE (солидус) из жидкости (концентрации C) путем одновременного выпадения мел-

ких кристаллов свинца и сурьмы образуется механическая смесь – эвтектика. *Эвтектикой* называется физико-химическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости.

Сплавы, в которых кристаллизуется только эвтектика (13 % Sb, точка С) называются *эвтектическими*. Сплавы, расположенные слева от эвтектического состава (до 13 % Sb), называют доэвтектическими, а справа (свыше 13 % Sb) – *заэвтектическими*. Структура доэвтектических сплавов состоит из зерен свинца и эвтектики, заэвтектических – сурьмы и эвтектики.

Диаграмма состояний позволяет определить температуру начала и конца плавления сплава и построить кривые охлаждения. Рассмотрим несколько примеров.

Сплав I (5 % Sb, 95 % Pb) выше критической точки 1 состоит из одной фазы – жидкого расплава. Для этой области состояния число степеней свободы равно:

$$C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2$$

Наличие двух степеней свободы позволяет менять состав и температуру без изменения числа фаз, то есть охлаждать. При температуре, соответствующей точке 1, из раствора начинают выделяться кристаллы свинца, возникают две фазы (жидкая и твердая – свинец). Для этой области состояния число степеней свободы равно $C = 2 - 2 + 1 = 1$.

При одной степени свободы возможно охлаждение сплава в двухфазной системе до второй критической точки 2. При этом концентрация жидкой фазы в интервале от 1 до 2 меняется по отрезку 1-С линии ликвидуса. Охлаждение в интервале от 1 до 2 происходит замедленно в связи с выделением теплоты при образовании кристаллов свинца. Кривая охлаждения слегка выпуклая.

При температуре, соответствующей точке 2, сплав состоит из кристаллов свинца и жидкой фазы с концентрацией, соответствующей точке С, то есть 13 % Sb и 87 % Pb. В дальнейшем из жидкости кристаллизуется эвтектика (появляется третья фаза – кристаллы сурьмы).

Для этой области число степеней свободы равно $C = 2 - 3 + 1 = 0$.

При нулевой степени свободы невозможно изменение каких-либо факторов без изменения числа фаз. Поэтому процесс образования эвтектики протекает при постоянной температуре (отрезок 2-2').

Через некоторый промежуток времени (точка 2') сплав затвердевает. Ниже точки 2' число степеней свободы равно единице, и происходит дальнейшее охлаждение сплава.

Аналогичным способом происходит кристаллизация сплава III (50 % Pb, 50 % Sb). В точке 3 выделяются кристаллы сурьмы, а по линии 4-4' – кристаллизуется эвтектика.

Используя диаграмму состояния, можно для любой температуры определить число фаз и состав каждой фазы, применив *правило отрезков*.

3.5.2. Правило отрезков

В процессе кристаллизации сплавов изменяются как концентрации фаз, так и количество каждой фазы. Количество твердой фазы при этом увеличивается, а жидкой уменьшается. В любой точке диаграммы состояния, когда в сплаве одновременно существует две фазы, можно определить количество обеих фаз и их концентрацию. Для этого служит, так называемое, правило рычага или правило отрезков.

Первое положение правила отрезков формулируется следующим образом. Чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию (коноду) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область диаграммы. Проекция точек пересечения на ось концентрации показывают составы фаз.

Следовательно, для сплава, содержащего 80 % Sb, при температуре точки k составы обеих фаз определяются проекциями точек l и s, так как эти точки находятся на пересечении горизонтальной линии, проходящей через точку k с линиями диаграммы.

Проекция точки s определяет состав твердой фазы (100 % Sb), а проекция точки l определяет состав жидкости (60 % Sb).

Количество этих фаз также можно определить, пользуясь *вторым положением правила отрезков*, которое формулируется так:

Для того, чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область диаграммы. Отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

В нашем случае соотношение между твердой фазой Q_S и жидкой Q_L определяется из соотношения $Q_S / Q_L = l_k / s_k$, где l_k и s_k – длины отрезков, соответствующие фазам.

Для определения соотношения искомой фазы Q_S и полного количества сплава Q_{S+L} пользуются выражением $Q_S / Q_{S+L} = l_k / sl$.

3.5.3. Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии (второго рода)

Диаграмма состояния сплавов этого рода приведена на рисунке 16. Примером может служить система сплавов Cu–Ni.

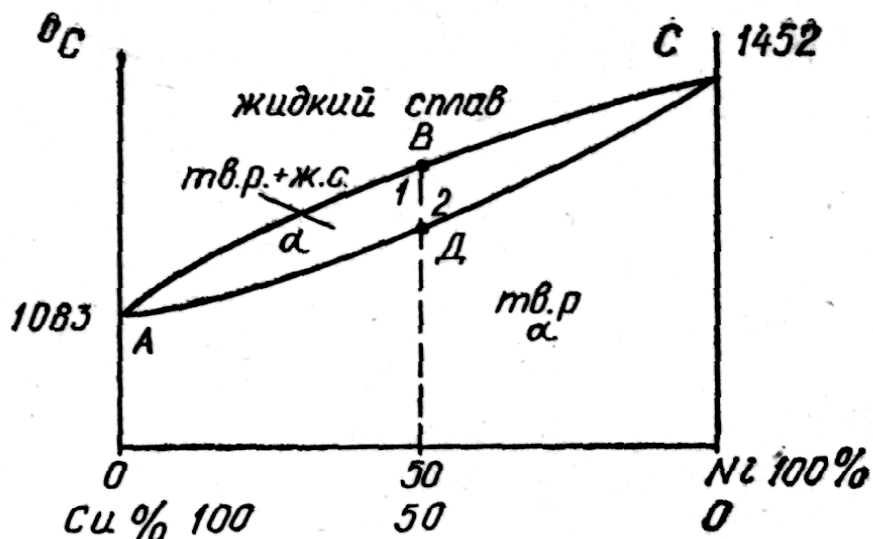


Рис. 16. Диаграмма состояния сплавов Cu–Ni

Если два компонента (Cu и Ni) неограниченно растворяются в жидком и твердом состояниях, то возможно существование только двух фаз – жидкого раствора (ж.с.) и твердого раствора Ni в Cu (α), причем неограниченного. Следовательно, трех фаз быть не может, кристаллизация при постоянной температуре не наблюдается и горизонтальной линии на диаграмме нет.

Диаграмма, изображенная на рис.16, состоит из трех областей: жидкий сплав; жидкий сплав + твердый раствор; твердый раствор.

Кривая ABC является линией ликвидус, а АДВ – линией солидус.

Сплавы Cu–Ni обладают жаростойкостью и высоким электрическим сопротивлением.

3.5.4. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Как известно, вид диаграммы состояния зависит от того, какие фазы образуют оба компонента. Свойства сплава также зависят от того, какие соединения или фазы образовали компоненты сплава. Поэтому очевидно, что между видом диаграммы состояния и свойствами сплава должна существовать определенная связь. На рис. 17 приведены четыре основных типа диаграмм состояний и соответствующий им закономерности изменения свойств сплава (твердости – линия 1; электропроводности – линия 2) с изменением концентрации.

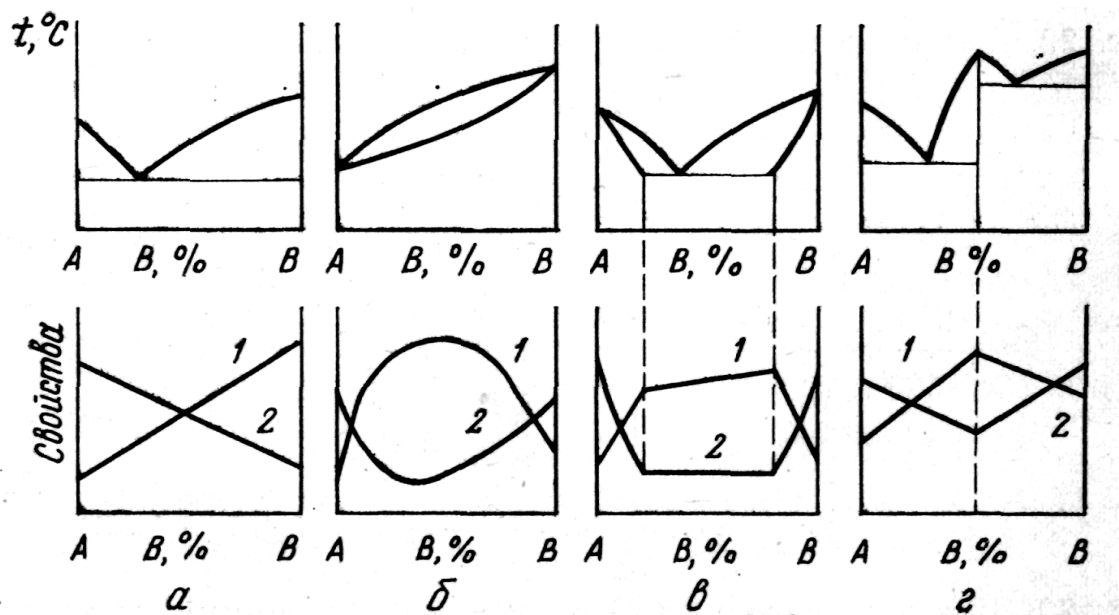


Рис. 17. Свойства сплавов и их диаграммы состояния

В случае образования механических смесей свойства сплавов изменяются по прямолинейному закону (рис. 17, *a*). Создать сплав, механические и электрические свойства которого были бы выше исходных компонентов, невозможно.

При образовании неограниченных твердых растворов (рис. 17, *б*) свойства сплавов изменяются неравномерно. Твердость и электропроводность сплавов могут резко отличаться от исходных компонентов. Высокое электросопротивление имеют сплавы с полной взаимной растворимостью, примерно, при равном количестве компонентов.

В сплавах с ограниченной растворимостью свойства изменяются в соответствии с принадлежностью сплава к той или иной части диаграммы (рис. 17, *в*).

При образовании химических соединений (рис. 17, з) свойства сплава изменяются скачкообразно. Точка перелома на диаграмме (сингулярная точка) соответствует химическому соединению.

Точное изучение свойств в зависимости от концентраций (то есть построение *диаграммы состав–свойства*) является важным дополнением при изучении и построении диаграмм состояний.

Метод изучения изменений свойств в зависимости от изменения состава и построения диаграммы состав–свойство был положен Н.С. Курнаковым в основу разработанного им физико-химического анализа сплавов. В настоящее время физико-химический анализ является одним из основных методов изучения сплавов и его широко применяют в научных исследованиях новых сплавов

Изучение связи между свойствами сплавов и типом диаграммы является важным фактором при создании новых сплавов, при изучении структурных превращений и их свойств.

ТЕМА 4. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО–УГЛЕРОД

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Диаграмма состояния железо-углерод дает основное представление о строении этих сплавов.

Важнейшие работы по построению этой диаграммы относятся к последней четверти 19 века. Важнейший вклад в теорию вопроса внесли русские ученые Д. К. Чернов, А. А. Байков, французские исследователи Ф. Осмонд, Ле-Шателье, голландцы Г. Розебум, Робертс - Аустен и др.

Диаграмма железо-углерод, как ясно из названия, должна распространяться от железа до углерода.

Железо образует с углеродом химическое соединение – *цементит* – Fe_3C .

Одно из положений теории сплавов гласит, что каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, и диаграмму можно рассматривать по частям.

Будем рассматривать только часть системы от железа до химического соединения Fe_3C . Это не только упрощает задачу знакомства с системой, но оправдано еще и тем, что на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода не более 5 % (цементит содержит углерода 6,67 %).

Следовательно, рассматривая диаграмму железо-углерод на участке от железа до цементита, компонентами системы можно считать железо и цементит.

Железо. Чистое железо – серебристо-светлый металл, имеющий температуру плавления $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ и плотность $7,86 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$. Железо обладает невысокой твердостью и прочностью и хорошей пластичностью: $\text{HB}800\text{ МН/м}^2$; $\sigma_{\text{с}} \approx 250\text{ МПа}$; $\delta = 50\%$. Железо имеет несколько аллотропических форм, которые показаны на кривой охлаждения (рис. 18). В интервалах температур $1539 \dots 1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ существует α -железо с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур от $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ существует γ -железо с гранецентрированной кубической решеткой.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения; с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

Растворимость углерода в железе существенно зависит от того, в какой кристаллической форме существует железо. Растворимость углерода в α -железе ничтожно мала (менее $0,02\%$ в низкотемпературном феррите и около $0,1\%$ в высокотемпературном феррите) и значительно больше (до 2%) в γ -железе.

Твердый раствор углерода и других элементов в α -железе называется *ферритом*, а в γ -железе – *аустенитом*.

Атом углерода располагается в решетке феррита в центре грани куба, где помещается сфера радиусом $0,29$ атомного радиуса железа, а также в вакансиях, на дислокациях и т.д. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных полиэдрических зерен. Феррит (при $0,006\% \text{C}$) имеет примерно следующие механические свойства: $\text{HB} 800 \dots 900\text{ МН/м}^2$; $\sigma_{\text{с}} = 250\text{ МПа}$; $\delta = 50\%$; $\varphi = 80\%$.

Атом углерода в решетке γ -железа располагается в центре элементарной ячейки, в которой может поместиться сфера радиусом $0,41$ атомного радиуса железа, и в дефектных областях кристалла. Аустенит обладает высокой пластичностью, низкими пределами текучести и прочности. Микроструктура аустенита – полиэдрические зерна.

Цементит. Цементит – это химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe_3C . В цементите содержится $6,67\%$ углерода. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита точно не определена в связи с возможностью его распада и принимается примерно равной $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по некоторым данным $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). До температуры

210 °С цементит ферромагнитен. Он обладает высокой твердостью (HV 1000) и очень малой пластичностью.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение для высокоуглеродистых сплавов – чугунов.

Диаграмма состояния

Диаграмма состояния железо-углерод в интервале концентраций от железа до цементита представлена на рис. 18. Ось абсцисс (концентрационная) на этом рисунке двойная: содержание углерода и содержание цементита.

Линия ABCD является ликвидусом системы, линия ANJESF – солидусом.

Так как железо, кроме того, что образует с углеродом химическое соединение Fe₃C, имеет две аллотропические формы α и γ, то в системе существуют следующие фазы:

жидкость (L) – (жидкий раствор углерода в железе), существующая выше линии ликвидус;

цементит Fe₃C (Ц) – линия DFKL;

феррит (Ф, иногда α) – твердый раствор углерода в α-железе. Область феррита в системе железо – углерод расположена левее линий GPQ и ANH;

аустенит (А, иногда γ) – твердый раствор углерода в γ-железе. Область аустенита на диаграмме – NJESG.

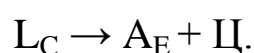
Три горизонтальные линии на диаграмме (HJB, ECF, PSK) указывают на протекание трех нонвариантных реакций.

При 1499 °С (линия HJB) протекает перитектическая реакция:



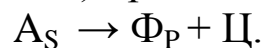
В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

При 1147 °С (горизонталь ECF) протекает эвтектическая реакция:



В результате этой реакции образуется эвтектическая смесь. Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется *ледебуритом*. Реакция эта происходит у всех сплавов системы, содержащих углерода более 2,14 %.

При 727 °С (горизонталь PSK) протекает эвтектоидная реакция:



Продуктом превращения является эвтектоидная смесь. Эвтектоидная смесь феррита и цементита называется *перлитом*.

У всех сплавов, содержащих свыше 0,02 %С, то есть практически у всех промышленных железоуглеродистых сплавов происходит перлитное (эвтектоидное) превращение.

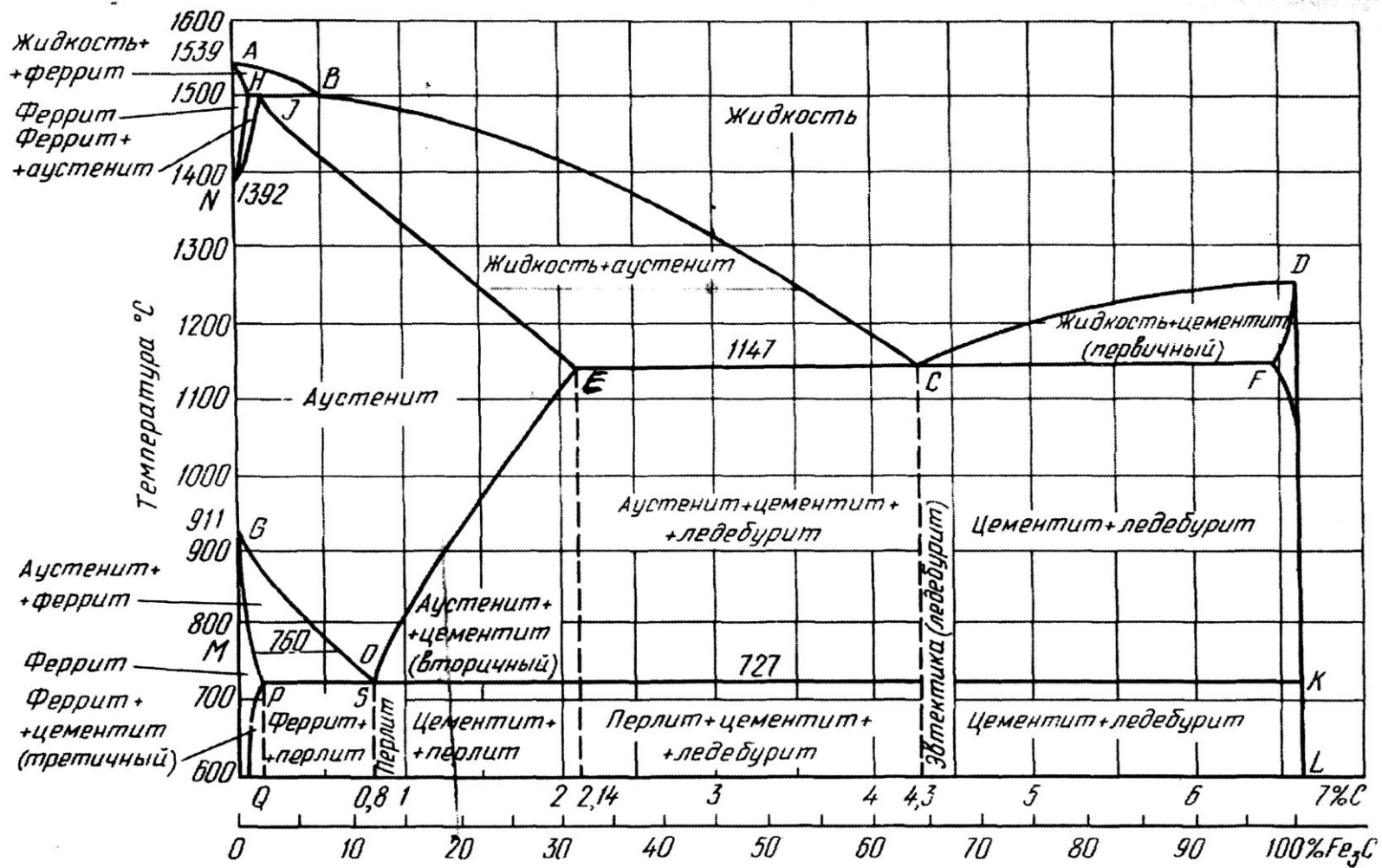


Рис. 18. Диаграмма состояния сплавов системы железо-углерод

Различают три группы сталей: *эвтектоидные*, содержащие около 0,8 % С, структура которых состоит только из перлита); *доэвтектоидные*, содержащие меньше 0,8 % С, структура которых состоит из феррита и перлита) и *заэвтектоидные*, содержащие от 0,8 % до 2,14 % С, структура которых состоит из перлита и цементита.

Области существования различных структур показаны на диаграмме состояния Fe-C. Несмотря на видимую сложность структурных форм, особенно у высокоуглеродистых сплавов, следует указать, что все области диаграммы являются однофазными или двухфазными.

В частности, в области SEFK имеется две фазы – аустенит и цементит, а в области PKLQ – феррит и цементит, образующие различные структурные составляющие, как указано на диаграмме.

При изучении диаграммы железо-углерод принято обозначать критические температуры (точки) буквой А. Нижняя критическая точка, обозначаемая A_1 , лежит на линии PSK и соответствует равновесному превращению аустенит \leftrightarrow перлит. Верхняя критическая точка A_3 лежит на линии GSE и соответствует началу выпадения или концу растворения феррита в доэвтектоидных сталях или вторичного цементита в заэвтектоидных сталях.

Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении, рядом с буквой А ставят букву *s* в первом случае и *r* – во втором.

Следовательно, критическая точка превращения аустенита в перлит обозначается Ar_1 , а перлита в аустенит Ac_1 ; начало выделения феррита из аустенита обозначается Ar_3 ; конец растворения феррита в аустените Ac_3 . Начало выделения вторичного цементита из аустенита обозначается также Ar_3 , а конец растворения вторичного цементита в аустените – Ac_3 (эту точку часто обозначают Ac_m).

Рассмотренные равновесные превращения железоуглеродистых сплавов происходят при непрерывном и медленном охлаждении (вместе с печью).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие группы подразделяют черные и цветные металлы?
2. Дайте определение элементарной кристаллической ячейки.
3. Какие кристаллические решетки имеют металлы?
4. Перечислите точечные дефекты кристаллических решеток.
5. Что такое анизотропия?

6. Что такое кристаллизация?
7. От каких факторов зависит размер зерна в металле?
8. Что такое аллотропия (полиморфизм) металла?
9. Перечислите металлы, которые обладают полиморфизмом.
10. Дайте определения упругой и пластической деформации.
11. Что такое наклеп?
12. Что такое рекристаллизация?
13. Какие виды твердых растворов могут образовываться в сплавах?
14. Как называется уравнение, устанавливающее числовую зависимость между фазами, компонентами и степенью свободы системы.
15. Каково практическое применение диаграмм состояния сплавов?
16. В каких координатах строят диаграммы состояния двойных сплавов?
17. С помощью какого правила определяют число фаз и состав каждой фазы в двойных сплавах?
18. В какой области металловедения возможно применение физико-химического анализа сплавов, разработанного Н.С. Курнаковым?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ БРИНЕЛЛЯ

Цель работы:

Ознакомиться с устройством прибора Бринелля, изучить методику определения твердости металлов, определить твердость данных образцов.

Приборы, материалы, инструмент:

1. Автоматический рычажный прибор Бринелля.
2. Отсчетный микроскоп для измерения диаметра отпечатка.
3. Образцы для измерения твердости.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Твердостью называют свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела (индентора), не испытывающего при этом пластической деформации.

Способы испытания на твердость подразделяются на статические и динамические.

К *статическим* способам испытания относятся следующие:

1. По величине поверхности отпечатка от вдавливания стального шарика при испытаниях на прессах типа Бринелля (метод Бринелля).
2. По глубине отпечатка при вдавливании алмазного конуса или стального шарика при испытаниях на приборе типа Роквелла (метод Роквелла).
3. По величине поверхности отпечатка от вдавливания алмазной пирамиды при испытаниях на приборе типа Виккерса (метод Виккерса).
4. По результатам испытаний на микротвердость (малых объемов металла или структурных составляющих). По величине поверхности отпечатка от вдавливания алмазной пирамиды на приборе типа ПМТ.

При *динамических* испытаниях твердость образца определяется по высоте отскока свободно падающего бойка. Различают методы испытания по Шору, Шварцу, Бауману и др.

В инженерной практике наибольшее распространение получили статические методы испытаний.

Твердость является важным физико-механическим свойством материала. Из всех видов механических испытаний испытание на твердость проводят чаще всего. Это объясняется тем, что:

1. При испытании изделие не разрушается и пригодно для эксплуатации.

2. Испытания проводятся просто и быстро.

3. По величине твердости (НВ) можно с некоторым приближением судить и о прочности металлов на растяжение (σ_{σ}), так как существует примерное соотношение:

для кованной стали и катанной стали: $\sigma_{\sigma} = 0,36 \text{ НВ}$;

для серых чугунов: $\sigma_{\sigma} = \frac{\text{НВ} - 40}{6}$;

для стального литья: $\sigma_{\sigma} = 0,3 \dots 0,4 \text{ НВ}$;

для алюминиевых сплавов: $\sigma_{\sigma} = 0,38 \text{ НВ}$.

Износостойкость – одно из важнейших эксплуатационных свойство металлов и сплавов находится, как правило, в прямо пропорциональной зависимости от твердости. Чем выше твердость конструкционного материала, тем выше его износостойкость.

СХЕМА ИСПЫТАНИЯ ПО БРИНЕЛЛЮ

Методика определения на твердость по Бринеллю состоит в том, что, пользуясь прессом (прессом Бринелля), в испытуемый металл (рис. 19) под определенной нагрузкой (Р) вдавливается стальной закаленный шарик диаметром (D) и по величине полученного отпечатка (d) судят о твердости.

Число твердости по Бринеллю определяется отношением нагрузки, действующей на шарик, к поверхности полученного отпечатка, то есть:

$$\text{НВ} = \frac{P}{F}, \quad (11)$$

где НВ – число твердости по Бринеллю;

Р – нагрузка, кН (кгс);

F – площадь отпечатка (шарового сегмента), мм².

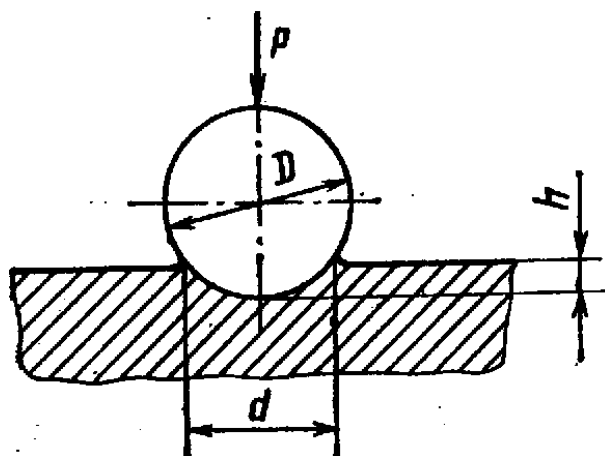


Рис. 19. Схема измерения твердости по Бринеллю

В окончательном виде формула определения твердости по Бринеллю выглядит:

$$HB = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (12)$$

где d – диаметр отпечатка (мм);

D – диаметр шарика (мм).

Число твердости по Бринеллю обозначается HB, указание размерности величины кг/мм^2 опускается.

На практике для того, чтобы не прибегать каждый раз к длительным расчетам твердости по формуле (12), пользуются специальной таблицей, которая дает перевод диаметра отпечатка в число твердости HB (табл. 3).

Для перевода числа твердости в систему СИ пользуются коэффициентом $K = 9,81 \cdot 10^6$, на который умножают табличное значение твердости: $HB_{\text{СИ}} = HB \cdot K$, [Па] = $HB \cdot K \cdot 10^{-6}$, [МПа] (мегапаскалей).

ВЫБОР ДИАМЕТРА ШАРИКА

Для испытания применяются шарики диаметром 2,5; 5; 10 мм – в зависимости от толщины испытуемого материала и его ориентировочной твердости. Нагрузка P выбирается в зависимости от качества испытуемого материала по формуле:

$$P = K \cdot D^2 \quad (13)$$

где K – постоянная для данного материала величина, равная 30, 10 или 2,5.

В таблице 1 приведены данные по выбору диаметра шарика и нагрузки в зависимости от качества материала и толщины образцов.

**Выбор диаметра шарика
в зависимости от твердости и толщины образца**

Материалы	Интервал твердости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой Р и диаметром шарика D	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка, Р, кгс	Выдержка под нагрузкой, τ, с
Черные металлы	140...450	От 6 до 3	$P = 30D^2$	10,0	3000	10
		От 4 до 2		5,0	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
То же	< 140	Более 6	$P = 10D^2$	10,0	1000	10
		От 6 до 3		5,0	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	> 130	От 6 до 3	$P = 30D^2$	10,0	3000	30
		От 3 до 2		5,0	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
То же	35...130	От 9 до 6	$P = 10D^2$	10,0	1000	30
		От 6 до 3		5,0	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
То же	8...35	От 9 до 6	$P = 2,5D^2$	10,0	250	60
		От 6 до 3		5,0	62,5	
		Менее 3		2,5	15,6	

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, шлифуют шкуркой или напильником, чтобы она была ровной, гладкой и не было окалины или других дефектов, чтобы был получен правильный отпечаток с отчетливо видными краями. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ

Нагрузку Р, диаметр шарика D и продолжительность выдержки шарика под нагрузкой выбирают по таблице 1.

На рисунке 20 приведена схема рычажного прибора Бринелля (тип ТШ). Прибор имеет станину 1. Испытуемый образец устанавли-

вают на предметный столик 4. Вращая маховик 3, винтом 2 поднимают образец до соприкосновения его с шариком 5 и далее до полного сжатия пружины 7, надетой на шпиндель 6. Пружина создает предварительную нагрузку на шарик, равную 1 кН (100 кгс), что обеспечивает устойчивое положение образца во время нагружения.

После этого включают электродвигатель 13 и через червячную передачу редуктора 12, шатун 11 и систему рычагов 8, 9 с грузами 10 создают заданную полную нагрузку на шарик. На испытуемом образце получается отпечаток. После разгрузки прибора образец снимают и определяют диаметр отпечатка специальным микроскопом. За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По диаметру отпечатка в таблице 14 при шарике диаметром 10 мм и нагрузке 30 кН (3000 кгс) находят соответствующее число твердости НВ и записывают, например, НВ 302.

К недостаткам метода Бринелля необходимо отнести невозможность испытания металлов, имеющих твердость более НВ 450 или толщину образца менее 2 мм. При испытании металлов с твердостью более 450 возможна деформация шарика и результаты будут неточными.

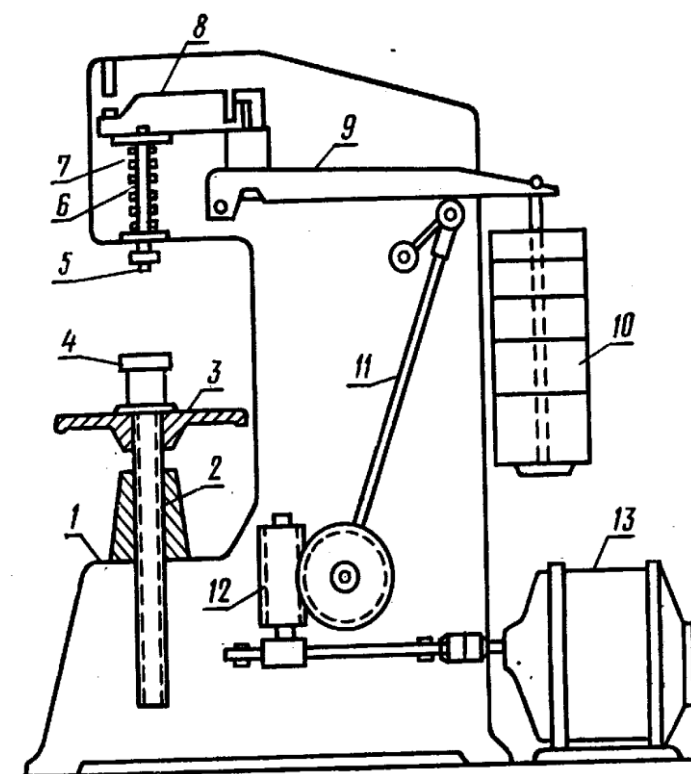


Рис. 20. Схема прибора Бринелля:

- 1—станина; 2 – винт; 3 – маховик; 4 – предметный столик;
 5 – шарик; 6 – шпindelь; 7 – пружина; 8, 9 – рычажная система;
 10 – грузы; 11 – шатун; 12 – червячная передача (редуктор);
 13 – электродвигатель

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТПЕЧАТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Полученный отпечаток измеряют отсчетным микроскопом. Отсчетный микроскоп необходимо плотно установить нижней опорной частью на испытуемую поверхность и повернуть вырезом (окном) в нижней части к свету. Поворачивая окуляр, надо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены. Затем, передвигая микроскоп, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы (рис. 21). Отсчитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отсчет и будет соответствовать диаметру отпечатка. Затем микроскоп надо повернуть на 90° и замерить диаметр отпечатка второй раз.

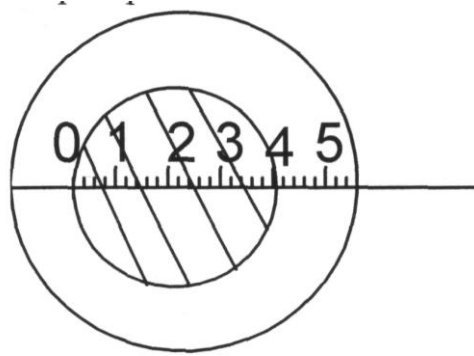


Рис. 21. Схема замера диаметра отпечатка

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет должны быть включены ответы на контрольные вопросы, схема прибора и схема замера диаметра отпечатка.

Результаты измерения твердости занести в таблицу 2.

Таблица 2

Протокол испытаний

№ п/п	Наименование материала или детали	Условия испытаний	Твердость по Бринеллю						
			1-ый замер		2-ой замер		3-й замер		НВ среднее
			d	НВ	d	НВ	d	НВ	
		D = мм P = кг τ = с							
		D = мм P = кг τ = с							
		D = мм P = кг τ = с							

Таблица 3

Значение твердости НВ в зависимости от диаметра отпечатка

Диаметр отпечатка, мм	Число твердости по Бриггеллю, при нагрузке Р, равной			Диаметр отпечатка, мм	Число твердости по Бриггеллю, при нагрузке Р, равной		
	30D ²	10D ²	2,5 D ²		30D ²	10D ²	2,5 D ²
1	2	3	4	5	6	7	8
2,89	448	-	-	3,64	278	92,8	23,2
2,90	444	-	-	3,66	275	91,8	22,9
2,92	438	-	-	3,68	272	90,7	22,7
2,94	432	-	-	3,70	269	89,7	22,4
2,96	426	-	-	3,72	266	88,7	22,2
2,98	420	-	35,0	3,74	263	87,7	21,9
3,00	415	-	34,6	3,76	260	86,8	21,7
3,02	409	-	34,1	3,78	257	85,8	21,5
3,04	404	-	33,7	3,80	255	84,9	21,2
3,06	398	-	33,2	3,82	252	84,0	21,0
3,08	393	-	32,7	3,84	249	83,0	20,8
3,10	388	129	32,3	3,86	246	82,1	20,5
3,12	383	128	31,9	3,88	244	81,3	20,3
3,14	378	126	31,5	3,93	241	80,4	20,1
3,16	373	124	31,1	3,92	239	79,6	19,9
3,18	368	123	30,7	3,94	236	78,7	19,7
3,20	363	121	30,3	3,96	234	77,9	19,5
3,22	359	120	29,9	3,98	231	77,1	19,3
3,24	354	118	29,5	4,00	229	76,3	19,1
3,26	350	117	29,2	4,02	226	75,5	18,9
3,28	345	115	28,8	4,04	224	74,7	18,7
3,30	341	114	28,4	4,06	222	73,9	18,5
3,32	337	112	28,1	4,08	219	73,2	18,3
3,34	333	11	27,7	4,10	217	72,4	18,1
3,36	329	110	27,4	4,12	215	71,7	17,9
3,38	325	108	27,1	4,14	213	71,0	17,7
3,40	321	107	26,7	4,16	211	70,2	17,5
3,42	317	106	26,4	4,18	209	69,5	17,4
3,44	313	104	26,1	4,20	207	68,8	17,2
3,46	309	103	25,8	4,22	204	68,2	17,0
3,50	302	101	25,2	4,24	202	67,5	16,9
3,52	298	99,5	24,9	4,26	200	66,8	16,7
3,54	295	98,3	24,6	4,28	198	66,2	16,5
3,56	292	97,2	24,3	4,30	197	65,5	16,4
3,58	288	96,1	24,0	4,32	195	64,9	16,2
3,60	285	95,0	23,7	4,34	193	64,2	16,1
3,62	282	93,9	23,5	4,36	191	63,6	15,9

Продолжение таблицы 3

4,38	189	63,0	15,8				
4,42	185	61,8	15,5	5,22	130	43,3	10,8
4,44	184	61,2	15,3	5,24	129	42,9	10,7
4,46	182	60,6	15,2	5,26	128	42,6	10,6
4,48	180	60,1	15,0	5,28	127	42,2	10,6
4,50	179	59,5	14,9	5,30	126	41,9	10,5
4,52	177	59,0	14,7	5,32	125	41,5	10,4
4,54	175	58,4	14,6	5,34	124	41,2	10,3
4,56	174	57,9	14,5	5,36	123	40,9	10,2
4,58	172	57,3	14,3	5,38	122	40,5	10,1
4,60	170	56,8	14,2	5,40	121	40,2	10,1
4,62	169	56,3	14,1	5,42	120	39,9	9,97
4,64	167	55,8	13,9	5,44	119	39,6	9,90
4,66	166	55,3	13,8	5,46	118	39,2	9,82
4,68	164	54,8	13,7	5,48	117	38,9	9,73
4,70	163	54,3	13,6	5,50	116	38,6	9,66
4,72	161	53,8	13,4	5,52	115	38,3	9,58
4,74	160	53,3	13,3	5,54	114	38,0	9,50
4,76	158	52,8	13,2	5,56	113	37,7	9,43
4,78	157	52,3	13,1	5,58	112	37,4	9,35
4,80	156	51,9	13,0	5,60	111	37,1	9,27
4,82	154	51,4	12,9	5,62	110	36,8	9,20
4,84	153	51,0	12,8	5,64	110	36,5	9,14
4,86	152	50,5	12,6	5,66	109	36,3	9,07
4,88	150	50,1	12,5	5,68	108	36,0	9,00
4,90	149	49,6	12,4	5,70	107	35,7	8,93
4,92	148	49,2	12,3	5,72	106	35,4	8,86
4,94	146	48,8	12,2	5,74	105	35,1	8,79
4,96	145	48,4	12,1	5,76	105	34,9	8,73
4,98	144	47,9	12,0	5,78	104	34,6	8,66
5,00	143	47,5	11,9	5,80	103	34,3	8,59
5,02	141	47,1	11,8	5,82	102	34,1	8,53
5,04	140	46,7	11,7	5,84	101	33,8	8,46
5,06	139	46,3	11,6	5,86	101	33,6	8,40
5,08	138	45,9	11,5	5,88	99,9	33,3	8,33
5,10	137	45,5	11,4	5,90	99,2	33,1	8,26
5,12	135	45,1	11,3	5,92	98,4	32,8	8,20
5,14	134	44,8	11,2	5,94	97,7	32,6	8,14
5,16	133	44,4	11,1	5,96	96,9	32,3	8,08
5,18	133	44,0	11,0	5,98	96,2	32,1	8,02
5,20	131	43,7	10,9	6,00	95,5	31,8	7,96

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое твердость?
2. Существующие методы замера твердости?
3. Какова примерная зависимость основных механических свойств от твердости?
4. На каком принципе осуществляются замеры твердости?
5. Как подбирается диаметр шарика для испытания на твердость по Бринеллю?
6. Из каких соображений выбирается нагрузка при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Размерность твердости, замеренной по Бринеллю?
8. Обозначение твердости, замеренной по Бринеллю?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Цель работы:

Изучить устройство твердомера типа Роквелла, освоить методику определения твердости по способу Роквелла, определить твердость данных образцов.

Приборы, материалы, инструменты:

1. Твердомеры «ТК-2», HBRV-187,5.
2. Образцы для замера твердости.
3. Сменные наконечники.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Принципиальное отличие данного метода от метода Бринелля заключается в том, что твердость определяют по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании алмазного конуса или стального шарика, а не по площади отпечатка.

Метод Роквелла основан на том, что в испытуемый образец вдавливается алмазный конус с углом при вершине 120° или реже закаленный стальной шарик диаметром 1,588 мм (1/16"). Алмазный конус используют для твердых материалов, а шарик – для мягких.

При испытаниях по Роквеллу нагрузку можно изменять в широких пределах, без изменения значений твердости, так как при вдавливании конуса сохраняется закон подобия, а условия деформации под

вершиной конуса с увеличением давления не изменяются. Шарик или алмазный конус (рис. 22) вдавливают в испытуемый образец под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок – предварительной P_0 , равной 0,1 кН (10 кгс), и основной P_1 .

При вдавливании алмаза к нему прилагается общая нагрузка P , равная 0,6 кН (60 кгс), или 1,5 кН (150 кгс), а при вдавливании шарика – 1 кН (100 кгс). Соответственно эти нагрузкам на индикаторе прибора нанесены шкалы – черные А и С и красная В. Шкалой А пользуются при измерении твердости изделий с очень твердым поверхностным слоем, полученным посредством химико-термической обработки (цементацией, азотированием и др.), а также твердых сплавов с твердостью до HRA 85. Шкалу С используют при измерении твердости закаленных сталей, обладающих твердостью до HRC 67. Шкалой В пользуются при измерении твердости незакаленных сталей, цветных металлов и сплавов, имеющих твердость до HRB 100.

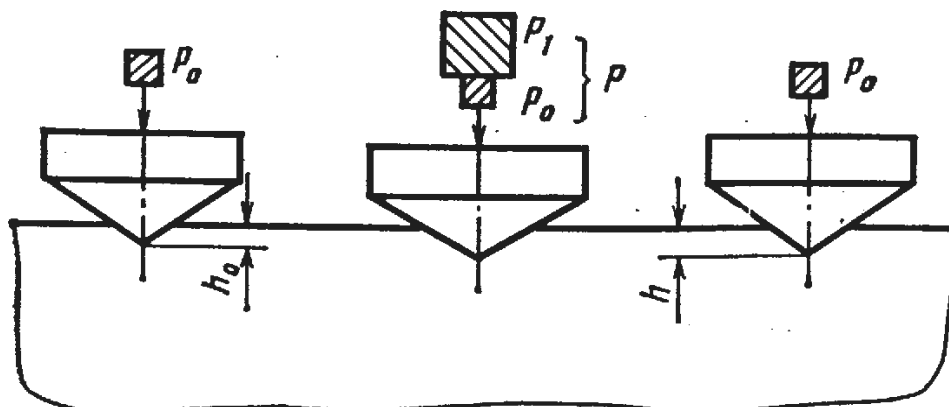


Рис. 22. Схема измерения твердости по Роквеллу

Числа твердости по Роквеллу HR измеряют в условных единицах и определяют по формулам:

при вдавливании алмазного конуса:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (14)$$

при вдавливании шарика:

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (15)$$

где 100 – число черных делений шкалы С циферблата индикатора прибора;

130 – число красных делений шкалы В;

h – глубина внедрения алмаза (шарика) под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 ; мм;

h_0 – глубина внедрения алмаза (шарика) под действием предварительной нагрузки P_0 , мм;

0,002 – глубина внедрения алмаза (шарика), соответствующая перемещению стрелки индикатора на одно деление, мм.

Чтобы установить на приборе у мягкого металла малую твердость, а у твердого металла – высокую твердость, полученное число делений ($\frac{h-h_0}{0,002}$) вычитается из общего числа деления 100 для шкалы С или из 130 для шкалы В.

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

На рис. 23 приведена схема прибора ТК-2 (типа Роквелла).

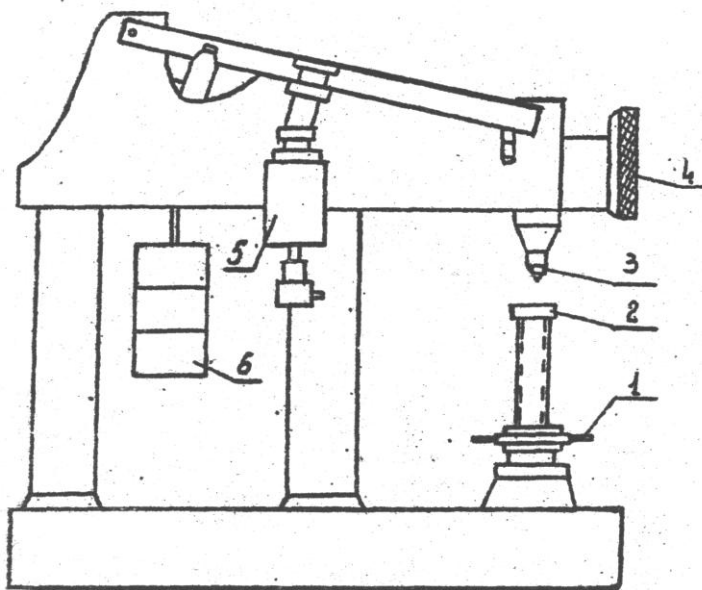


Рис. 23. Схема прибора Роквелла:

1 – штурвал; 2 – предметный столик; 3 – алмазный конус;
4 – циферблат индикатора; 5 – демпфер; 6 – грузы

На предметный столик 2 устанавливают хорошо зачищенный испытуемый образец. Затем вращением штурвала 1 по часовой стрелке поднимают образец до соприкосновения с алмазом или шариком 3.

При дальнейшем вращении штурвала начинают перемещаться малая и большая стрелки циферблата индикатора 4, и создается предварительная нагрузка, равная 0,1 кН (10 кгс), препятствующая сме-

щению образца во время испытания. Предварительное нагружение, кроме того, исключает влияние упругой деформации и различной степени шероховатости поверхности образца на результаты измерений.

Когда малая стрелка совместится с красной точкой, нанесенной на циферблат, вращение штурвала следует прекратить. После этого циферблат индикатора поворачивают так, чтобы нулевое деление черной шкалы С стало против конца большой стрелки и соответственно против 30 деления красной шкалы В. Красная шкала В смещена относительно нулевого деления черной шкалы С на 30 делений, так как при испытании шариком большая стрелка может поворачиваться более чем на 100 делений. Нажатием педали при включенном электрическом приводе посредством грузов 6 создают основную нагрузку P_1 на алмаз (шарик). Благодаря масляному демпферу 5, грузы плавно опускаются, алмаз (шарик) вдавливаются в металл, а большая стрелка циферблата поворачивается влево, в сторону уменьшения числовых значений твердости, то есть происходит то вычитание, о котором было сказано выше. После остановки большей стрелки через 1-3 секунды автоматически снимается основная нагрузка. При этом большая стрелка поворачивается в обратном направлении и останавливается против деления, показывающего значение твердости испытуемого металла.

За число твердости принимается среднее арифметическое значение, полученное при трех испытаниях.

На рис. 24 приведена схема универсального твердомера HBRV-187,5.

Процесс измерения производится следующим образом:

1. Включите питание, дисплей загорится. Выберите соответствующую шкалу для исследуемого материала образца. Поверните переключатель 10 по часовой стрелке, чтобы установить общую нагрузку.

2. Кнопками «+» и «-» на панели управления установите время выдержки.

3. Поместите образец для испытания на стол, и вращайте маховик 7 по часовой стрелке, чтобы поднять стол.

4. После контакта образца с индентором продолжайте вращать маховик до тех пор, пока малая стрелка не сравняется с красной точкой (три оборота большой стрелки), а большая стрелка с точками «С» и «В». Смещение должно быть не более, чем ± 5 делений.

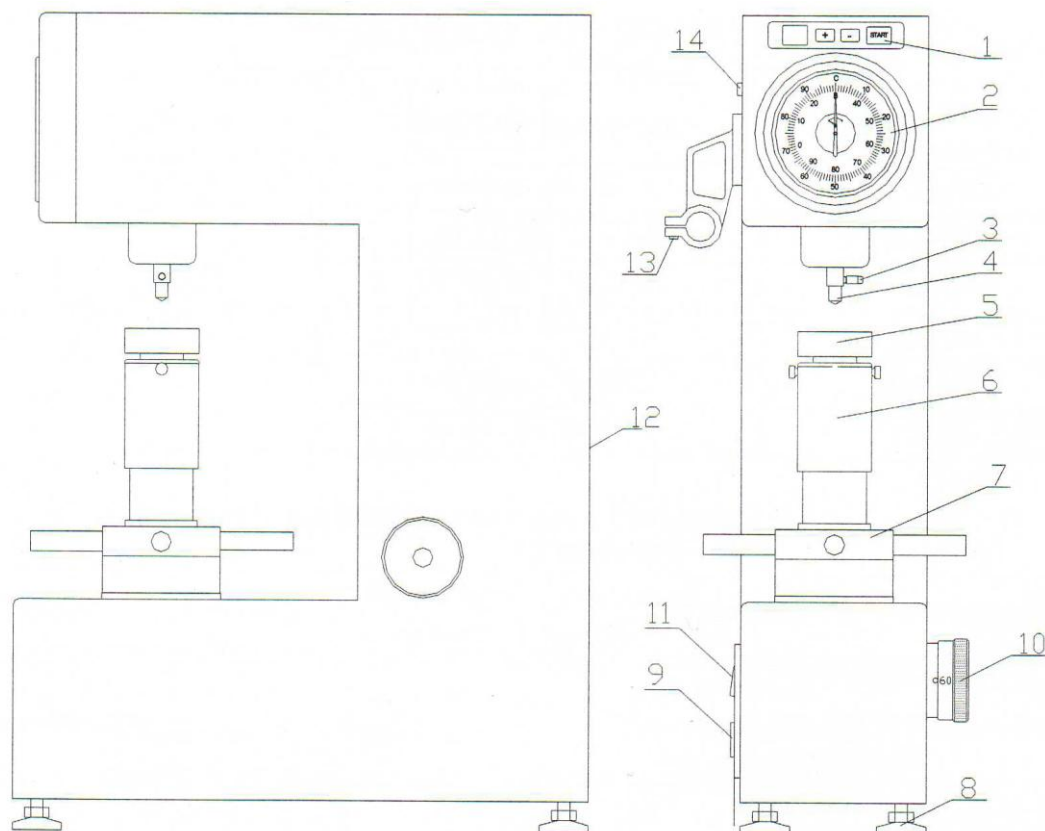


Рис. 24. Схема универсального твердомера HBRV-187,5:

- 1 – панель управления; 2 – стрелочный циферблат; 3 – винт фиксации индентора; 4 – индентор; 5 – рабочий столик; 6 – подъемный винт; 7 – маховик; 8 – регулировочная ножка; 9 – предохранитель; 10 – переключатель нагрузок; 11 – выключатель; 12 – задняя крышка; 13 – фиксатор микроскопа; 14 – разъем.

5. Покрутите диск индикатора влево или вправо так, чтобы большая стрелка сравнялась с буквой «С» (или с буквой «В» в случае определения HRB).

6. Нажмите кнопку «START» на сенсорной панели, твердомер начнет процесс нагружения автоматически. После нагружения начнется процесс удержания нагрузки и затем разгрузка.

7. Большая стрелка на циферблате покажет истинное значение твердости. Для шкал HRC и HRA считывание значения твердости производится по внешней шкале. Для шкалы HRB считывание производится по внутренней шкале.

8. Поверните маховик против часовой стрелке, чтобы опустить образец. Повторите измерение в разных местах образца.

9. Каждый образец должен быть измерен в не менее 5 точках (первое измерение не учитывается). При измерении партии образцов количество измерений может быть уменьшено.

Число твердости по Роквеллу можно перевести в число твердости по Бринеллю (табл. 4).

Метод Роквелла отличается простотой и высокой производительностью, обеспечивает сохранение качественной поверхности после испытаний, позволяет испытывать металлы и сплавы как низкой, так и высокой твердости, при толщине изделия (слоя) до 0,8 мм. Этот метод не рекомендуется применять для сплавов с неоднородной структурой (чугуны серые, ковкие и высокопрочные).

Измерения алмазным конусом с нагрузкой 60 кгс (HRA) применяют для очень твердых материалов (более HRC 70), например, твердых сплавов, когда вдавливание алмазного конуса с большой нагрузкой может вызвать выкрашивание алмаза, а также для измерения твердых поверхностных слоев (0,3...0,5 мм) или тонких пластинок.

Стальным шариком с нагрузкой 100 кгс (HRB) твердость определяют для мягкой (отожженной) стали или цветных сплавов в деталях или образцах толщиной 0,8...2,0 мм, то есть в условиях, когда измерение по Бринеллю, выполняемое шариком большого диаметра, может вызвать смятие образца.

Измерения алмазным конусом с нагрузкой 150 кгс (HRC) проводят:

- для закаленной или низкоотпущенной стали с твердостью более 450 НВ, то есть в условиях, когда вдавливание стального шарика (по Бринеллю или Роквеллу по шкале В) в твердый материал может вызвать деформацию шарика и искажение результатов;

- для материалов средней твердости (более 230 НВ) как более быстрым способом определения, оставляющим, кроме того, меньший след на измеряемой поверхности, чем при испытании по Бринеллю;

- для определения твердости тонких поверхностных слоев, но толщиной не менее 0,5 мм (например, цементованного слоя).

Таблица 4

Соотношение чисел твердости по Бринеллю и Роквеллу

Твердость			Твердость				Твердость		
по Роквеллу	по Бринеллю		по Роквеллу		по Бринеллю		по Роквеллу	по Бринеллю	
Шкала С	Д = 10 мм Р = 3000 кгс		С	В	Д = 10 мм Р = 3000 кгс		Шкала В	Д = 10 мм Р = 3000 кгс	
HRC	Диаметр отпечатка, мм	HB	HRC	HRB	Диаметр отпечатка, мм	HB	HRB	Диаметр отпечатка, мм	HB
	d				d			d	
	72				2,20			780	
70	2,25	745	32	-	3,45	311	85	4,65	167
68	2,30	712	31	-	3,50	302	84	4,70	163
66	2,35	682	30	-	3,55	293	83	4,75	159
64	2,40	653	29	-	3,60	285	82	4,80	156
62	2,45	627	28	-	3,65	277	81	4,85	152
60	2,50	601	27	-	3,70	269	80	4,90	149
58	2,55	578	26	-	3,75	262	78	4,95	146
56	2,60	555	25	-	3,80	255	77	5,0	143
55	2,65	534	24	-	3,85	248	76	5,05	140
52	2,70	514	23	102	3,90	241	75	5,10	137
50	2,75	495	21	101	3,95	235	73	5,15	134
49	2,80	477	20	100	4,00	229	72	5,20	131
48	2,85	461	19	99	4,05	223	71	5,25	128
46	2,90	444	17	98	4,10	217	70	5,30	126
45	2,95	429	15	97	4,15	212	69	5,35	123
43	3,00	415	14	95	4,20	207	68	5,40	121
42	3,05	401	13	94	4,25	201	67	5,45	118
41	3,10	388	12	93	4,30	197	65	5,50	116
40	3,15	375	11	92	4,35	192	64	5,55	114
39	3,20	363	9	91	4,40	187	63	5,60	111
38	3,25	352	8	90	4,45	183	61	5,65	109
36	3,30	341	7	88	4,50	179	59	5,70	107
35	3,35	331	6	87	4,55	174	58	5,75	105

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет должны быть включены ответы на контрольные вопросы, схема прибора Роквелла. Результаты измерения твердости занести в таблицу 5.

Протокол испытаний

№ п/п	Наименование материала или детали	Условия испытания	Твердость по Роквеллу HR				Соответствие твердости по Бринеллю, НВ
			1-ый замер	2-ой замер	3-ий замер	Среднее значение	
		R = кг, шарик или алмаз, шкала –					
		R = кг, шарик или алмаз, шкала –					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В чем заключается принципиальное отличие способов замера твердости по Бринеллю и Роквеллу?
2. Чем объясняется более широкое применение способа Роквелла, чем Бринелля?
3. Размерность твердости, замеренной по Роквеллу?
4. Обозначение твердости по Роквеллу?
5. В каких случаях применяется твердосплавный конус или алмаз, а в каких – шарик?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3**МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ****Цель работы:**

Изучить методику проведения макроанализа, научиться самостоятельно проводить макроанализ металлов и сплавов, для чего использовать коллекцию изломов деталей сельскохозяйственных машин и дать их описание, ознакомиться с коллекцией макрошлифов и дать их описание.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Набор изломов деталей автомобилей и сельскохозяйственных машин.

2. Набор макрошлифов.
3. Бинокулярная лупа.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При макроскопическом анализе производится исследование макроструктуры. Макроструктурой называется строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении (10 – 30 раз) с помощью лупы.

Макростроение можно изучить непосредственно на поверхности металла (например, отливок, поковок), в изломе детали (заготовки) или на специальном образце после его шлифования и травления – макрошлифе.

При проведении макроанализа определяют:

- вид излома – кристаллический, волокнистый, смешанный;
- вид разрушения;
- нарушение сплошности металла – усадочную рыхлость, пористость, межкристаллические трещины, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри и др.);
- дендритное строение материалов;
- химическую неоднородность металла (ликвацию), наличие в нем грубых включений и вредных примесей;
- волокнистую структуру деформированного металла;
- структурную и химическую неоднородность металла, созданную термической, термомеханической или химико-термической обработкой.

МАКРОАНАЛИЗ ИЗЛОМОВ

Образцы изломов деталей (заготовок) получают специально в лабораторных условиях или собирают в процессе исследования надежности машин в эксплуатационных условиях.

Анализ излома позволяет установить многие особенности строения металлов, а в ряде случаев и причины хрупкого или вязкого разрушения.

Анализ строения излома более полно характеризует поведение металла при разрушении. По этому признаку различают изломы:

1. Кристаллический (блестящий) – наблюдается при хрупком разрушении материалов пониженной вязкости, происходящем без заметной пластической деформации.

2. Матовый или волокнистый – наблюдается при вязком разрушении, которому предшествовала значительная пластическая деформация.

3. Смешанный – кристаллический в одних участках и волокнистый в других, наблюдается при усталостном разрушении материала.

Смешанный излом характерен также для не полностью прокалившейся стали – в закаленной поверхностной зоне наблюдается волокнистый излом (фарфоровидный), а в середине – кристаллический.

На кристаллическом изломе можно наблюдать зерно, которое дает представление о внутреннем строении металла и его свойствах. Чем меньше зерно в изломе, тем выше механические свойства металла.

Волокнистый излом наблюдается при разрушении, связанном со значительной пластической деформацией, которая искажает действительную форму зерен, и кристаллическая структура не обнаруживается.

По отражению света излом может быть светлым (характерен для стали и белых чугунов, то есть чугунов, в которых весь углерод связан в виде цементита), и темным – у чугунов, содержащих углерод в виде графита (серых, ковких и высокопрочных).

МАКРОАНАЛИЗ ШЛИФОВ

Макрошлифом называется поверхность детали (образца), подготовленная для исследования макроструктуры.

Метод макроанализа макрошлифов дает возможность исследовать структуру, образующуюся в процессе кристаллизации или последующей обработки давлением. Этим способом можно выявить волокнистость, ликвацию серы и фосфора, различного вида дефекты: усадочную раковину, газовые пузыри, поры, трещины и другие.

Макрошлиф готовят шлифованием вырезанной поверхности детали (образца). Подготовленную поверхность травят соответствующим реактивом для выявления структуры.

Существует несколько способов макроанализа, проводимых на макрошлифах, различающихся конкретными задачами при исследовании конкретных деталей. Для выявления дендритного строения, химической и структурной неоднородности, а также волокнистой структуры стали используют реактивы глубокого и поверхностного травления. Реактивы поверхностного травления хорошо выявляют

сравнительно крупную пористость (например, в сварочных заготовках) и другие дефекты, выходящие на поверхность.

Для выявления таких дефектов, как флокены, трещины, поры (не выходящие непосредственно на поверхность шлифа), используют более агрессивные реактивы грубого травления.

Например, волокнистость металла, возникшая при обработке давлением, выявляется глубоким травлением макрошлифа в сильных кислотах, нагретых до 70 – 100 °С. При этом примеси, скопившиеся на границах зерен, растворяются быстрее основного металла, в результате чего образуется рельефная поверхность в виде тонких волокон. Волокнистость, повторяющая конфигурацию сечения детали, свидетельствует о правильной технологии горячей обработки давлением.

При несоответствии расположения волокон контуру детали в местах от перехода от одной конфигурации к другой создаются напряжения, сокращающие эксплуатационный срок службы детали.

Как указывалось выше, существует много рецептов приготовления реактивов и несколько способов проведения макроанализа. Например, для выявления ликвации серы применяют метод Баумана с использованием фотографической бромосеребряной бумаги, для определения ликвации углерода и фосфора используют реактивы Гейна и др.

Макроанализ не позволяет определить всех особенностей строения металла, поэтому он зачастую является не окончательным, а лишь предварительным видом исследования. По данным макроанализа можно выбрать те участки изучаемой детали, которые надо подвергнуть дальнейшему, более подробному микроскопическому исследованию.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить методику проведения макроанализа, ознакомиться с коллекцией изломов, макрошлифов и дать описание по схеме:

1. Тип излома.
2. Характеристика излома по отражению света (светлый или темный).
3. Мелкозернистая или крупнозернистая структура.
4. Монокристалл или поликристалл.
5. Наличие дефектов структуры, наблюдаемых на изломе.
6. Причины излома.

7. Характерная особенность структуры (зоны химико-термической обработки, строение сварных соединений, волокнистость строения).

8. Схема строения макроструктуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое макроанализ?
2. Что такое поликристалл?
3. Какую информацию дает анализ макрошлифов?
4. Какие типы изломов существуют?
5. Какую информацию дает анализ излома?
6. Какая зависимость существует между величиной зерна металла и его механическими свойствами?
7. Что может служить причиной излома?
8. Чем объясняется волокнистость структуры у кованных и штампованных деталей?
9. Что такое флокены?

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет должны быть включены ответы на контрольные вопросы. После исследования макроструктуры образцов и разрушенных деталей сельскохозяйственных машин заполнить таблицу 6.

Таблица 6

Протокол испытаний

№ п/п	Наименование образца или детали	Тип излома	Зернистость структуры	Наименование металла или сплава	Наличие дефектов структуры	Вид разрушения

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

Освоить технологию приготовления микрошлифов, ознакомиться с устройством металлографического микроскопа, рассмотреть на микроскопе микрошлиф до и после травления, дать схематическое изображение и описание микроструктуры, уяснить практическое значение данного метода исследования материалов.

Приборы, материалы, инструменты:

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Металлографический микроскоп ЛабоМет-1.
3. Коллекция микрошлифов.
4. Альбом микроструктур.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Между структурой и свойствами металлов и сплавов существует прямая зависимость. Поэтому в практике металловедения микроанализ является одним из основных методов, позволяющих наиболее полно изучить строение металлов и сплавов, получить исчерпывающие сведения об их свойствах.

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металлов. Наблюдаемая под микроскопом структура называется микроструктурой.

Микроскопический анализ проводят на оптическом микроскопе при увеличении от 50 до 1500 раз или на электронном микроскопе при увеличении порядка 5000 – 100000 раз.

При помощи микроанализа определяют:

- 1) форму и размер кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- 2) изменение внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав;
- 3) микропороки металла – микротрещины, раковины и т. п.;
- 4) неметаллические включения – сульфиды, оксиды и др.;

5) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами, и в некоторых случаях приблизительно определяют химический состав изучаемого сплава.

Для микроскопического анализа из исследуемого материала вырезают образец и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляются неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугуне (после шлифования и полирования) или микроструктура (после шлифования, полирования и травления).

Подготовленная для исследования под микроскопом поверхность образца называется микрошлифом.

Таким образом, микроскопический анализ состоит:

- 1) из приготовления микрошлифов;
- 2) из исследования микрошлифов с помощью металлографического микроскопа.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ

Изготовление микрошлифа включает следующие операции: отрезку образца, его торцовку, шлифование, полирование и травление.

Отрезка образца нужных размеров проводится резцом или ножовкой (при твердости металла HB < 300) или дисковым шлифовальным кругом (при твердости металла HB > 300) с охлаждением водой или эмульсией, чтобы образец не нагревался свыше 150 °С и его структура не изменялась.

Торцовка шлифа осуществляется с целью придания прямолинейности одной из его поверхностей и проводится опиловкой напильником или шлифовальным кругом.

Шлифование необходимо для удаления рисок, оставшихся от торцовки. Это достигается обработкой поверхности шлифа шлифовальной бумагой различной зернистости (разных номеров). Шлифовальная бумага отечественного производства имеет следующую нумерацию: 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3 (номер обозначает примерную величину зерна в сотых долях миллиметра). Для предварительного чернового шлифования бумагу берут первых четырех номеров. Заканчивают шлифование бумагой номерами 5–3 с мелкими абразивными зёрнами. Шлифование проводят вручную или на специальном шлифовальном станке. Вручную образец шлифуют так. Наждачную бумагу кладут на

толстое стекло, затем образец (шлиф) прижимают к бумаге и, удерживая его тремя пальцами, перемещают по ней в одном направлении, но обязательно перпендикулярно рискам от предыдущей обработки. Этому правилу необходимо придерживаться и при переходе с одного номера шлифовальной бумаги на другой, для удобства наблюдений за выведением рисок и ускорения процесса шлифования.

Полирование проводят на быстровращающемся диске с сукном, которое смачивается водой с взвешенными в ней частицами какого-либо абразива (окись хрома или алюминия). Частицы окиси металла тверды, поэтому во время полирования они производят резание металла образца. Так как эти частицы дисперсны, они способны снимать мельчайшие неровности, делая поверхность шлифа зеркального вида, без рисок даже при рассмотрении под микроскопом. Готовый полированный шлиф последовательно тщательно промывают водой, спиртом и сушат, прикладывая (промокая) фильтровальную бумагу.

Изучение полированной поверхности шлифа под микроскопом преследует цель определить качество его изготовления (отсутствие следов обработки) и установить характер расположения и размеры микроскопических трещин, неметаллических включений – графита, сульфидов, оксидов в металлической основе.

Выявление структуры металлической основы шлифа после полирования осуществляется травлением его реактивом. Для стали и чугуна чаще всего применяют 2...5 % раствор азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте. Полированную поверхность шлифа погружают в реактив на 3...15 секунд или протирают ватой, смоченной в реактиве, до появления ровного матового оттенка без наличия каких-либо пятен. Затем шлиф промывают спиртом или водой и просушивают фильтровальной бумагой.

Известно, что любой металл или сплав является поликристаллическим телом, то есть состоит из большого числа различно ориентированных в пространстве кристаллитов или зерен. На границах зерен (даже чистейших металлов) обычно располагают различные примеси. Эти примеси и структурные составляющие двухфазного строения (механические смеси) под действием реактива образуют микроскопические гальванические пары, что способствует более быстрому их растворению. Однофазные структуры (чистые металлы, твердые растворы, химические соединения) травятся медленнее. В результате неодинаковой степени травимости структурных составляющих на поверхности шлифа создается микрорельеф.

Изучение протравленной поверхности шлифа под оптическим микроскопом позволяет увидеть микроструктуру металлической основы. Она обычно состоит из светлых и темных участков. Это объясняется неодинаковой степенью отражения света от структурных составляющих.

УСТРОЙСТВО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА МИМ-7 И ПОРЯДОК ПОЛЬЗОВАНИЯ ИМ

Микроскопы, рассматривающие предметы в отраженном свете, называются металлографическими.

Основной частью металлографического микроскопа (рис. 25) является его оптическая система, состоящая из источника света, объектива, окуляра и т.д. Микроскоп может работать в нескольких режимах (в светлом поле, темном поле, поляризованном свете).

Микроскоп МИМ-7, оптическая схема которого приведена на рис. 36, состоит из двух взаимосвязанных увеличивающих систем объектива 10 и окуляра 13. Свет от осветительной лампы 1 проходит через коллектор 2 и падает на зеркало 3. Отразившись от зеркала, свет проходит через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 6, фотозатвор 19, полевую диафрагму 18, пентапризму 7, линзу 8 и падает на зеркало 9, установленное под углом 45° к оси тубуса. Свет от зеркала 9, пройдя оптическую систему объектива 10, падает на поверхность микрошлифа 11, отраженные лучи от которого вновь проходят через объектив 10, зеркало 9, линзу 12 и падают на зеркало 14. От этого зеркала отраженные лучи попадают в систему окуляра 13.

Для фотографирования визуальный тубус с оптической системой 13 и зеркалом 14 следует выдвинуть на себя до отказа. Лучи при этом проходят через фотоокуляр 15 и, отразившись от зеркала 16, падают на фотопластинку, где и образуют изображение.

Для работы в темном поле вместо линзы 8 устанавливается линза 20, в центре которой имеется черный кружок. Краевые лучи падают на кольцевое зеркало 21 (зеркало 9 закрывается заслонкой 23), отразившись от которого они концентрируются параболическим зеркалом 22 объектива. От зеркала 22 лучи поступают на микрошлиф, но отражаются только от отдельных фаз.

Для наблюдения в поляризованном свете на оправу линзы 6 помещают поляризатор 24, а на оправу линзы 12 – анализатор 25.

Общее увеличение микроскопа определяется как произведение увеличения окуляра 13 на увеличение объектива 10.

Объектив дает полезное увеличение объекта, то есть такое, которое добавляет новые детали в рассматриваемом объекте. Окуляр лишь увеличивает изображение, даваемое объективом, для удобства его рассмотрения, не внося в изображение новых деталей.

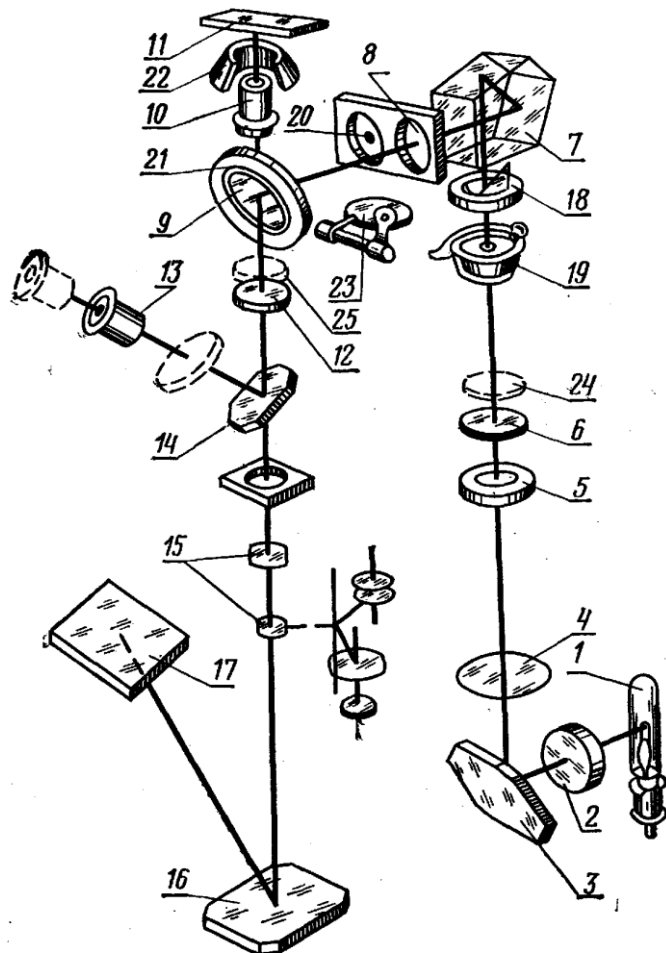


Рис. 25. Оптическая схема микроскопа МИМ-7:

- 1 – лампа; 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – пентапризм; 8 – линза; 9 – зеркало; 10 – объектив; 11 – микрошлиф; 12 – ахроматическая линза; 13 – окуляр; 14 – зеркало; 15 – фотоокуляр; 16 – зеркало; 17 – фотопластинка; 18 – полевая диафрагма; 19 – затвор; 20 – линза для работы в темном поле; 21 – кольцевое зеркало; 22 – параболическое зеркало; 23 – заслонка (включается при работе в темном поле); 24 – поляризатор; 25 – анализатор

УСТРОЙСТВО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА ЛАБОМЕТ-1 И ПОРЯДОК ПОЛЬЗОВАНИЯ ИМ

Микроскоп ЛабоМет-1 предназначен для изучения структуры металлов и других непрозрачных объектов в отраженном свете в светлом поле при прямом освещении.

Оптическая схема микроскопа представлена на рисунке 26.

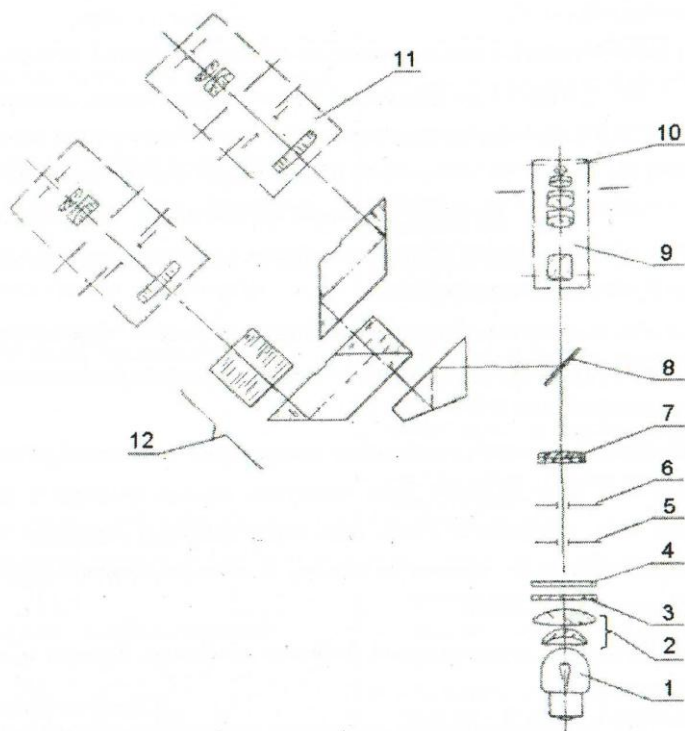


Рис. 26. Оптическая схема микроскопа ЛабоМет-1:
1 – источник света; 2 – коллектор; 3 – теплофильтр;
4 – светофильтр; 5 и 6 – диафрагмы; 7 – осветительная линза;
8 – пластина; 9 – объектив; 10 – объект; 11 – окуляры;
12 – призмы

При наблюдении в светлом поле лучи от источника света 1 проходят через коллектор 2, теплофильтр 3, светофильтр 4, диафрагмы 5 и 6, осветительную линзу 7, плоскопараллельную полупрозрачную пластину 8 и направляются через объектив 9 на объект 10.

Лучи, отраженные от поверхности объекта 10, снова проходят через объектив 9, который проецирует изображение объекта в фокальную плоскость окуляров 11, отражаясь от светоделительной пла-

стинки 8. С помощью системы призм 12 изменяется направление оптической оси микроскопа и разделяется пучок лучей в насадке, тем самым обеспечивается возможность бинокулярного наблюдения объекта.

Общий вид микроскопа представлен на рисунке 27.

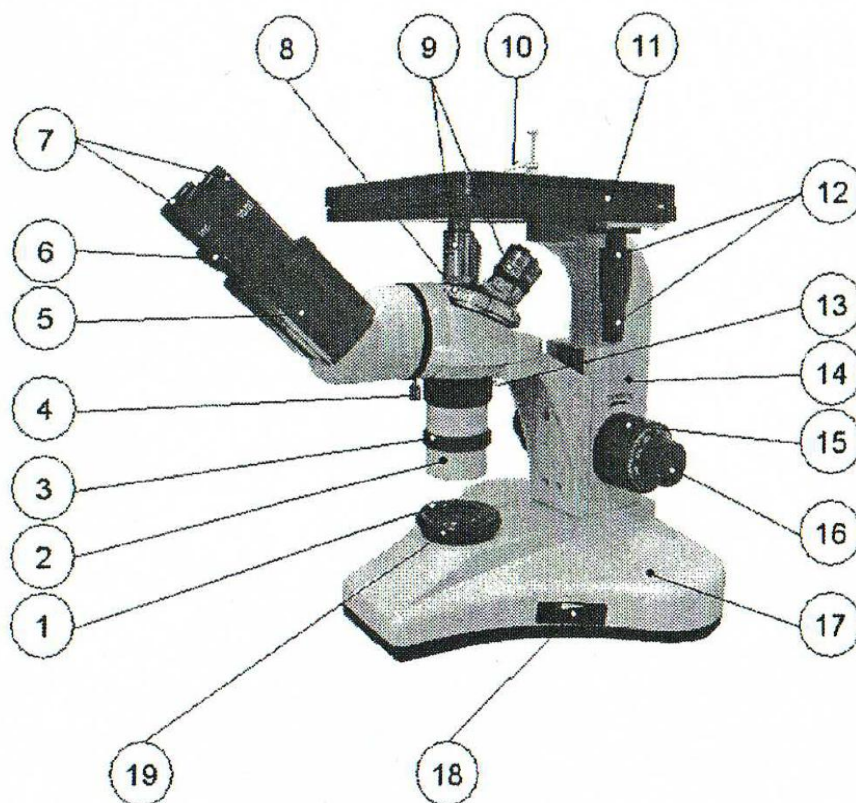


Рис. 27. Общий вид микроскопа ЛабоМет-1:

1 – паз для установки светофильтра; 2 – осветитель отраженного света; 3 – рукоятка для регулировки диафрагмы; 4 – винт крепления насадки; 5 – бинокулярная насадка; 6 – кольцо диоптрийного механизма перемещения окуляра; 7 – окуляры; 8 – револьверное устройство; 9 – объективы; 10 – прижим; 11 – координатный предметный столик; 12 – рукоятки перемещения столика по осям «X» и «Y»; 13 – винт крепления декоративной заглушки; 14 – штатив; 15 – рукоятка грубой фокусировки; 16 – рукоятка микрометрической фокусировки; 17 – основание; 18 – рукоятка регулировки накала лампы; 19 – рукоятка регулировки диаметра апертурной диафрагмы (регулировка контраста изображения)

Фокусировка микроскопа на объект производится следующим образом:

1. Опустите до упора осветитель с системой визуализации.
2. Поместите на координатный предметный столик 11 объект.
3. Включите в ход лучей объектив увеличением 4 или 10 вращением диска револьверного устройства 8 до фиксированного положения. Рекомендуется начинать фокусировку с объективом малого или среднего увеличения, имеющего большое рабочее расстояние и большое поле зрения.
4. Вращением рукояток 15 грубой фокусировки осторожно поднимите осветитель с объективами 9 до упора (или почти до соприкосновения фронтальной линзы объектива с объектом).
5. Наблюдая правым глазом в окуляр, установленный в правый окулярный тубус бинокулярной насадки 5, и медленно опуская осветитель с системой визуализации вращением рукояток 15 и 16 грубой и тонкой фокусировок в направлении «к наблюдателю», сфокусируйте микроскоп на резкое изображение объекта.
6. Наблюдая левым глазом в окуляр, установленный в левый окулярный тубус бинокулярной насадки 5, не трогая рукояток фокусировок, получите резкое изображение объекта вращением кольца 6 диоптрийного механизма левого окулярного тубуса бинокулярной насадки.
7. Сдвиньте или раздвиньте окулярные тубусы насадки таким образом, чтобы изображения объекта в каждом окулярном тубусе при наблюдении двумя глазами воспринимались как одно.

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО К ОБРАЩЕНИЮ С МИКРОСКОПОМ

Микроскоп является точным прибором, требующим самого аккуратного и осторожного обращения с ним. Прежде чем приступить к работе с микроскопом, нужно сначала ознакомиться с его устройством, то есть, с его схемой, с отдельными основными частями, их взаимным расположением и назначением.

1. Работая с микроскопом, нельзя допускать быстрых и резких движений (рывков) при наводке объектива на фокус, при установке и перемене оптики (объективов и окуляров). Если вращение макро- и микровинтов почему-либо затруднено, то нельзя применять силу и стремиться во что бы то ни стало повернуть винт, так как это может повлечь за собой смятие резьбы, то есть порчу микроскопа.

2. При наводке на фокус во избежание ударов фронтальной линзой объектива о поверхность микрошлифа следует сначала при помощи микровинта приблизить объектив как можно ближе к поверхности микрошлифа (смотря при этом на объектив и шлиф), а затем медленным подниманием объектива вверх с помощью того же микровинта произвести наводку на фокус.

3. Нельзя на предметный столик микроскопа ставить шлиф, не просушенный после травления, так как травящий реактив (раствор кислоты и т. п.), стекая со шлифа на объектив, а также предметный столик может повредить микроскоп.

4. Плоскость рассматриваемого шлифа должна быть установлена перпендикулярно оси микроскопа, иначе изображение исследуемой структуры не будет равномерно четким, а будет искаженным.

5. Ни в коем случае нельзя водить шлифом по столику и трогать его поверхность пальцами.

6. Без руководителя нельзя трогать ответственные части микроскопа, кроме макро- и микроскопических винтов и винтов предметного столика, так как микроскоп отрегулирован, и смещение частей приводит к трудно выполняемой работе по новой регулировке.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические сведения и последовательность приготовления микрошлифов.

2. Ознакомиться с оптической схемой микроскопов МИМ-7 и ЛабоМет-1.

3. Изучить микроструктуру шлифа под микроскопом до и после травления.

4. Зарисовать схему увеличенной микроструктуры, указав строение материала (металлическую основу, неметаллические включения, границы и размер зерен).

5. Определить общее увеличение микроскопа.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет включить ответы на контрольные вопросы, оптическую схему микроскопа, рисунки схем микроструктур исследуемых образцов (по заданию преподавателя).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое микроанализ металлов?

2. Какую информацию можно получить при проведении микроанализа металлов и сплавов?
3. Какие основные требования предъявляются к операциям «вырезание», «торцовка» при приготовлении микрошлифов?
4. Для чего проводится травление микрошлифов?
5. Каков порядок изготовления микрошлифа?
6. Назначение объектива и окуляра в микроскопе?
7. Какое максимальное увеличение можно получить на микроскопе?
8. Как определить общее увеличение микроскопа?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ I

1. **Группа металлов, к которой относятся железо и его сплавы, – это...**

- A) диамагнетики
- B) металлы с высокой удельной прочностью
- C) тугоплавкие
- D) черные

2. **Металл (сплав), который относят к черным, – это...**

- A) баббит
- B) дуралюмин
- C) коррозионностойкая сталь
- D) латунь

3. **Группа металлов, к которой относится вольфрам, – это...**

- A) актиноиды
- B) благородные
- C) редкоземельные
- D) тугоплавкие

4. **Группа, в которой содержатся только тугоплавкие металлы, – это...**

- A) вольфрам, железо
- B) молибден, цирконий
- C) никель, алюминий
- D) титан, актиний

5. **Вещество, которое не является металлом, – это...**

- A) пластмасса
- B) закаленная сталь
- C) бронза
- D) бериллий

6. **Метод испытаний, который является структурным, – это...**

- A) испытание на разрыв
- B) измерение твердости
- C) микроанализ

D) испытание на свариваемость

7. Элементарная кристаллическая решетка – это...

A) тип кристаллической решетки, характерный для данного химического элемента

B) минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку

C) кристаллическая ячейка, содержащая один атом

D) бездефектная (за исключением точечных дефектов) область кристаллической решетки

8. Свойство, состоящее в способности вещества существовать в различных кристаллических модификациях, – это...

A) полиморфизм

B) изомерия

C) анизотропия

D) текстура

9. Вещества, обладающие анизотропией, – это...

A) парамагнетики

B) монокристаллы

C) вещества, обладающие полиморфизмом

D) переохлажденные жидкости

10. Метод испытаний, который является структурным, – это...

A) испытание на разрыв

B) измерение твердости

C) макроанализ

D) испытание на свариваемость

11. Вид поверхности разрушения при усталостном изломе – это...

A) поверхность имеет волокнистое строение

B) поверхность гладкая

C) поверхность имеет кристаллическое строение

D) на поверхности имеются две зоны – с волокнистым и с кристаллическим строением

12. Поверхность излома, характерная для вязкого разрушения, – это...

- А) волокнистая, матовая
- В) блестящая, кристаллическая
- С) мелкокристаллическая
- Д) крупнокристаллическая

13. Структура металла, обеспечивающая получение высоких механических свойств, – это...

- А) дендритная
- В) мелкокристаллическая
- С) крупнокристаллическая
- Д) столбчатая

14. Микроанализ – это...

- А) визуальное исследование
- В) исследование при помощи микроскопов
- С) испытания на твердость
- Д) исследование при помощи лупы

15. Микрошлиф – это...

- А) образец металла
- В) поверхность образца, подготовленная для исследования микроструктуры
- С) поверхность образца, подготовленная для исследования макроструктуры
- Д) поверхность образца, подготовленная для измерения твердости

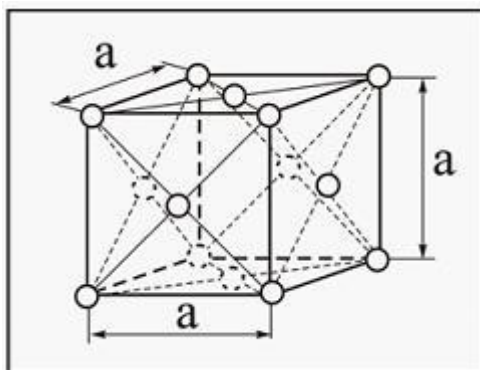
16. Прибор, применяемый для изучения структуры металлов и сплавов, – это...

- А) микроскоп
- В) спектроскоп
- С) структуроскоп
- Д) телескоп

17. Отличительная особенность кристаллического состояния вещества – это...

- A) высокая электропроводность
- B) высокая ковкость
- C) наличие только ближнего порядка в расположении частиц
- D) наличие дальнего порядка в расположении частиц

18. Кристаллическая решетка, элементарная ячейка которой представлена на рисунке, – это...



- A) гранецентрированная кубическая
- B) примитивная кубическая
- C) объемно-центрированная кубическая
- D) тетрагональная

19. Дефект кристаллической решетки, представляющий собой край лишней полуплоскости, – это...

- A) двойник
- B) граница зерна
- C) дислокация
- D) вакансия

20. Линейный дефект кристаллической решетки – это...

- A) дислокация
- B) трещина
- C) граница зерна
- D) вакансия

21. Свойство, заключающееся в зависимости свойств от направления в кристалле, – это...

- A) анизотропия
- B) аллотропия
- C) полиморфизм
- D) изомерия

22. Установите соответствие вида дефекта кристаллической решетки его названию:

Вид дефекта:

- 1) Линейный дефект
- 2) Точечный дефект

Название дефекта:

- А) вакансия
- В) дислокация
- С) примесный атом

1 - ____; 2 - ____.

23. Установите соответствие названия металлов их месту в классификации:

Название металла:

- 1) Железо
- 2) Алюминий

Классификация:

- А) благородный
- В) черный
- С) цветной

1 - ____; 2 - ____.

24. Дополните:

Процесс перехода металла из жидкого состояния в твердое состояние с образованием пространственной кристаллической решетки называется _____.

25. Обозначение на чертеже HRC 60 означает...

- А) твердость по Бринеллю
- В) твердость по Роквеллу, измеренная алмазным конусом
- С) ударная вязкость
- Д) относительное сужение материала при растяжении

26. Индентор при измерении твёрдости по методу Роквелла (шкала С) – это...

- А) алмазная пирамида
- В) стальной конус
- С) алмазный конус
- Д) стальной шар

27. Размерность твердости по Роквеллу –это...

- А) кг/мм²
- В) мм
- С) кг/мм

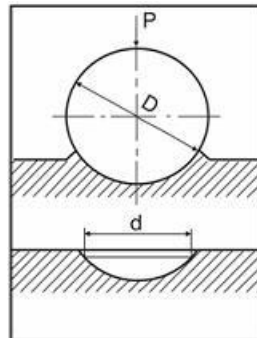
D) твердость по Роквеллу – величина безразмерная

28. **Обозначение твердости по Виккерсу – это...**

- A) HB
- B) HRC
- C) HV
- D) HRA

29. **Метод измерения твердости, схема которого представлена на рисунке, – это метод...**

- A) Бринелля
- B) Виккерса
- C) Роквелла
- D) Шора



30. **Единицы измерения временного сопротивления (предела прочности) – это...**

- A) %
- B) ампер
- C) МПа
- D) МДж/м²

31. **Обозначение ударной вязкости – это...**

- A) HV
- B) HB
- C) HRC
- D) KCU

32. **Единицы измерения твердости по Бринеллю – это...**

- A) мм
- B) мм²
- C) кг/мм

D) МПа

33. Свойство материала, которое характеризует его сопротивление упругому и пластическому деформированию при вдавливании в него другого, более твердого тела, – это...

- A) выносливость
- B) прочность
- C) упругость
- D) твердость

34. Механическое свойство, определяющее способность металла сопротивляться деформации и разрушению при статическом нагружении, – это...

- A) прочность
- B) твердость
- C) ударная вязкость
- D) живучесть

35. Свойство, состоящее в способности вещества существовать в различных кристаллических модификациях, – это...

- A) аллотропия
- B) изомерия
- C) анизотропия
- D) текстура

36. Неоднородность свойств в различных направлениях заготовки – это...

- A) анизотропия
- B) ликвация
- C) строчечность
- D) полосчатость

37. Причина, по которой не рекомендуется проводить на приборе Бринелля исследования образцов с твердостью выше 450 кг/мм², – это...

- A) выйдет из строя пресс
- B) мощность прессы окажется недостаточной для проведения испытания

С) из-за деформации шарика результаты испытания могут оказаться неточными

38. Шкала, которая используется при замере твердости по Роквеллу металлов и сплавов после химико-термической обработки, – это...

- A) А
- B) В
- C) С

39. Шкала, которая используется при замере твердости по Роквеллу незакаленных сталей, – это...

- A) А
- B) В
- C) С

40. Шкала, которая используется при замере твердости по Роквеллу цветных металлов и сплавов, – это...

- A) А
- B) В
- C) С

41. Обозначение на чертеже HRB 90 – это...

- A) твердость по Бринеллю
- B) твердость по Роквеллу, измеренная стальным шариком
- C) ударная вязкость
- D) относительное сужение материала при растяжении

42. Устройство, на котором определяют предел прочности (временное сопротивление), – это...

- A) твердомер
- B) маятниковый копер
- C) разрывная машина
- D) пресс

43. Установите соответствие группы свойств названию свойства:

Группа свойств:

- 1) Механическое свойство
- 2) Технологическое свойство

Название свойства:

- А) экономичность
- В) прочность
- С) свариваемость

1 - ____; 2 - ____.

44. Установите соответствие метода измерения твердости обозначению твердости:

Метод измерения твердости:

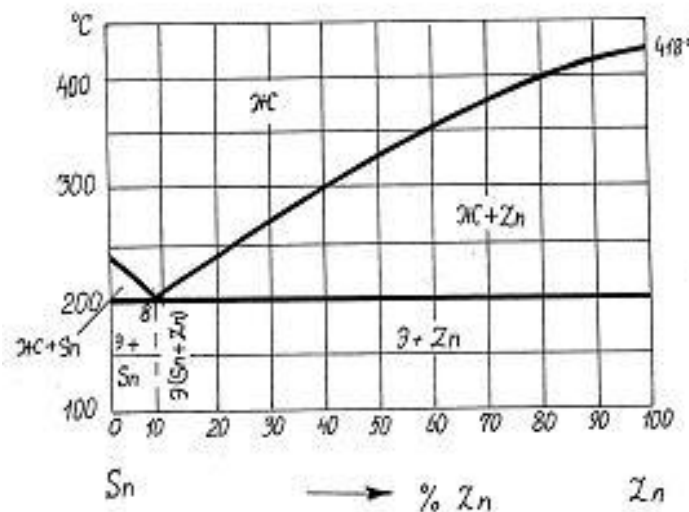
- 1) По Бринеллю
- 2) По Роквеллу

Обозначение:

- А) HB
- В) HRC
- С) HV

1 - ____; 2 - ____.

45. Фазовый состав сплава, содержащего 60 % Zn и 40 % Sn, при температуре 300 °С – это ...

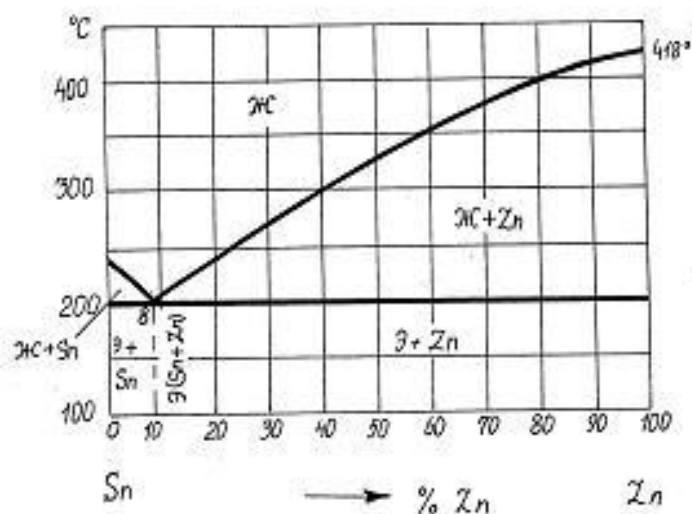


- А) эвтектическая смесь кристаллов Zn и Sn
- В) жидкая фаза и кристаллы Zn
- С) жидкая фаза
- Д) жидкая фаза и кристаллы Sn

46. Уравнение правила фаз (при постоянном атмосферном давлении) имеет вид...

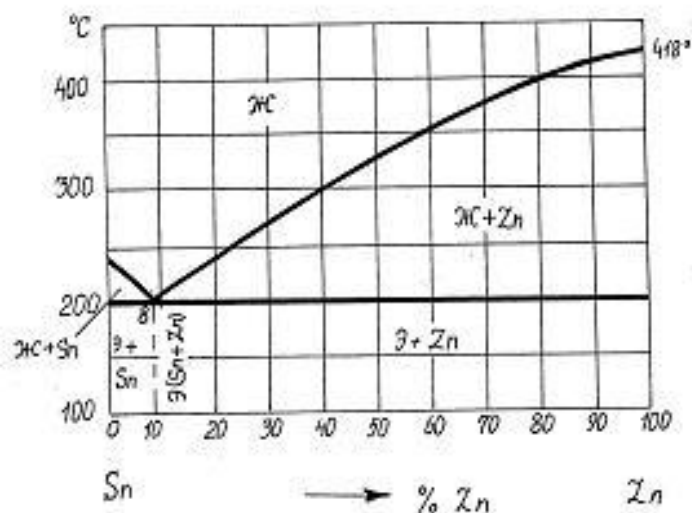
- А) $C = K + F - 1$
- В) $C = F + K + 1$
- С) $C = F - K + 1$
- Д) $C = K - F + 1$

47. Фазовый состав сплава, содержащего 60 % Zn и 40 % Sn, при температуре 400 °С – это ...



- A) эвтектическая смесь кристаллов Zn и Sn
- B) жидкая фаза и кристаллы Zn
- C) жидкая фаза
- D) жидкая фаза и кристаллы Sn

48. Фазовый состав сплава, содержащего 60 % Zn и 40 % Sn, при температуре 150 °С – это ...



- A) эвтектика и кристаллы Zn
- B) жидкая фаза и кристаллы Zn
- C) жидкая фаза
- D) жидкая фаза и кристаллы Sn

49. Линия начала кристаллизации на диаграммах состояния – это...

- A) ликвидус
- B) солидус
- C) эвтектическая линия
- D) перитектическая линия

50. Линия конца кристаллизации на диаграммах состояния – это...

- A) ликвидус
- B) солидус
- C) эвтектическая линия
- D) перитектическая линия

51. Эвтектика – это...

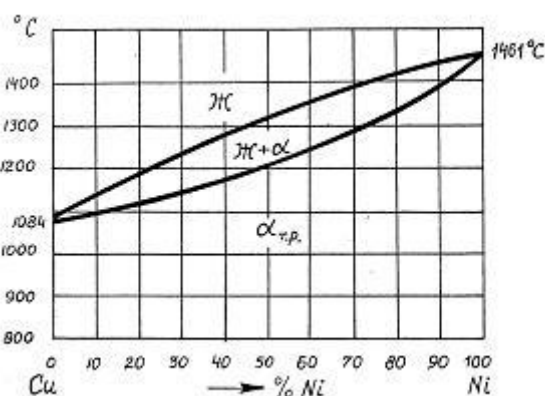
A) вещество, образующееся при некотором соотношении компонентов и имеющее кристаллическую решетку, отличную от решеток, составляющих эвтектику веществ

B) ограниченный твердый раствор компонентов друг в друге

C) неограниченный твердый раствор компонентов друг в друге

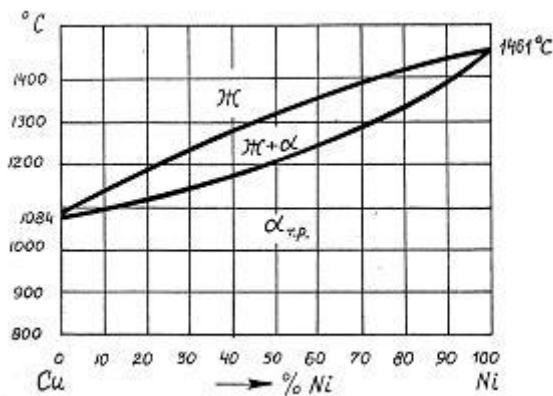
D) смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости

52. Фазовый состав сплава, содержащего 20 % Ni и 80 % Cu, при температуре 1300 °C – это...



- A) твердый раствор никеля в меди
- B) жидкая фаза (жидкий раствор никеля в меди)
- C) жидкая фаза и кристаллы твердого раствора никеля в меди
- D) механическая смесь кристаллов никеля и меди

53. Фазовый состав сплава, содержащего 30 % Ni и 70 % Cu, при температуре 1200 °C – это...



- А) твердый раствор никеля в меди
- В) жидкий раствор никеля в меди
- С) жидкая фаза и кристаллы твердого раствора никеля в меди
- Д) механическая смесь кристаллов никеля и меди

54. Правило, по которому определяют состав и количество фаз в двухфазных областях диаграмм равновесия, – это правило...

- А) Гиббса
- В) отрезков
- С) Курнакова
- Д) фаз

55. Координаты, в которых строят диаграммы состояния двухкомпонентных систем, – это...

- А) скорость охлаждения-состав
- В) температура-время
- С) время-состав
- Д) температура-состав

56. Дополните:

Линия начала кристаллизации на диаграммах состояния называется линией _____.

57. Дополните:

Линия конца кристаллизации на диаграммах состояния называется линией _____.

58. Количество углерода, содержащегося в чугунах, более...

- A) 0,02 %
- B) 0,8 %
- C) 2,14 %
- D) 4,3 %

59. Количество углерода, содержащегося в сталях, менее...

- A) 0,02 %
- B) 0,8 %
- C) 2,14 %
- D) 4,3 %

60. Количество углерода (C, %), которое содержится в углеродистой заэвтектоидной стали, составляет...

- A) $0,02 < C < 0,8$
- B) $4,3 < C < 6,67$
- C) $2,14 < C < 4,3$
- D) $0,8 < C < 2,14$

61. Количество углерода (C, %), которое содержится в углеродистой эвтектоидной стали, составляет...

- A) $0,02 < C < 0,8$
- B) $4,3 < C < 6,67$
- C) 0,8
- D) $0,8 < C < 2,14$

62. Количество углерода (C, %), которое содержится в углеродистой доэвтектоидной стали, составляет...

- A) $0,02 < C < 0,8$
- B) $4,3 < C < 6,67$
- C) $2,14 < C < 4,3$
- D) $0,8 < C < 2,14$

63. Структурный состав заэвтектоидной стали при температуре ниже 727 °С, – это...

- A) ледебурит + первичный цементит
- B) феррит + третичный цементит
- C) перлит + вторичный цементит
- D) феррит + перлит

64. Структурный состав доэвтектоидной стали при температуре ниже 727 °С, – это...

- A) ледебурит + первичный цементит
- B) феррит + третичный цементит
- C) перлит + вторичный цементит
- D) феррит + перлит

65. Структурный состав эвтектоидной стали при температуре ниже 727 °С, – это...

- A) перлит
- B) феррит + третичный цементит
- C) перлит + вторичный цементит
- D) феррит + перлит

66. Изменение механических свойств при увеличении содержания углерода в стали – это...

- A) твердость и пластичность увеличиваются
- B) твердость уменьшается, пластичность – увеличивается
- C) твердость увеличивается, пластичность – уменьшается
- D) твердость и пластичность уменьшаются

ГЛАВА II. КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПЛАВЫ

ТЕМА 5. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Основной продукцией черной металлургии является сталь, причем приблизительно 90 % изготавливается углеродистой стали и 10 % легированной.

Углеродистая сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим углерод и ряд постоянных или неизбежных примесей (Mn, Si, S, O, H и др.), которые оказывают влияние на ее свойства. Присутствие этих примесей объясняется трудностью удаления части из них при выплавке (S, P), переходом их в сталь в процессе раскисления (Mn, Si) или из шихты – легированного металлического лома (Cr, Ni и др.). Эти же примеси, но в больших количествах, присутствуют и в чугунах.

5.1. ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА И ПОСТОЯННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

Структура стали после медленного охлаждения состоит из двух фаз – феррита и цементита. Количество цементита возрастает в стали прямо пропорционально содержанию *углерода*.

Частицы Ц повышают сопротивление движению дислокаций, то есть повышают сопротивление деформации, и, кроме того, они уменьшают пластичность и вязкость. Вследствие этого, с увеличением в стали содержания углерода возрастает твердость, временное сопротивление, предел текучести, уменьшаются относительное удлинение, относительное сужение и ударная вязкость.

С увеличением содержания углерода в стали снижается плотность, растут электросопротивление и коэрцитивная сила, уменьшаются теплопроводность и магнитная проницаемость.

Марганец и кремний – полезные примеси. Марганец устраняет вредное действие серы, образуя сернистый марганец (MnS), значительное количество которого всплывает и удаляется вместе со шлаком. К тому же сернистый марганец менее вреден, чем сернистое железо. Марганец и кремний растворяются в феррите, повышая его прочность. Углеродистые стали содержат около 0,8 % Mn и 0,5 % Si.

Сера и фосфор – вредные примеси. Они попадают в сталь с исходным сырьем.

Сера образует с железом соединение FeS и эвтектику Fe-FeS с температурой плавления 988 °С. При нагревании стали до температур для пластической деформации выше 1000 °С эта эвтектика, располагающаяся по границам зерен, плавится и придает стали красноломкость, то есть большую хрупкость. Содержание серы в сталях допускают не более 0,05 %.

Фосфор растворяется в феррите и резко снижает его пластичность при низких температурах, то есть вызывает хладноломкость. Фосфор обладает большой склонностью к ликвации, создавая хрупкие участки, богатые фосфором. Содержание фосфора в углеродистой стали допускается до 0,05 %.

Азот (N₂) и кислород (O₂) присутствуют в стали в виде хрупких неметаллических включений (например, окислов FeO, SiO₂, Al₂O₃, нитридов Fe₄N и др.), как твердые растворы или в свободном виде. Они располагаются в дефектных участках металла (раковинах, трещинах и др.). Нитриды и оксиды, выделяясь по границам зерен, повышают порог хладноломкости и понижают сопротивление хрупкому разрушению.

Очень вредным является растворенный в металле *водород*, который сильно охрупчивает сталь. Поглощенный при выплавке стали водород не только охрупчивает сталь, но приводит к образованию в катанных заготовках *флокенов*. Флокены представляют собой очень тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен - хлопьев серебристого цвета. Флокены резко ухудшают свойства стали.

Радикальным средством уменьшения содержания указанных элементов в стали является выплавка или разливка металла в вакууме. Вакуумированный металл обладает более высокими свойствами вследствие высокой чистоты по неметаллическим включениям и отсутствием растворенных газов.

5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Углеродистые стали классифицируют по содержанию углерода, назначению, качеству, степени раскисления и структуре в равновесном состоянии.

По содержанию углерода стали подразделяются на низкоуглеродистые (0,3 % < C), среднеуглеродистые (0,3...0,7 % C) и высокоуглеродистые (C > 0,7 %).

По назначению стали классифицируют на конструкционные и инструментальные. Конструкционные стали представляют наиболее обширную группу, предназначенную для изготовления строительных сооружений, деталей машин и приборов. К этим сталям относят цементуемые, улучшаемые, высокопрочные и рессорно-пружинные. Инструментальные стали подразделяют на стали для режущего, измерительного инструмента, штампов холодного и горячего деформирования.

По качеству стали подразделяют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные. Под качеством стали понимается совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Нормы содержания вредных примесей служат основными показателями для разделения сталей по качеству. Стали обыкновенного качества содержат до 0,06 % S и 0,07 % P, качественные – не более 0,04 % S и 0,035 % P, высококачественные – не более 0,025 % S и 0,025 % P. Стали обыкновенного качества бывают только углеродистыми (до 0,5 % C), качественные и высококачественные – углеродистыми и легированными.

По степени раскисления стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие. *Раскисление* – процесс удаления из жидкого металла кислорода и оксидов, проводимый с целью предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием, алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовой выделенной. Кипящие стали раскисляют марганцем. Перед разливкой в них содержится повышенное содержание кислорода, который при затвердевании слитка или отливки частично взаимодействует с углеродом и удаляется в виде CO. Выделение пузырьков CO создает впечатление кипения стали, с чем и связано ее название. Кипящие стали достаточно дешевые, их производят низкоуглеродистыми и практически без кремния ($Si < 0,07\%$), но с повышенным количеством газовых примесей.

Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

Легированные стали производят спокойными, углеродистые – спокойными, полуспокойными и кипящими.

По структуре в равновесном состоянии стали делятся на доэвтектоидные (в структуре – феррит и перлит), эвтектоидные (перлит) и заэвтектоидные (перлит и цементит вторичный).

5.3. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-88) выпускают в виде проката (прутки, балки, листы, уголки, швеллеры и т.п.) в нормализованном состоянии и в зависимости от назначения и комплекса свойств подразделяют на группы: А, Б, В.

Группа А – это стали, поставляемые по механическим свойствам без уточнения их химического состава. Их обозначают буквами Ст (сталь) и цифрами, обозначающими порядковый номер стали, - 0, 1, 2, 3, ..., 6 (то есть Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6). Чем больше цифра, тем больше содержание углерода, и, следовательно, выше прочность и ниже пластичность.

Стали группы А используют в состоянии поставки для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обработкой. В этом случае они сохраняют структуру нормализации и механические свойства, гарантируемые составом.

Группа Б – это стали, поставляемые с гарантируемым химическим составом, в обозначении марки сталей впереди ставится буква Б (в основном, регламентируется содержание С, Mn, Si) – БСт0, БСт1, ..., БСт6. Механические свойства при этом не гарантируются. Чем больше число в марке, тем выше содержание С и Mn.

Стали этой группы применяют для изделий, изготавливаемых с применением горячей обработки. Для таких сталей важны сведения о химическом составе, необходимые для определения режима горячей обработки.

Группа В – это стали повышенного качества. Их поставляют с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. В обозначение марки вводится буква В (ВСт1, ..., ВСт5). Стали группы В дороже, чем стали групп А и Б, их применяют для ответственных деталей (для производства сварных конструкций). В этом случае важно знать исходные механические свойства стали, так как они сохраняются неизменными в участках, не подвергаемых нагреву при сварке. Для оценки свариваемости важны сведения о химическом составе.

При маркировке сталей обыкновенного качества степень раскисления обозначается добавлением индексов: в спокойных сталях – "сп", полуспокойных – «пс», кипящих – «кп», например, Ст3сп, БСт3пс или ВСт4кп. Спокойными и полуспокойными производят

стали Ст1-Ст6, кипящими – Ст1-Ст4 всех групп. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Углеродистые стали обыкновенного качества (всех трех групп) предназначены для изготовления различных металлоконструкций, а также слабонагруженных деталей машин и приборов. Способностью к сварке и к холодной обработке давлением отвечают стали групп Б и В номеров 1-4, поэтому из них изготавливают сварные фермы, различные рамы и строительные металлоконструкции.

Стали номеров 5 и 6, обладающие большей прочностью, предназначены для рельсов, железнодорожных колес, а также валов, шкивов, шестерен и других деталей грузоподъемных машин, некоторые детали из этих сталей групп Б и В подвергаются термической обработке – закалке с последующим высоким отпуском.

К недостаткам углеродистых сталей обыкновенного качества можно отнести то, что они часто не обеспечивают необходимых качеств по хладостойкости. Существенным их недостатком является и их малая прочность, что приводит к большому расходу металла и увеличению массы металлоконструкций. Решаются эти проблемы путем термического упрочнения углеродистых сталей и применения низколегированных сталей.

5.4. УГЛЕРОДИСТЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ СТАЛИ

Качественные углеродистые стали выплавляют с соблюдением более строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разливки. К ним предъявляют более высокие требования по химическому составу: содержание серы не более 0,04 %, фосфора – 0,035 %, а также меньшее количество неметаллических включений, регламентированные макро- и микроструктура. Маркируют эти стали (ГОСТ 1050-88) двузначными цифрами 05, 08, 10, 15, 20, ..., 75, 80, 85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 20 содержит в среднем 0,20 % С, сталь 70 – 0,70 % С и т.д.

Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие – с индексом соответственно «пс» и «кп». Кипящие стали производят марок 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, полуспокойные – 08пс, 10пс, 15пс, 20пс.

Качественные стали широко применяются в машиностроении и приборостроении, так как за счет разного содержания углерода в них,

а соответственно и термической обработки можно получить широкий диапазон механических и технологических свойств.

Низкоуглеродистые стали 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп отличаются малой прочностью и высокой пластичностью в холодном состоянии. Эти стали производят в основном в виде тонкого листа и используют после отжига или нормализации для холодной штамповки с глубокой вытяжкой. Глубокая вытяжка из листа этих сталей применяется при изготовлении консервных банок, эмалированной посуды и других промышленных изделий.

Спокойные стали 08, 10 применяют в отожженном состоянии для конструкций невысокой прочности – изготовления емкостей, труб и т.д.

Стали 10, 15, 20 и 25 также относятся к низкоуглеродистым сталям, они пластичны, хорошо свариваются и штампуются. Для увеличения поверхностной прочности этих сталей их цементируют (насыщают поверхность углеродом) и применяют для изготовления деталей небольшого размера, например, слабонагруженных зубчатых колес, кулачков и т.д.

Поверхностный слой с покрытием можно упрочнить закалкой в воде с последующим низким отпуском. Сердцевина же из-за низкой прокаливаемости этих сталей практически не упрочняется.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45 и 50 в нормализованном состоянии отличаются повышенной прочностью, но меньшей вязкостью и пластичностью. В зависимости от условий работы деталей из этих сталей к ним применяют различные виды термической обработки: нормализацию, улучшение, закалку с низким отпуском, закалку ТВЧ и др. Эти стали применяют для изготовления небольших валов, шатунов, зубчатых колес и деталей, испытывающих циклические нагрузки. В крупногабаритных деталях больших сечений из-за плохой прокаливаемости механические свойства значительно снижаются.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 80 и 85 используют в основном, для изготовления пружин, рессор, высокопрочной проволоки и других изделий с высокой упругостью и износостойкостью. Их подвергают закалке и среднему отпуску на структуру троостит.

5.5. ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ.

АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ

Большинство деталей, за исключением получаемых из листа, тонкой проволоки или калиброванных прутков, изготавливают *обра-*

боткой резанием, хотя в настоящее время явно намечается тенденция перехода на другие бесстружечные методы изготовления деталей.

Улучшение обрабатываемости стали – основного конструкционного материала – имеет весьма важное практическое значение.

Вопрос о связи обрабатываемости со структурой и составом стали теоретически еще полностью не изучен.

Приблизительно можно считать, что повышение твердости или прочности снижает обрабатываемость (определяемую по скорости резания) и в первом приближении даже мало зависит от состава стали.

Однако при одинаковом значении твердости различия в структуре и составе могут обусловить значительные различия в обрабатываемости.

Большое значение имеет теплопроводность стали. Стали с аустенитной структурой обладают малой теплопроводностью. Выделяющееся при резании тепло мало поглощается изделием, а в основном концентрируется в точках резания и разогревает режущую кромку инструмента, что снижает его стойкость. Поэтому, несмотря на низкую твердость, аустенитные стали обрабатываются плохо.

Размер зерна в стали, не влияя заметно на твердость, существенно влияет на обрабатываемость. Крупнозернистая сталь, обладая пониженной вязкостью, лучше обрабатывается резанием. Пониженная вязкость создает так называемую «обработочную хрупкость», способствует более легкому отделению и получению сыпучей, недлинной стружки.

Относительно влияния состава стали, следует отметить, что увеличение содержания углерода в стали вследствие упрочнения приводит к снижению обрабатываемости. Тем не менее, очень низкоуглеродистые стали и техническое железо обрабатываются плохо, вследствие их большой вязкости и пластичности, кроме того, при их обработке получается длинная трудноудаляемая стружка.

Особое внимание следует обратить на влияние фосфора и серы. Оба этих элемента не только повышают стойкость инструмента, но и способствуют получению обработанной поверхности лучшего качества. Поэтому для изготовления малоответственных деталей применяют так называемые *автоматные стали* – низкоуглеродистые стали с повышенным содержанием S и P. К недостаткам серофосфористых сталей относятся не только пониженная пластичность и вязкость, но и

повышенная склонность к коррозии. Кроме серы, улучшают обрабатываемость стали селен и теллур.

Автоматные стали маркируют буквой А (автоматная) и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1414-75). Если автоматная сталь легирована свинцом, то обозначение марки начинается с сочетания букв «АС» (АС14).

Лучше всех обрабатывается серофосфористая сталь А12 (0,08...0,16 % С; 0,7...1,0 % Мп; 0,15...0,35 % Si; 0,08...0,20 % S; 0,08...0,20 % Р). Из нее изготавливают неотчетственные детали массового производства.

ТЕМА 6. ЧУГУНЫ

Чугуны – более дешевый материал, чем стали. Содержание углерода в них больше 2,14 %. Они обладают пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами. За счет этого из чугунов можно делать отливки более сложной формы, чем из сталей. Литейные свойства сплавов тем выше, чем меньше их температурный интервал концентрации. Следовательно, наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы, испытывающие эвтектическое превращение.

Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне чугуны широко применяются в машиностроении. Детали машин, полученные из чугунных отливок, значительно дешевле, чем детали, изготовленные обработкой резанием из горячекатаных стальных профилей или из поковок и штамповок. Хорошая жидкотекучесть чугунов и их способность к образованию малой усадочной раковины позволяют получать из них достаточно качественные отливки сложной формы даже при малой толщине стенок.

Значительная часть выплавляемого чугуна переплавляется в сталь по классической схеме руда-чугун-сталь. В процессе переплавки из чугуна путем окисления удаляется некоторое количество серы и фосфора.

В зависимости от того, в каком виде и форме присутствует углерод в сплавах, различают *белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны*.

6.1. БЕЛЫЕ ЧУГУНЫ

Такое название они получили по виду излома, который имеет матово-белый цвет. Весь углерод в этом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита. Фазовые превращения в сплавах протекают согласно диаграмме состояния Fe-C (рис. 39). Белые чугуны в зависимости от содержания углерода могут быть доэвтектическими (перлит + ледебурит + цементит вторичный), эвтектическими (ледебурит) и заэвтектическими (ледебурит + цементит первичный). Эти чугуны имеют большую твердость (НВ 450...550) из-за присутствия в них большого количества цементита; как следствие этого, они очень хрупкие и для изготовления деталей машин не используются. Отливки из белого чугуна служат для получения с помощью графитизирующего отжига деталей из ковкого чугуна.

Отбеленные чугуны-отливки имеют поверхностные слои (12...30 мм) со структурой белого чугуна, а сердцевина – серого чугуна. Высокая твердость поверхности такой отливки позволяет ей хорошо работать против истирания. Эти свойства отбеленного чугуна применяются для изготовления валков листовых прокатных станков, колес, шаров для мельниц, тормозных колодок и многих других деталей, работающих в условиях износа.

Различают также *половинчатый чугун*, в котором большая часть углерода (~ 0,8 %) находится в виде цементита, а часть – в свободном виде – в виде графита. Структура такого чугуна – перлит, ледебурит и пластинчатый графит.

6.2. СЕРЫЕ ЧУГУНЫ

Такое название чугуны получили по виду излома, который имеет серый цвет. В структуре серого чугуна (как и в структуре высокопрочного и ковкого) практически весь углерод находится в свободном состоянии – в виде графита. В сером чугуне графитовые включения имеют форму пластин.

Кристаллизация графита в сплавах железа с углеродом называется *графитизацией*. Графит может кристаллизоваться из жидкой фазы при затвердевании чугуна и из твердой фазы – аустенита при охлаждении.

Процесс графитизации чугуна подчиняется общим законам кристаллизации и сводится к образованию центров графитизации и к росту образовавшихся зародышей графита. Для образования зародышей графита требуется значительная диффузия атомов углерода. Это

медленно протекающий процесс, так как необходима еще самодиффузия атомов железа – отвод этих атомов от фронта кристаллизации графита.

Цементит менее устойчивая фаза, чем графит, и при высокой температуре распадается $Fe_3C = 3Fe + C$. Если не создавать специальных условий кристаллизации, из жидкого расплава предпочтительнее выделяется смесь цементита с аустенитом. На процесс графитизации влияет химический состав, скорость охлаждения и наличие нерастворимых включений.

При медленном охлаждении графитизация происходит легче и полнее. Поэтому в тонких сечениях, где охлаждение протекает быстрее, графитизация затруднена.

Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита (в виде пластин), то и свойства его будут зависеть от этих двух составляющих.

Графит по сравнению со сталями обладает низкими механическими свойствами и поэтому в некотором приближении можно считать, что места, которые он занимает, – это пустота. Количественное соотношение основы и пустот влияет на механические свойства чугуна, и с увеличением последних свойства резко ухудшаются. Чем более грубы включения графита, тем, следовательно, больше разобщена металлическая основа, что отрицательно сказывается на свойствах чугуна.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида.

1. Серый перлитный со структурой *перлит + графит* (количество связанного углерода составляет $\approx 0,8\%$).

2. Серый феррито-перлитный со структурой *феррит + перлит + графит* (количество связанного углерода $< 0,8\%$).

3. Серый ферритный со структурой *феррит + графит* (весь углерод находится в виде графита).

Итак, механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической основы и от количества, формы и размеров графитных включений.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и числа, показывающего значение временного сопротивления при растяжении ($кгс/мм^2$). Показателями механических свойств серых чугунов в соответствии с ГОСТ 1412-85 является прочность при статическом растяжении (табл. 7).

Механические свойства серых чугунов

Чугун	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	НВ	Структура металличе- ской основы
СЧ 15	150	163...229	Феррит
СЧ 25	250	180...250	Феррит + перлит
СЧ 40	400	207...285	Перлит
СЧ 45	450	229...289	Перлит

Графит способствует измельчению стружки при обработке резанием и оказывает смазывающее действие, что повышает износостойкость чугуна.

Серый чугун широко применяется в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении. Номенклатура отливок из серого чугуна и их масса разнообразны: от деталей в несколько граммов до 100 т и более.

Ферритные серые чугуны марки СЧ 10, СЧ 15 используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.

Феррито-перлитные серые чугуны марки СЧ 20, СЧ 25 применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателя, поршни цилиндров, барабаны сцепления, станины станков и др.

Перлитный чугун применяют для отливки станин мощных станков и механизмов. Часто используют перлитные серые модифицированные чугуны, у которых благодаря проведенной модификации чешуйки графита имеют более мелкую, завихренную форму, что увеличивает прочность чугуна. Такие чугуны получают при добавлении в жидкий чугун специальных добавок-модификаторов – ферросилиция или силикокальция. К модифицированным чугунам относятся чугуны СЧ 40 и СЧ 45. Эти марки чугунов применяются для изготовления корпусов насосов, компрессоров и гидроприводов.

Для деталей, работающих при повышенных температурах, применяют легированные серые чугуны, которые содержат хром, никель, молибден и алюминий.

6.3. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЧУГУНЫ

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму.

Высокопрочные чугуны получают модифицированием жидкого чугуна небольшими добавками магния. По содержанию остальных элементов высокопрочный чугун не отличается от обычного серого.

Под действием магния графит в процессе кристаллизации принимает не пластинчатую, а шаровидную форму. Шаровидный графит, имеющий минимальную поверхность при данном объеме, значительно меньше ослабляет металлическую основу чугуна, чем пластинчатый графит. Высокопрочные чугуны имеют более высокие механические свойства, не уступающие литой углеродистой стали, сохраняя при этом хорошие литейные свойства и обрабатываемость резанием, высокую износостойкость и т.д. Обычный состав чугуна: 2,7...3,7 % C; 1,6...2,7 % Si; 0,5...0,6 % Mn; $S \leq 0,10 \%$ и $P \leq 0,10 \%$.

Маркируют высокопрочный чугун буквами ВЧ, затем следуют цифры, которые показывают среднее значение временного сопротивления при растяжении – σ_s (кгс/мм²). Чугуны ВЧ 50; ВЧ 60; ВЧ 70; ВЧ 80; ВЧ 100; ВЧ 120 имеют перлитную металлическую основу, чугуны ВЧ 45-5 – перлитно-ферритную и ВЧ 38; ВЧ 42 – ферритную.

Из высокопрочных чугунов изготавливают оборудование прокатных станов (прокатные валки весом до 12 т), кузнечно-прессовое оборудование, корпуса паровых турбин, коленчатые валы и другие детали, работающие при циклических нагрузках и в условиях сильного износа.

Иногда для улучшения механических свойств применяют термическую обработку отливок – закалку и отпуск при 500...600 °С; для увеличения пластичности – отжиг, способствующий сфероидизации перлита.

6.4. КОВКИЕ ЧУГУНЫ

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают в результате специального графитизирующего отжига отливок доэвтектического чугуна. Графит в таких чугунах называют углеродом отжига. Ковкий чугун по сравнению с серым обладает более высокой прочностью, что связано с меньшим влиянием хлопьевидной формы графита на механические свойства металлической основы.

При производстве ковкого чугуна очень важно, чтобы отливки белого чугуна, подвергаемые отжигу, были тонкостенными. В противном случае в сердцевине при кристаллизации будет выделяться пластинчатый графит, и чугун станет непригодным для отжига.

По структуре металлической основы ковкие чугуны бывают ферритными, перлитными и феррито-перлитными.

Для получения ферритных ковких чугунов отливки из белого чугуна загружают в специальные контейнеры и засыпают песком и стальными стружками для защиты от окисления, затем медленно нагревают (20...25 ч) до температуры 950...1000 °С (ниже эвтектической) и выдерживают 10...15 ч (рис. 28, кривая 1). За это время происходит первая стадия графитизации – распад цементита, входящего в состав ледебурита (А + Ц), и установление стабильного равновесия аустенит + графит. В результате распада цементита диффузионным путем образуется хлопьевидный графит (углерод отжига).

Затем отливки охлаждают до температур, соответствующих интервалу эвтектоидного превращения. При охлаждении происходит выделение из аустенита вторичного цементита, его распад и в итоге рост графитных включений. При достижении эвтектоидного интервала температур охлаждение резко замедляют или дают длительную выдержку при температуре несколько ниже этого интервала. В этот период протекает вторая стадия графитизации: распад аустенита с образованием феррито-графитной структуры или распад цементита, входящего в состав перлита, с образованием феррита и графита (в процессе выдержки ниже эвтектоидных температур). После окончания второй стадии графитизации структура чугуна состоит из феррита и хлопьевидного графита.

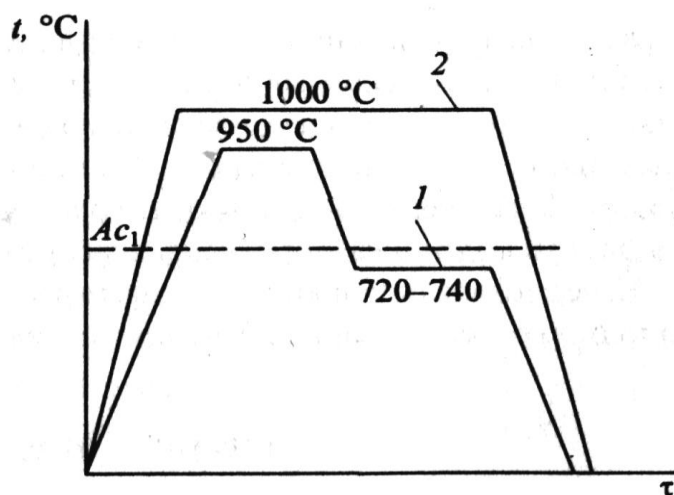


Рис. 28. Схема отжига белого чугуна на ковкий

Перлитный ковкий чугун получают из ваграночного белого чугуна путем отжига в окислительной среде (рис. 28, кривая 2). Увеличивается как бы продолжительность первой стадии графитизации, после чего идет непрерывное охлаждение отливок до комнатной температуры, и чугун приобретает структуру перлит + углерод отжига.

Полное отсутствие литейных напряжений, которые снимаются за счет длительного отжига, и разобшенность графитовых включений обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов.

Ковкий чугун маркируют буквами КЧ и цифрами. Первые цифры марки показывают среднее значение временного сопротивления при растяжении – σ_{σ} (кгс/мм²), вторые – относительное удлинение – δ (%).

В табл. 8 представлены свойства некоторых ковких чугунов. Из таблицы видно, что перлитные чугуны более прочные, а ферритные – более пластичные.

Таблица 8

Механические свойства ковких чугунов (ГОСТ 1215-79)

Чугун	σ_{σ} , МПа	δ , %	НВ	Структура металлической основы
КЧ 30-6	300	6	100...163	феррит
КЧ 37-12	370	12	110...163	феррит
КЧ 60-3	600	3	200...269	перлит
КЧ 80-1,5	800	1,5	270...320	перлит

Отливки из ковких чугунов применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках (картеры редукторов, фланцы, муфты). Из-за сложности технологии ковкие чугуны сравнительно редко применяются в пищевом машиностроении.

ТЕМА 7. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Легированными называют стали, в которые для получения требуемых свойств специально вводят легирующие элементы (л.э.).

Легированием улучшают механические и изменяют физические, химические и технологические свойства. Это происходит в результате действия л.э. на аллотропические свойства железа.

Влияют легирующие элементы и на положение точек M_H и M_K (начала и конца мартенситного превращения). Большинство л.э. сни-

жают температуру начала мартенситного превращения M_n и, следовательно, увеличивают количество остаточного аустенита (за исключением Al, Co, Si).

В легированных сталях легирующие элементы могут растворяться в феррите, аустените и цементите или образовывать специальные карбиды.

Легирующие элементы, расположенные в периодической системе правее железа (никель, кремний, медь, кобальт и т.д.), не образуют карбидов, они только растворяются в феррите или аустените; элементы, расположенные левее (титан, ванадий, хром, марганец, цирконий, ниобий, молибден, вольфрам), частично растворяются в феррите или аустените и образуют карбиды. Чем дальше удален элемент от железа, тем устойчивее его карбиды и тем труднее они диссоциируют и растворяются в аустените. Небольшие присадки карбидообразующих элементов растворяются в цементите, образуя легированный цементит $(Fe, Cr)_3C$, $(Fe, W)_3C$ и т.д. При увеличении содержания элемента образуются специальные карбиды: Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, TiC , WC , VC и др. Все карбиды обладают высокой твердостью, наличие их в структуре особенно важно для инструментальных и износостойких сталей.

В конструкционных сталях основными л.э. являются хром, никель, кремний и марганец.

Никель увеличивает пластичность и вязкость стали, снижает температуру порога хладноломкости, повышает прокаливаемость.

Хром повышает жаростойкость, коррозионную стойкость и прокаливаемость стали, увеличивает ее электрическое сопротивление и уменьшает коэффициент линейного расширения.

Кремний широко используется при выплавке стали как раскислитель. Легирование кремнием углеродистых и хромистых сталей увеличивает их жаростойкость.

Марганец, подобно никелю, снижает критическую скорость охлаждения, но в отличие от последнего уменьшает и вязкость феррита. Марганец часто служит заменителем никеля, так как дешевле его.

Вольфрам, молибден, ванадий, титан, бор и другие вводят в сталь совместно с хромом, никелем и марганцем для дополнительного улучшения ее свойств.

Молибден и вольфрам повышают прокаливаемость стали (особенно в присутствии никеля), способствуют измельчению зерна и подавлению отпускной хрупкости. Легирование стали *молибденом* при-

водит к значительному улучшению ее механических свойств после цементации и нитроцементации.

Ванадий, титан, ниобий и цирконий только в небольших количествах (до 0,15 %) улучшают свойства стали (измельчают зерно, снижают порог хладноломкости). При большом количестве они вызывают снижение прокаливаемости и сопротивление стали хрупкому разрушению.

Добавки бора являются полезными (повышают прокаливаемость и прочность) только при микролегировании им (0,001...0,005 %). При повышении содержания бора он выделяется по границам зерен в виде боридов, сильно охрупчивая сталь.

7.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Легированные стали могут быть классифицированы по четырем признакам.

По составу легированные стали подразделяют на низколегированные (до 3 % л.э.), среднелегированные (от 3 до 10 % л.э.) и высоколегированные (свыше 10 % л.э.). Соответственно легирующим элементам стали получают названия: никелевые, хромистые, хромоникелевые и т.д.

По назначению стали подразделяют на *конструкционные* (например, цементуемые, улучшаемые), *инструментальные* и *с особыми свойствами*. К последним относят пружинные, автоматные, шарикоподшипниковые, износостойкие, жаростойкие, жаропрочные, электротехнические, коррозионностойкие и другие стали.

По равновесной структуре (в отожженном состоянии) легированные стали делятся на:

- доэвтектоидные стали, имеющие в структуре избыточный феррит;
- эвтектоидные стали, имеющие перлитную структуру;
- заэвтектоидные стали, имеющие в структуре избыточные (вторичные) карбиды;
- ледебуритные стали, имеющие в структуре первичные карбиды, выделившиеся из жидкой стали. В литом виде карбиды совместно с аустенитом образуют эвтектику – ледебурит, который при ковке или прокатке разбивается на обособленные карбиды и аустенит.

В соответствии с диаграммой Fe-C доэвтектоидные углеродистые стали содержат менее 0,8 % С, эвтектоидные – 0,8 % С, заэвтектоидные 0,8...2,14 %С.

Большинство л.э. сдвигает точки S и E (рис. 18) в сторону меньшего содержания углерода (влево), поэтому граница между доэвтектоидными и заэвтектоидными сталями лежит при меньшем содержании С, чем в углеродистых.

Ледебуритные стали по структуре могут быть отнесены к белым чугунам, но их причисляют к сталям с учетом меньшего, чем у чугунов содержания углерода (< 2 %, вследствие сдвига точек SE влево) и возможности подвергать их пластической деформации.

По структуре после охлаждения на воздухе легированные стали подразделяют на пять классов: перлитные, мартенситные, аустенитные, ферритные и карбидные.

Для обозначения марок стали разработана система, принятая в ГОСТах. Обозначение марки включает в себя цифры и буквы, указывающие на примерный состав стали. Каждый легирующий элемент обозначается буквой: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, Н – никель, М – молибден, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – редкоземельные элементы, Ю – алюминий. Первые две цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, 12ХН3А). У высокоуглеродистых инструментальных сталей – в десятых долях процента. Следующие после буквы цифры указывают примерное содержание (в целых процентах) соответствующего легирующего элемента (при содержании 1...1,5 % и менее цифра отсутствует, например 30ХГС). Высококачественные стали обозначаются буквой А, а особовысококачественные – буквой Ш, помещенными в конце марки (30ХГСА, 30ХГСШ). Если буква А расположена в середине марки (14Г2АФ), то это свидетельствует о том, что сталь легирована азотом. При обозначении автоматных сталей с повышенной обрабатываемостью резанием буква А ставится в начале марки (А20, А40Г). Если автоматная сталь легирована свинцом, то обозначение марки начинается с сочетания букв АС (АС35Г2, где число 35 обозначает среднее содержание углерода в сотых долях процента). В начале обозначения марки быстрорежущих сталей стоит буква Р, за которой следует цифра, показывающая концентрацию вольфрама (Р18, Р6М5). Маркировка шарикоподшипни-

ковой стали начинается с буквы Ш (ШХ15, где 15 – среднее содержание хрома в сотых долях процента).

7.2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Конструкционная сталь – это сталь, применяемая для изготовления машин, строительных конструкций и других сооружений.

Конструкционная сталь должна обладать целым комплексом высоких механических свойств. Материал, идущий на изготовление деталей, подвергающихся большим нагрузкам, должен хорошо сопротивляться таким нагрузкам и наряду с высокой прочностью обладать вязкостью, чтобы сопротивляться динамическим и ударным воздействиям. Другими словами, материал должен обладать *прочностью и надежностью*.

В деталях, испытывающих знакопеременные нагрузки, металл должен обладать высоким сопротивлением усталости, а трущиеся детали – сопротивлением износу. Во многих случаях требуется хорошее сопротивление коррозии, ползучести и другим постоянным воздействиям. Это значит, что детали должны быть *долговечными*.

Таким образом, конструкционная сталь должна быть прочным, надежным и долговечным материалом.

Эффективным способом повышения механических характеристик стали является совместное воздействие термической обработки и легирования.

Конструкционные стали подразделяют на *цементуемые* (подвергаемые цементации) и *улучшаемые* (подвергаемые закалке и высокому отпуску).

Цементуемые стали

Для цементации (нитроцементации) применяют стали с низким содержанием углерода (0,1...0,25 % С), с тем, чтобы после цементации, закалки и низкого отпуска получить твердый поверхностный слой и вязкую сердцевину. Твердость поверхности после такой обработки будет около HRC60, а сердцевины – порядка HRC15...30.

Цементуемые стали подразделяют на три группы:

- 1) Углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной (углеродистые стали слабо прокаливаются).
- 2) Низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной.
- 3) Относительно высоколегированные стали с сердцевиной, сильно упрочняемой при термической обработке. Стали этой группы

иногда называют высокопрочными цементуемыми сталями. К ним относят также стали со сравнительно невысоким содержанием легирующих элементов, но с повышенным содержанием углерода (0,25...0,30 % С).

Рассмотрим наиболее распространенные конструкционные цементуемые стали:

Хромистые стали. Хром – сравнительно дешевый элемент и широко используется для легирования стали. В конструкционных сталях он частично растворен в феррите, частично в цементите, образуя карбид $(Fe,Cr)_3C$. В хромистых сталях при закалке с охлаждением в масле, выполняемой после цементации, сердцевина изделия имеет бейнитную структуру, вследствие этого хромистые стали по сравнению с углеродистыми обладают более высокими прочностными свойствами при несколько меньшей пластичности в сердцевине и лучшей прочностью цементованного слоя. Примеры хромистых сталей – 15Х, 20Х.

Хромованадиевые стали. Легирование хромистой стали 0,1–0,2 % V улучшает ее механические свойства: в сердцевине детали $\sigma_e = 750...800$ МПа; $\delta = 13$ %; $\psi = 50$ %. Кроме того, хромованадиевые стали менее склонны к перегреву. Из-за малой прокаливаемости их используют только для сравнительно небольших изделий (поршневые пальцы, распределительные валики и т.д.).

Хромоникелевые стали. Эти стали применяются для изготовления крупных деталей ответственного назначения, испытывающих в эксплуатации значительные динамические нагрузки.

Одновременное легирование хромом и никелем повышает прокаливаемость, прочность, пластичность и вязкость сердцевины и цементованного слоя. Закалка – с охлаждением в масле, иногда и на воздухе. Примеры описываемых сталей – 12ХН3А, 20ХН3А.

Легирование хромоникелевых сталей вольфрамом (или молибденом) дополнительно повышает устойчивость переохлажденного аустенита, а, следовательно, и прокаливаемость. Из сталей 18Х2Н4МА и 18Х2Н4ВА изготавливают крупные тяжело нагруженные детали.

Хромомарганцевые стали. Марганец – дешевый элемент, применяется как заменитель в стали никеля. Как и хром, марганец растворяется в феррите и цементите. Повышая устойчивость аустенита, марганец снижает $v_{кр}$ и повышает прокаливаемость стали.

Хромомарганцевые стали применяют во многих случаях вместо дорогих хромоникелевых, однако эти стали менее устойчивы против

перегрева и имеют меньшую вязкость. Введение небольшого количества титана уменьшает склонность хромомарганцевых сталей к перегреву.

Хромомарганцевоникелевые стали. Повышение прокаливаемости и прочности хромомарганцевых сталей достигается дополнительным легированием их никелем.

Стали, легированные бором. Для цементации используют стали, содержащие 0,01...0,05 % бора. Бор повышает устойчивость переохлажденного аустенита и поэтому увеличивает прокаливаемость стали.

В промышленности для деталей, работающих в условиях износа при трении, применяют стали 20ХГР. Дополнительное легирование стали никелем повышает ее прокаливаемость, пластичность и вязкость.

Улучшаемые стали

Улучшаемые стали содержат 0,3-0,4 % С и разное количество легирующих элементов (Cr, Ni, Mo, W, Mn, Si) в сумме не более 3...5 %, и часто около 0,1 % измельчителей зерна (V, Ti, Nb, Zr).

Обычная термическая обработка этих сталей – закалка с 820...880 °С в масле (крупные детали охлаждают в воде) и высокий отпуск при 500...600 °С. При такой обработке структура стали – сорбит отпуска.

Чем больше в стали легирующих элементов, тем больше ее прокаливаемость. Чем больше сечение детали, тем более легированную сталь следует выбирать.

Существует несколько типов улучшаемых сталей.

Хромистые стали 30Х, 38Х, 40Х, 50Х. С увеличением содержания углерода возрастает прочность, но понижается пластичность и вязкость.

Прокаливаемость хромистых сталей невелика.

Сталь 30Х рекомендуется для изготовления деталей небольших размеров (оси, валики, рычаги, болты, гайки). Стали 38Х и 40Х обладают повышенной прочностью, их применяют для коленчатых валов, осей, шестерен; а стали 45Х и 50Х – для изделий, работающих на износ без значительных ударных нагрузок (крупные шестерни).

Введение бора (0,002...0,005 %) повышает прокаливаемость, но несколько повышает предел хладноломкости (стали 35ХР, 40ХР).

Введение 0,1–0,2 % ванадия (40ХФА) повышает механические свойства хромистых сталей (вязкость). Эти стали применяют для из-

делий, работающих при повышенных динамических нагрузках (шатунны, шестерни).

Хромомарганцевые стали. Совместное легирование хромом и марганцем позволяет получить стали с достаточно высокой прочностью и прокаливаемостью. Стали 40ХГ и 40ХГР применяют для изготовления деталей сечением 30...40 мм. Однако хромомарганцевые стали имеют пониженную вязкость, повышенный порог хладноломкости (от +20 до -60 °С). Для уменьшения склонности стали к перегреву в нее добавляют титан.

Хромокремнемарганцевые стали – хромансил – стали 20ХГС, 25ХГС и 30ХГС обладают высокой прочностью и хорошей свариваемостью. Их применяют в виде листов и труб для ответственных сварных конструкций.

Хромоникелевые стали отличаются высокой прокаливаемостью, хорошей прочностью и вязкостью. Для тяжело нагруженных деталей с диаметром сечения до 70 мм используют хромоникелевые стали 40ХН, 45ХН и 50ХН, обладающие высокими механическими свойствами.

Хромоникельмолибденовые стали. Для предотвращения отпускной хрупкости стали дополнительно легируют молибденом (40ХН2МА) или вольфрамом.

Хромоникельмолибденованадиевые стали. Нередко в хромоникелевую сталь кроме молибдена (вольфрама) добавляют ванадий, который способствует получению мелкозернистой структуры (38ХН3МФ, 36Х2Н2МФА). Эти стали обладают высокой прочностью, пластичностью и вязкостью, и низким порогом хладноломкости. Этому способствует высокое содержание никеля. Молибден, присутствуя в стали, повышает ее теплостойкость. Эти стали можно использовать при 400...450 °С.

7.3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И ШТАМПОВОЧНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ

Эти материалы предназначены для изготовления режущего, измерительного инструмента и штампов.

Стали для режущего инструмента

Важнейшее свойство, которым должны обладать эти стали, это *красностойкость (теплостойкость)*, то есть способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном

нагреве; не разрушаться при ударных воздействиях; иметь высокую износостойкость в условиях сухого трения. Удовлетворяют этим требованиям троосто-мартенситная (для ударных инструментов), мартенситная и мартенситная с мелкими карбидами структуры.

Инструментальные стали классифицируют по теплостойкости: нетеплостойкие, полутеплостойкие и теплостойкие (быстрорежущие).

К *нетеплостойким* сталям относятся углеродистые и низколегированные инструментальные стали марок У7-У13, У7А-У13А, 7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, 11Х, 13Х и др.

Из сталей У7, У7А, 7ХФ изготавливают инструмент для обработки дерева (пилы, долота) и ударный инструмент (зубила, крейцмейсели, керны). Стали У9-У13, 9ХФ, 11Х, 13Х используют для изготовления сверл, метчиков, плашек, разверток, напильников, ножовочных полотен.

Необходимые режущие свойства инструмент получает после закалки и отпуска. Для доэвтектоидных сталей назначают полную закалку, для эвтектоидных и заэвтектоидных – неполную, охлаждают в масле или воде.

Температуру отпуска выбирают в зависимости от назначения инструмента. Для ударного инструмента назначают средний отпуск с НРС 50...55 с целью увеличения вязкости стали. Инструменты, требующие максимальной твердости и износостойкости режущей кромки, отпускают при 150...200 °С для снятия внутренних напряжений.

К *полутеплостойким* сталям относятся легированные инструментальные стали марок Х, 9ХС, ХВГ, 9ХВГ, 9Х5ВФ с содержанием до 5 % легирующих элементов. Из них изготавливают ударный и режущий инструмент (ножи для холодной резки металлов, пилы, сверла, метчики, шаберы и др.).

Термическая обработка данных сталей заключается в закалке при 800...850 °С в масле и низкого отпуска при 150...200 °С до НРС 60...65. Для ударных инструментов для увеличения вязкости повышают температуру отпуска до 300 °С.

Быстрорежущие (теплостойкие) стали представляют собой высоколегированные инструментальные сплавы ледебуритного класса. Для повышения структурной однородности литейную сталь подвергают горячей обработке давлением, дробящей сетку эвтектики. В структуре прокованной и отожженной стали просматриваются крупные первичные карбиды – осколки ледебуритной эвтектики, мелкие вторичные карбиды, выделившиеся в литой стали из аустенита при

охлаждении сплава в интервале температур между эвтектическим и эвтектоидным превращениями, и очень мелкие эвтектоидные карбиды, входящие в сорбитный фон.

Высокая теплостойкость (красностойкость) быстрорежущих сталей достигается термической обработкой с получением высоколегированного мартенсита, способного сопротивляться отпуску вплоть до 600...650 °С и, следовательно, сохранять до этих температур высокую твердость, прочность, износостойкость. Степень легированности мартенсита определяется составом исходного аустенита. Чем выше температура нагрева, тем больше легирующих элементов (W, Mo, V), входящих в состав вторичных карбидов, растворяется в аустените. Поэтому быстрорежущие стали нагревают при закалке до 1200...1300 °С. Первичные карбиды в аустените не растворяются, но сдерживают рост аустенитных зерен, блокируя их границы. Быстрорежущие стали обладают весьма низкой теплопроводностью, поэтому их нагрев до температуры закалки ведут ступенчато с одной-двумя температурными остановками, что позволяет предупредить появление трещин. Высокая легированность аустенита предопределяет довольно низкие температуры начала и конца мартенситного превращения, обуславливающие, в свою очередь, сохранение при закалке значительных количеств (более 30 %) остаточного аустенита, понижающего режущие свойства стали. Уменьшение содержания остаточного аустенита достигается двух-трехкратным высоким отпуском.

При отпуске из остаточного аустенита выделяются карбиды легирующих элементов, что влечет за собой повышение температуры мартенситного превращения, и при охлаждении аустенит превращается в мартенсит. Для уменьшения количества остаточного аустенита иногда закаленную сталь охлаждают в область отрицательных температур (–80 °С), что также способствует увеличению количества мартенсита.

Быстрорежущую сталь применяют для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания.

Твердые сплавы

Инструменты, изготовленные из твердых сплавов, имеют рабочую температуру резания 800...1000 °С, тогда как для инструмента из быстрорежущей стали разогрев режущей кромки выше 650 °С недопустим.

Значит, имея инструмент из твердых сплавов, можно работать на более высоких скоростях резания, чем с инструментом из быстрорежущей стали, хотя при меньшей подаче.

В настоящее время для скоростного резания металлов применяют инструмент, оснащенный твердыми сплавами.

Твердые сплавы – это инструментальные материалы, изготавливаемые методом порошковой металлургии, состоящие из частиц карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), объединенных металлическим связующим компонентом (кобальтом). Твердые сплавы обладают высокой твердостью (до 90...92 HRA), износостойкостью, красностойкостью (900...1100 °C).

Существуют сплавы следующих групп: вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые.

Вольфрамовые сплавы, например, BK2, BK8, BK15, BK25 состоят из карбидов вольфрама и металлического кобальта (число, стоящее в марке сплава после буквы К, указывает на процентное содержание кобальта). Чем больше в сплаве карбида вольфрама, тем сплав тверже, но тем более он хрупок. Вязкость сплава, дающая возможность воспринимать ударные нагрузки, обеспечивается кобальтом. Сплав BK2, содержащий всего 2 % кобальта, обладает весьма низкой вязкостью. Им можно вести лишь чистовую обработку, не сопровождающуюся динамическими нагрузками. Твердость же и износостойкость сплава настолько высоки, что позволяют обрабатывать закаленные стали. Сплав BK8 более вязок, но менее тверд, менее износостоек и красностоек.

Титановольфрамовые сплавы, например, T5K10, T15K6, T3OK4 изготавливают из карбидов титана, карбидов вольфрама и металлического кобальта. В марке сплава число, стоящее после буквы Т, указывает на содержание в шихте сплава карбида титана в процентах; число, стоящее после К, – содержание кобальта. Содержание карбида вольфрама определяют по разности. Так, в шихте твердого сплава T5K10 содержится 5 % TiC, 10 % Co и 85 % WC. Карбид титана обладает еще более высокой твердостью, чем карбид вольфрама. Чем больше в сплаве TiC (точнее твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана), тем большей твердостью и износостойкостью обладает сплав. Наиболее тверд сплав T3OK4. Сплавы с большим содержанием кобальта (T15K6, T5K10) менее тверды, но обладают большей эксплуатационной прочностью. Применяют титановольфрамовые сплавы главным образом для обработки сталей.

Титанотанталовольфрамовые сплавы изготавливают из карбидов титана, карбидов тантала, карбидов вольфрама и металлического кобальта. Например, шихта сплава ТТ7К12 содержит 7 % карбидов титана и тантала, 8 % карбида вольфрама и 12 % кобальта. Применяют титанотанталовольфрамовые сплавы для черновой (например, сплав ТТ7К12) и чистовой (например, сплав ТТ8К6) обработки труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сталей, титановых сплавов и др.).

Штамповый инструмент

Штамповые стали предназначены для изготовления штампового инструмента (штампов, матриц и т.д.), служащего при холодной и горячей обработке металлов давлением.

Штампы для холодного деформирования работают на износ и воспринимают ударные нагрузки, поэтому они должны обладать высокой износостойкостью, прочностью, вязкостью, сопротивлением деформации. Предпочтительной для инструмента будет трооститная структура. Для изготовления штампов применяют углеродистую инструментальную сталь марок У10, У11, У12 и легированные стали марок Х, Х9, ХГ, 9ХС, Х12М.

Для повышения износостойкости инструмента применяют низкотемпературное цианирование.

Если штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, то для его изготовления применяют стали, обладающие большей вязкостью – 4ХС4, 4ХВС, 5ХНМ, 5ХГМ и др. Для штампов, работающих в условиях износа и высокого давления, применяют легированные стали большой прокаливаемости – Х12, Х12Ф, ХГЗСВ и др.

Штампы для горячего деформирования работают на износ и удар в более сложных условиях при высокой температуре. Они дополнительно обладают жаропрочностью, минимальной отпускной хрупкостью, хорошей теплопроводностью, предпочтительной для штампов является сорбитная структура. Инструмент для горячего деформирования изготавливают из легированной стали марок 5ХНМ, 5ХНВ, 3Х2В8, 4Х5В2ФС и др. Нужные свойства они получают после закалки и отпуска до 500...670 °С.

Измерительный инструмент

Измерительный инструмент должен сохранять свою форму и размеры продолжительное время, иметь высокую твердость, износостойкость.

стойкость и минимальный коэффициент линейного расширения. Этими свойствами обладает мартенситная структура.

Для измерительного инструмента используют углеродистые и легированные стали марок У8-У12, Х, Х9, ХГ, цементируемые и азотируемые стали марок 15, 20, 38ХМЮА и др. После закалки инструмент подвергают стабилизирующему низкому отпуску, старению (нагрев до 120...170 °С и выдержка 10...30 часов).

7.4. СТАЛИ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

Коррозионностойкие стали

Коррозией называется процесс разрушения металла и сплава под действием окружающей среды. Коррозия приводит к сокращению срока службы изделия и невозвратимым потерям металла. Различают химическую и электрохимическую коррозию.

Химическая коррозия происходит в результате окисления металла в газовой среде.

Электрохимическая коррозия возникает при взаимодействии металла с электролитом.

Электролитами могут быть водные растворы солей, кислот и щелочей. Для процесса электрохимической коррозии необходимо наличие разности потенциалов на поверхности соприкосновения металла с электролитом. Способность металла к растворению в электролитах характеризуется электродным потенциалом (В). Его определяют по отношению к водородному потенциалу, принятого за нуль. Потенциалы элементов располагаются в такой последовательности:

Au	Ag	Cu	H	Pb	Ni	Fe	Cr	Zn	Ti	Al
+1,5	+0,79	+0,34	0	-0,12	-0,22	-0,44	-0,51	-0,76	-1,21	-1,66

Металлы, расположенные после водорода, имеют бóльшую растворимость с увеличением отрицательного потенциала. Металлы с положительным потенциалом отличаются слабой растворимостью.

Атмосферная коррозия совмещает в себе особенности химической и электрохимической коррозии. При конденсации влаги на поверхности изделия возникает электрохимический процесс. Углекислый, сернистый и другие газы, пыль ускоряют коррозионное разрушение металла.

Коррозия зависит от химического состава и строения металла. Однофазные сплавы более устойчивы к электрохимической коррозии, так как зерна имеют одинаковый электродный потенциал. Коррозионная стойкость увеличивается с повышением класса шероховатости поверхности изделия, различные пороки и дефекты на поверхности детали, трещины, царапины служат очагами начала коррозии.

От коррозии металл предохраняют легированием, защитными пленками, металлическими и неметаллическими покрытиями, электрохимическими методами и др.

Легированием достигается образование на поверхности изделия защитной пленки или получение однофазной структуры. Например, при легировании стали хромом на поверхности изделия образуется плотная пленка окиси хрома, которая предохраняет металл от коррозии.

Защитные пленки могут образовываться в естественных или искусственных условиях. Обычно это окисные пленки. Широкое распространение в промышленности нашли процессы оксидирования и анодирования поверхности изделия.

Оксидирование – это химическая обработка металла в сильных окислительных средах. Черные металлы для оксидирования обрабатываются в расплавленных азотнокислых солях или в концентрированном растворе едкого натра с добавкой азотнокислого натрия. При этом детали покрываются магнитной закисью-окисью железа (Fe_3O_4), и поверхность приобретает синий или черный цвет (воронение). Можно деталь смазать минеральным маслом и нагреть до 500...600 °С.

Оксидирование меди и ее сплавов производят в растворе персульфата калия и едкого натра.

Анодирование – это электрохимический процесс образования окисной пленки на поверхности изделия. Анодируют детали из алюминия и его сплавов электролитической обработкой в серной кислоте. Анодом служат детали, а катодом свинцовые пластины. В процессе анодирования выделяющийся на поверхности изделия кислород окисляет металл. Для повышения окисных свойств окисной пленки ее покрывают эмалями или лаками.

Железоуглеродистые сплавы получают достаточную коррозионную стойкость после покрытия пленкой, состоящей из фосфорнокис-

лых солей марганца и железа. Такой процесс называется *фосфатированием*.

Металлические покрытия широко используются для защиты поверхности детали от коррозии. Если металл покрытия расположен по электродному потенциалу левее металла изделия, то такое покрытие называют катодным, правее – анодным.

При разрушении *катодного покрытия* происходит коррозия всего изделия. Поэтому такие покрытия должны быть сплошными и прочными. *Анодные покрытия* предохраняют изделия от коррозии и при наличии оголенных участков (в этом случае разрушаться будет металл покрытия), так как образуются короткозамкнутые элементы и основной металл играет роль катода, а покрытие – анода.

В промышленности широкое применение имеют покрытия изделий цинком, оловом, кадмием, алюминием, хромом и другими металлами.

Для железоуглеродистых сплавов хром, цинк и кадмий являются анодными покрытиями, а олово, медь и никель – катодными.

Неметаллические покрытия для защиты металлов от коррозии имеют самое широкое применение в производстве и быту. К ним относят покрытия эмалями, лаками и красками, резиной, пластическими массами, смазками и др.

Стеклоэмали по химическому составу представляют нерастворимые силикаты или боросиликаты щелочных или щелочноземельных соединений свинца, алюминия, цинка и других металлов. Добавляя различные соединения (окислы олова, сурьмы, титана и др.), окрашивают эмали в различные цвета. Эмали применяют для покрытия химической и пищевой посуды, санитарной техники, труб и т.д., что позволяет заменить дорогостоящие легированные стали.

В основу *лакокрасочных покрытий* входят пленкообразователи и растворители (которые после нанесения улетучиваются). Пленкообразующими элементами служат растительные масла, природные и синтетические смолы, эфиры, целлюлозы, каучук. Их растворы в органических растворителях (скипидаре, бензине, уайт-спирите, толуоле, этиловом и бутиловом спиртах и др.) называются лаками.

Для эластичности пленки в лакокрасочные материалы добавляют пластификаторы: сложные эфиры, полихлорвинил, касторовое масло и др. Цвет лакокрасочные материалы приобретают за счет введения различных красителей – пигментов (охры, сурика железного, ультрамарина, окиси хрома и др.).

Находят применение *покрытия пленочными материалами*. Для этого используют поливинилхлоридные, полиэтиленовые, полиамидные и другие пленки.

Резиновые покрытия (гуммирование) – облицовка поверхности изделия каландрированной смесью, которую прикатывают или вулканизируют.

Защитные смазки обычно используются для защиты деталей от коррозии при транспортировке и длительном хранении, обычно это минеральное масло, парафин, церезин и др.

Нержавеющая сталь. Сталь, стойкую против атмосферной коррозии, называют нержавеющей. Нержавеющие стали имеют однофазную структуру: аустенит, феррит или мартенсит. При этом не протекает электрохимическая коррозия, возникающая за счет двух и более фаз с разными электродными потенциалами. Однофазная структура получается легированием стали и термической обработкой. Высокой коррозионной стойкостью обладают хромистые и хромоникелевые стали.

В *хромистых сталях* (08X13, 12X13, 15X25T, 30X13 и др.) коррозионная стойкость повышается в результате растворения хрома в железе и образования на поверхности защитной пленки окисла Cr_2O_3 (при содержании хрома более 12,5 %). Углерод в этих сталях способствует получению двухфазной структуры и обедняет твердый раствор хромом, понижая коррозионные свойства.

Хромистые стали подвергают закалке с 1000...1100 °С и отпуску. Для сталей ферритного класса (08X13, 12X13) отпуск проводят при 700...750 °С. Они обладают повышенной пластичностью и используются для изготовления деталей, воспринимающих ударные нагрузки (турбинные лопатки, предметы домашнего обихода и т.д.). Для сталей мартенситного класса (30X13, 40X13) отпуск проводят при 200...250 °С. Их используют для изготовления изделий, от которых требуется высокая твердость и прочность (измерительный и медицинский инструмент и т.д.).

Хромоникелевые стали (12X18Н9Т, 17X18Н9, 04X18Н10 и др.) относятся к нержавеющей сталям аустенитного класса. Структура аустенита получается после закалки при 1050 °С в воде. Эти стали хорошо поддаются обработке давлением, сварке. Возможно упрочнение хромоникелевых сталей холодной пластической деформацией. Из

них изготавливают детали для химической, нефтяной и пищевой промышленности.

Жаропрочные стали

Жаропрочные стали обладают способностью сопротивляться пластической деформации и разрушению при высокой температуре. Различают две группы таких сталей: теплопрочные, работающие до 350...500 °С, и жаропрочные, работающие свыше 600 °С. К теплопрочным относятся легированные стали перлитного и ферритного класса. Жаропрочные стали бывают перлитного и аустенитного класса. К перлитным относят котельные стали (15ХГС, 12ХМ, 15ХМФ и др.) и сильхромы. Аустенитные жаропрочные стали используют для изготовления паровых котлов высокого давления, лопаток турбин, соплового аппарата реактивных двигателей и других деталей.

Жаростойкие стали

Жаростойкие стали сопротивляются газовой коррозии при высоких температурах длительное время. Для этой цели сталь легируют хромом, алюминием, кремнием, которые образуют на поверхности изделия плотные окислы Cr_2O_3 , Al_2O_3 . Все нержавеющие стали и некоторые жаропрочные являются жаростойкими.

Износостойкие стали

Износостойкими называют стали, сопротивляющиеся изнашиванию в абразивной среде. К ним относят графитизированные и высокомарганцовистые стали. Графитизированные стали марок ЭИ293, ЭИ336 содержат до 1,75 % С и 1,6 % Si. Углерод после графитизирующего отжига выделяется в виде графита. Структура таких сталей состоит из перлита и мелких округленных графитовых включений. Графитизированную сталь применяют для изготовления штампов, коленчатых валов и других изделий.

Высокомарганцовистые стали имеют структуру аустенита. Из них изготавливают звенья гусеницы трактора, зубья ковшей экскаваторов и другие детали.

В процессе работы на поверхности образуется наклепанная структура, и аустенит превращается в мартенсит. Это резко повышает твердость и износостойкость стали.

Рессорно-пружинные стали

Работа пружин, рессор и тому подобных деталей характеризуется тем, что в них используют только упругие свойства стали. Большая суммарная величина упругой деформации пружины (рессоры) определяется ее конструкцией – числом и диаметром витков, длиной пружины. Поскольку возникновение пластической деформации в пружине не допускается, то от материала подобных изделий не требуется высокой ударной вязкости и высокой пластичности. Главное требование состоит в том, чтобы сталь имела высокий предел упругости (текучести). Это достигается закалкой с 800...850 °С в масле с последующим средним отпуском (400...450 °С) на твердость HRC35...45.

Стали для пружин и рессор обычно легируют кремнием и марганцем иногда в сочетании с другими элементами (хром, ванадий). Введение кремния задерживает распад мартенсита при отпуске. Кремний и марганец упрочняют феррит и увеличивают прокаливаемость стали.

Пружины из углеродистых, марганцевых, кремнистых сталей работают при температурах не более 200 °С. При нагреве до 200 °С используют тяжело нагруженные пружины ответственного назначения из стали 50ХФА, а при более высоких температурах – из более теплостойких сталей: до 500 °С – из стали 3Х2В8Ф, до 600 °С – из стали Р18. Для работы в агрессивных средах пружины изготавливают из хромистых коррозионностойких сталей типа 40Х13,95Х18 и др.

Шарикоподшипниковая сталь

Шарикоподшипниковая сталь прежде всего должна обладать высокой твердостью, поэтому применяют высокоуглеродистые стали типа инструментальной (иногда низкоуглеродистые в цементованном состоянии). Чтобы шарикоподшипниковая сталь легко принимала закалку (то есть имела низкую $v_{\text{крит.}}$) и в качестве закалочной среды для нее можно было бы применять масло, сталь легируют (обычно хромом).

Сталь ШХ4 обычно используют для изготовления шариков диаметром 13,5 мм и роликов до 10 мм; ШХ15 – шариков диаметром 22,5 мм, роликов – 15 мм; ШХ15СГ – шариков диаметром до 30. При изготовлении роликов большего диаметра применяют сталь ШХ20СГ. Подшипники, используемые для работы в агрессивных средах, изготавливают из нержавеющей стали 95Х18.

Долговечность сферических подшипников в значительной мере определяется отклонением от сферической формы, приводящим к биениям. Эти отклонения тщательно контролируются.

К сталям предъявляют высокое требование по неметаллическим включениям, так как они вызывают преждевременное усталостное разрушение.

Термическая обработка деталей шарикоподшипника (шарики, ролики, кольца) состоит из двух основных операций: закалка с 830...840 °С с последующим отпуском (150...160 °С), что обеспечивает твердость не ниже HRC62. Структура – мелкоигльчатый отпущенный мартенсит с равномерно распределенными избыточными карбидами.

ТЕМА 8. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

В практике сельскохозяйственного и автотракторного машиностроения широкое применение нашли сплавы на основе цветных металлов – меди и алюминия. Цветные металлы и сплавы можно обрабатывать давлением, резанием и сваривать. Детали из цветных металлов и сплавов изготавливают литьем и пластическим деформированием. Применение цветных металлов необходимо экономически оправдывать, так как они дороги и дефицитны по сравнению с черными металлами.

8.1. АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Алюминий – легкий металл (плотность 2700 кг/м^3) белого цвета с гранцентрированной кристаллической решеткой. Температура плавления Al $660 \text{ }^\circ\text{C}$. По сравнению с железом, у которого плотность 7800 кг/м^3 , а $t_{пл} = 1536 \text{ }^\circ\text{C}$, алюминий имеет почти в три раза более низкую плотность, вследствие чего этот металл и его сплавы широко применяют там, где малая плотность и большая удельная прочность (σ_s/ρ) имеют важное значение.

Характерные свойства алюминия – высокая пластичность и малая прочность. Прокатанный и отожженный алюминий высокой чистоты имеет следующие механические свойства: $\sigma_s = 58 \text{ МПа}$; $HB25$; $\psi = 85 \%$; $\delta = 40 \%$. Алюминий не имеет аллотропических модификаций, обладает высокой электро- и теплопроводностью, высокой химической активностью и одновременно исключительной коррозионной стойкостью, объясняемой образованием на поверхности тонкой прочной беспористой оксидной пленки Al_2O_3 , надежно защищающей металл от дальнейшего окисления. Чем чище алюминий и чем он более свободен от различных примесей, тем выше его коррозионная устойчивость.

Наиболее чистый алюминий – алюминий особой чистоты, содержит $99,999 \%$ Al , а сумма всех примесей составляет не более $0,001 \%$. В промышленности в зависимости от требований применяют алюминий высокой чистоты ($99,995 - 99,95 \%$ Al) и технической чистоты ($99,85 - 99,0 \%$ Al).

Сплавы на основе алюминия обладают малой плотностью, высокими удельными механическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, свариваемостью и т.д.

Алюминиевые сплавы классифицируют на *деформируемые* (в их структуре отсутствует эвтектика), *литейные* (сплавы с эвтектикой), *неупрочняемые термической обработкой* (нагрев таких сплавов не сопровождается фазовыми превращениями в твердом состоянии), *упрочняемые термической обработкой* (сплавы с твердофазными превращениями). Кроме того, сплавы подразделяют на жаропрочные, высокопрочные, ковочные, сплавы для заклепок и т.д.

Деформируемыми сплавами, неупрочняемыми термообработкой, являются сплавы на основе системы Al-Mg (*магналии*), например, АМг2, АМг3, АМг6; сплавы системы Al-Mn, например, АМц (табл. 9).

Таблица 9

Типичные механические свойства некоторых деформируемых алюминиевых сплавов после закалки и старения

Сплав	Содержание элементов, % (по массе)					σ_s МПа	δ , %
	Cu	Mg	Mn	Si	другие		
Д1	3,8... 4,8	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7	-	410	15
Д16	3,8...4,5	1,2...1,8	0,3...0,9	0,5	-	520	11
АВ	0,2...0,6	0,45... 0,9	0,15... 0,35	0,5... 1,2	-	220	22
В95	1,4...2,0	1,8...2,0	0,2...0,6	0,5	5...7 Zn; 0,1...0,2 Cr	580	8
В96	2,2...2,8	2,5...3,2	0,2...0,5	-	8-9 Zn	670	7
АК6	1,8...2,6	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7... 1,2	-	420	13
АК8	3,9...4,8	0,4...1,0	0,4...1,0	0,6... 1,2	-	480	12
АК4-1	1,9...2,5	1,4...1,8	-	0,35	0,8...1,5 Fe; 1,0...1,5 Ni; 0,02...0,1 Ti	430	13
Д20	6-7	-	0,4...0,8	0,3	0,1...0,2 Ti; ~ 0,27 Zr	400	12

Важнейшими деформируемыми сплавами, упрочняемыми термической обработкой, являются:

- сплавы на основе системы Al-Cu-Mg (*дюралюмины*), например, Д1, Д16, ВД17, Д18, Д19, В65 (сплав ВД17 жаропрочный), Д18 и В65 – сплавы для заклепок);

- сплавы на основе системы Al-Mg-Si (*авиали*), например, АВ, АД31, АД35;

- ковочные сплавы на основе системы Al-Mg-Si-Cu, например, АК6, АК8, на основе системы Al-Cu-Mg с добавками Fe и Ni, например, АК4-1 (сплав жаропрочный);

- высокопрочные сплавы на основе системы Al-Zn-Mg-Cu, например, В93, В95, В96Ц.

Эти сплавы хорошо обрабатываются давлением (штамповкой в холодном состоянии, гибкой и т.д.). Их широко применяют в строительных конструкциях, при изготовлении баков для бензина, трубопроводов и т.д. Из дюралюмина Д16 также изготавливают обшивки, силовые каркасы, кузова грузовых автомобилей. Дюралюмин, изготавливаемый в листах, для защиты от коррозии подвергают лакированию, то есть покрытию тонким слоем алюминия высокой чистоты. Толщина слоя составляет 4 % от толщины листа.

Термическое упрочнение алюминиевых сплавов достигается закалкой и последующим старением.

Для повышения прочности дюралюмины подвергаются закалке с 500 °С в воде и старению. Процесс естественного старения длится 4-5 суток. Отжигают дюралюмины при 340...370 °С.

Не всегда максимум прочности достигается естественным старением, более того, во многих высокопрочных сплавах (В93, В95 и др.) естественное старение не протекает вообще (упрочнения при длительной выдержке при нормальной температуре не происходит). Термическая обработка этих сплавов состоит в закалке с 510...520 °С в воде и искусственного старения при 120...140 °С.

Состояние деформируемых сплавов, отражающее термическое и термомеханическое воздействие, имеет обозначения: М – мягкий, отожженный; Т – закаленный и естественно состаренный; Т1 – закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность; Н – нагартованный (деформация 1... 7 %); Н1 или НН – усиленно нагартованный; ТН – закаленный, естественно состаренный и нагартованный. Например, АК6Т1 – обозначение закаленного и искусственно состаренного деформируемого (ковочного) алюминиевого сплава АК6, АМг2Н1106 – обозначение усиленно нагартованного деформируемого неупрочняемого термической обработкой сплава АМг2.

Литейными сплавами являются сплавы, на основе систем *Al-Si* (силумины), например, АК12 (АЛ2), АК7 (АЛ9); *Al-Cu*, например, АЛ19, АЛ33; *Al-Mg*, например, АЛ8, АМгЮ (АЛ27). Механические свойства некоторых литейных сплавов алюминия приведены в табл. 10.

В соответствии с новой цифровой системой маркировки Аl сплавов единица, стоящая в начале марки, характеризует основу сплава – алюминий. Вторая цифра обозначает основной легирующий элемент или группу элементов. Третья или третья и вторая цифры те же, что и в старой маркировке. Нечетное число или ноль, стоящие на четвертом месте, обозначают деформируемый сплав. У литейных сплавов четвертая цифра четная. При такой маркировке сплав Д16, например, обозначается 1160.

Чистота сплавов по контролируемым примесям (Fe, Si и др.) обозначается буквами: пч (практически чистый), ч (чистый), оч (очень чистый), стоящими после марки сплава, например, АМг5оч.

Таблица 10

*Механические свойства литейных
алюминиевых сплавов*

Сплав	Содержание, % (по массе)					σ_v	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
	Mg	Si	Mn	Cu	другие			
<i>Сплавы Al-Si (силумины)</i>								
АЛ2	-	11...13	-	-	-	180	90	5
АЛ4	0,17...0,3	0...10,5	0,25...0,5	-	-	180	140	2
АЛ9	0,2...0,4	6...8	-	-	-	220	160	3
<i>Сплавы Al-Cu</i>								
АЛ7	-	-	-	4-5	-	240	160	7
АЛ19	-	-	0,6...1,0	4,5...5,3	0,25-0,45 Ti	320	180	9
<i>Сплавы Al-Mg</i>								
АЛ8	9,5...11,5	-	-	-	-	350	170	10
АЛ27	0,5...11,5	-	-	-	до 0,15 Ti до 0,2 Zr до 0,15 Be	360	180	18
<i>Жаропрочные сплавы</i>								
АЛ1	1,3...1,8	-	-	3,8...4,5	1,8...2,3Ni 0,2...0,3Cr	260 220	200 180	0,6 1,2
АЛ20	0,7...1,2	1,5...2,0	0,2...0,3	3,6...4,5	1,3...1,5Fe до 0,1 Ti	300 230	230 180	0,8 0,8
АЛ21	0,8...1,3	-	0,2...0,3	4,6...5,3	2,6...3,6Ni	210	-	1,2

				6,0	0,1...0,3Cr	220	200	1,5
--	--	--	--	-----	-------------	-----	-----	-----

Литейные алюминиевые сплавы применяют для изготовления деталей машин и приборов литьем. Они имеют хорошие литейные свойства: высокую жидкотекучесть, в расплавленном состоянии, высокие механические свойства. Кроме того, они хорошо обрабатываются резанием

Сплавы Al-Si называют *силуминами*. Их маркируют буквами АЛ и порядковой цифрой: АЛ2, АЛ4, АЛ9 и т.д.

В сплаве АЛ2 (11...13 % Si) кремний при затвердевании сплава выделяется в виде крупных кристаллов игольчатой формы. Это снижает механические свойства сплава. Для измельчения структуры и устранения избыточных кристаллов кремния силумины модифицируют натрием (0,05...0,08 % Na). В структуре вместо избыточного кремния появляются кристаллы α -раствора, а эвтектика приобретает более тонкое строение и состоит из мелких кристаллов Si и α -твердого раствора. В процессе затвердевания кристаллы кремния обволакиваются пленкой силицида натрия (Na_2Si), которая затрудняет их рост. Сплавы АЛ2 подвергают отжигу при 300 °С в течение 5...10 ч для снятия внутренних напряжений.

Сплавы Al-C (АЛ7, АЛ19) обладают высокими механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, однако имеют низкие литейные свойства (большая усадка, склонность к образованию горячих трещин и т.д.). Сплавы подвергают закалке при 535...545 °С с охлаждением в горячей воде и искусственному старению (2-3 ч) при 175 °С. Упрочнение происходит вследствие выделения частиц CuAl_2 и $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$.

Сплавы Al-Mg (АЛ8, АЛ27) имеют низкие литейные свойства, но хорошую коррозионную стойкость и обрабатываемость резанием. Эти сплавы применяют для отливок, работающих во влажной атмосфере. Термическая обработка заключается в закалке при 430 °С в течение 12...20 ч (для растворения частиц Al_3Mg_2 в α -твердом растворе и охлаждении в масле.

Жаропрочные сплавы АЛ1, АЛ20 применяют для изготовления поршней, головок цилиндров и других деталей, работающих при 275...300 °С. Структура сплава АЛ1 состоит из α -твердого раствора, содержащего Cu, Mg, Ni и избыточных фаз Al_2CuMg и $\text{Al}_6\text{Cu}_3\text{Ni}$.

Поршни подвергают закалке при 525 °С и старению при 290 °С.

8.2. МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Медь – металл красноватого цвета с гранцентрированной кристаллической решеткой. Плотность Cu равна 8890 кг/м³. При 1083 °С медь плавится.

По свойствам медь близка к серебру и золоту. Последние на воздухе не окисляются и поэтому называются благородными металлами. Медь окисляется слабо, поэтому ее называют полублагородным металлом.

Чистая медь имеет ряд ценных технических свойств. Благодаря высокой пластичности, высокой электро- и теплопроводности, малой окисляемости этот металл широко используется в промышленности.

Высокая электропроводность меди обуславливает ее преимущественное применение в электротехнике как проводникового металла. Все примеси уменьшают электропроводность меди. Наклеп также понижает электропроводность меди. Поэтому, если провода не должны быть особо прочными, то применяют отожженную медь. Для подвесных же проводов (где требуется прочность) применяют нагартованную медь или медь с небольшими добавками активных упрочнителей (например, с добавкой 1 % Cd).

Механические свойства чистой меди приведены в табл. 11.

Таблица 11

Механические свойства чистой меди

Состояние	σ_s , МПа	δ , %
Литая	150...2	15...25
Прокатанная и отожженная	250...270	40...50
Нагартованная	400...450	1...2

В технике наряду с чистой медью широко используются ее сплавы. Наибольшее распространение получили сплавы меди с цинком, называемые *латунями*, и сплавы с другими элементами (Sn, Si, Al, Be и т. д.), получившие название *бронзы*.

Латуни обладают высокими механическими и технологическими свойствами и имеют высокую коррозионную стойкость. В системе медь-цинк (рис. 29) образуются шесть твердых растворов: α , β , γ , δ , ϵ , η . При содержании цинка до 39 % латунь имеет структуру однофазного α -твердого раствора цинка в меди. Такие латуни обладают высокой пластичностью, хорошо деформируются при низких и высоких температурах. Однако в интервале 200...600 °С появляется хруп-

кость, связанная с образованием в примесях свинца, сурьмы, висмута хрупких межкристаллитных прослоек. С повышением температуры эти прослойки растворяются, и пластичность латуни увеличивается. Чем больше в α -латуни цинка, тем выше прочность и пластичность сплава.

При содержании цинка свыше 39 % в структуре латуни появляется β' -фаза – упорядоченный твердый раствор на базе электронного соединения CuZn. Двухфазные ($\alpha + \beta'$) латуни имеют повышенную прочность и твердость, меньшую пластичность. Выше 700 °С, когда структура становится однофазной и β -фаза имеет неупорядоченное расположение атомов, пластичность латуни увеличивается.

При концентрации Zn более 45 % сплав становится однофазным твердым раствором β .

Практическое применение в технике имеют латуни с содержанием цинка до 43 %.

При холодной обработке давлением латуни получают значительный наклеп, который снимается рекристаллизационным отжигом. Для получения мелкого зерна в α -латунях температуру отжига назначают в пределах 350...450 °С. Латуни, содержащие 20 % цинка, склонны к растрескиванию при вылеживании во влажной атмосфере (особенно содержащей следы аммиака). Это происходит в результате коррозии по границам зерен.

Кроме основных компонентов (Cu и Zn) латунь может содержать легирующие элементы (Al, Fe, Pb, Sn и т.д.). Олово, марганец и алюминий увеличивают прочность и коррозионную стойкость латуни; кремний улучшает ее литейные свойства.

Деформируемые латуни маркируют буквой Л и следующими за ней обозначениями легирующих элементов, если таковые имеются. Затем следуют группы чисел, первое из которых указывает на концентрацию меди, а каждое из последующих – на содержание соответствующего легирующего элемента. Концентрация цинка определяется по разности. Например, сплав Л62 содержит 62 % Cu и 38 % Zn; ЛАН59-3-2 содержит 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni и 36 % Zn.

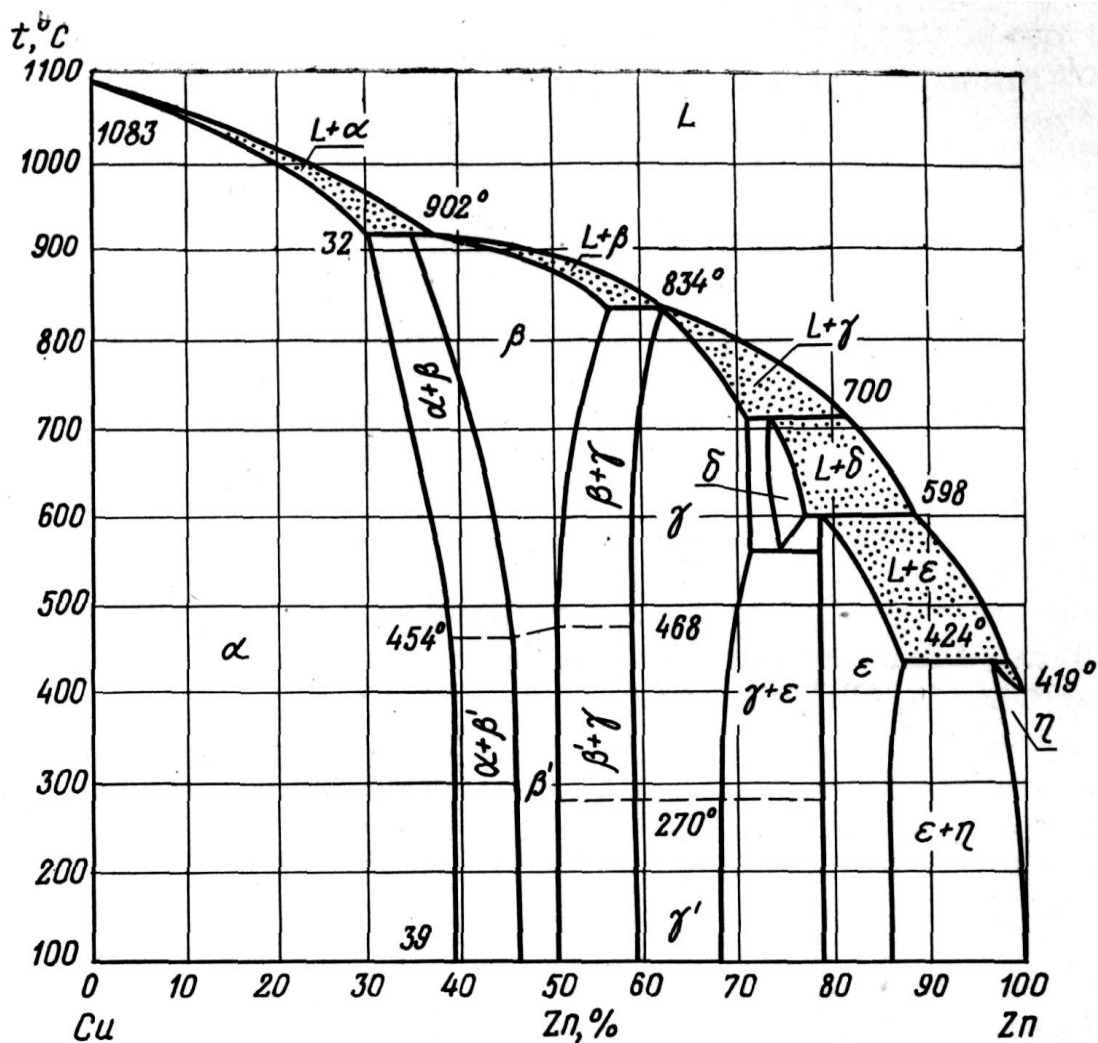


Рис. 29. Диаграмма состояния Cu-Zn

В марках литейных латуней в явной форме указывается содержание цинка (содержание меди определяют по разности). Числа, соответствующие процентной концентрации цинка и легирующих элементов, следуют непосредственно за буквенными символами. Например, сплав ЛЦ40Мц3А содержит 40 % Zn, 3% Mn, 1 % Al и 56 % Cu.

Латуни применяют для изготовления лент, труб, полос, проволоки, гаек, шестерен, подшипников скольжения, втулок, прокладок, коррозионностойких в воде деталей и т.д.

Бронзы в зависимости от легирующего элемента бывают оловянистые, алюминиевые, кремнистые, баррилиевые и т.д. Они обладают хорошими литейными свойствами. Некоторые бронзы имеют высокую пластичность и коррозионную стойкость.

Принципы маркировки бронз в общем близки с маркировкой латуней. Различия состоят в том, что на первом месте в марке пишут не Л, а Бр, кроме того, ни в деформируемых, ни в литейных сплавах не

указывают в явной форме концентрацию меди, имея в виду, что она всегда является основой сплава. Например, сплав БрОЦС 4-4-17 – деформируемая бронза, содержащая 4 % Sn, 4 % Zn, 17 % Pb, основа сплава – медь; сплав БрОЗЦ12С5 – литейная бронза, содержащая 3 % Sn, 12 % Zn, 5 % Pb, основа сплава Cu.

Оловянистые бронзы (БрОЦСН 3-7-5-1, БрОЦС 3-7-5 и др.) обладают хорошими металлическими, антифрикционными и технологическими свойствами, а также коррозионной стойкостью. Они имеют высокие литейные свойства, хорошо воспринимают пайку и сварку, не дают искры при ударах, немагнитны и морозостойки.

Алюминиевые бронзы (БрАЖ 9-4, БрАЖМц 10-3-1.5 и др.) обладают хорошими технологическими и механическими свойствами и не содержат дефицитных элементов. Бронзы, содержащие более 10 % Al, можно подвергать закалке (нагрев до 900 °С и охлаждение в воде) для увеличения твердости и прочности. Из алюминиевых бронз изготавливают зубчатые колёса, сальники, втулки, детали турбин и т.д.

Кремнистые бронзы (БрКМц3-1, БрКН1-3 и др.) обладают высокой пластичностью и хорошими литейными свойствами. Их применяют в качестве заменителей оловянистых бронз. Эти бронзы упрочняют термической обработкой – закалкой с 850...875 °С в воде и последующим отпуском – старением при 410...475 °С. Из кремнистых бронз изготавливают втулки, пружины и другие детали.

Бериллиевые бронзы (БрБ2) обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью. Их используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран и других деталей. Для получения нужных свойств бронзу подвергают закалке с 780 °С в воде и старению при 300 °С в течение 3 часов.

8.3. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан существует в двух аллотропических модификациях. Ниже 882 °С существует α -титан, обладающий ГПУ кристаллической решеткой. При более высоких температурах вплоть до температуры плавления (1665 °С) Ti существует в модификации β с ОЦК решеткой. Титан может быть отнесен как к тугоплавким металлам (температура плавления выше, чем у Fe), так и к легким (плотность Ti – 4500 кг/м³). По химической стойкости он не уступает коррозионно-стойким (нержавеющим) сталям, а в ряде случаев превосходит их.

Титановые сплавы наиболее широко применяют в авиации и ракетной технике для изготовления деталей, работающих при темпера-

турах 250...550 °С, когда легкие алюминиевые сплавы уже не могут работать, а стали и никелевые сплавы уступают им по удельной прочности.

Для повышения прочности титановые сплавы легируют марганцем, железом, алюминием, молибденом, хромом, ванадием, оловом и другими элементами.

Титановые сплавы можно упрочнять термической обработкой в печах с защитной атмосферой.

8.4. АНТИФРИКЦИОННЫЕ СПЛАВЫ

Сплавы цветных металлов широко применяются в качестве антифрикционных (подшипниковых) материалов. Они обладают гетерогенной структурой, состоящей из мягкой основы с равномерно распределенными включениями твердых частиц (баббиты, ряд сплавов на основе меди, цинковые антифрикционные сплавы) или из твердой основы и мягких включений (свинцовистая бронза, оловянистый алюминий).

Баббиты, например, Б83, Б16, БКА – сплавы на основе олова (Б83) или свинца (Б16 – с добавкой Sn, БКА – безоловянистый). Применяют баббиты для изготовления вкладышей подшипников скольжения быстроходных тяжелонагруженных машин (Б83, Б88), автомобильных моторов (Б16), подшипников вагонов (БКА, БК2).

Широкое применение имеют оловянистые баббиты Б83 (11 % Sb, 6 % Cu, 83 % Sn). Структура оловянистых баббитов состоит из твердого скелета игл Cu_6Sn_5 и вязкой основы тройной эвтектики – твердого раствора сурьмы и меди в олове и частиц Cu_6Sn_5 и SnSb. Вал во время работы изнашивает вязкую основу сплава и опирается на выступающие твердые частицы. Это способствует удержанию смазки во впадинах подшипника.

Алюминиевые подшипниковые сплавы, например АО9-2, АО20-1, работают в условиях высокой энергонапряженности (при высоких давлениях и скоростях скольжения).

Несколько уступает по антифрикционным свойствам алюминиевым сплавам свинцовистая бронза БрСЗО. Бронзу БрО5Ц5С5, латунь ЛЦ16К4 и др. применяют в качестве антифрикционных материалов при невысоких скоростях скольжения (1...3 м/с).

ТЕМА 9. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ, НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

9.1. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В машиностроении применяют специальные электротехнические материалы: электроизоляционные, магнитные, проводниковые, полупроводниковые и другие. Для их эффективного применения нужна информация о параметрах электрических, магнитных и других специфических свойств.

Электропроводность – свойство материалов проводить электрический ток, обусловленное наличием в них подвижных заряженных частиц – электронов.

Природу электропроводности твердых материалов объясняет зонная теория, согласно которой энергетический спектр электронов состоит из чередующихся зон разрешенных и запрещенных энергий. В нормальном состоянии электроны могут иметь только определенные значения энергии, то есть занимать разрешенные энергетические уровни (валентную зону). Пустые или частично заполненные более высокие энергетические уровни образуют зону проводимости. Электроны, возбуждаясь, то есть, приобретая добавочную энергию, например, при нагревании материалов, могут переходить в зону проводимости. Если валентная зона и зона проводимости перекрываются, то при незначительном возбуждении электроны будут перемещаться от одних атомов к другим. Материалы такого типа – проводники – обладают высокой электропроводностью. Электропроводность диэлектриков очень мала, так как переход заметного числа электронов в зону проводимости – случайное явление, обусловленное, например, дефектами структуры.

Электрическое сопротивление – свойство материалов как проводников противодействовать электрическому току.

Все вещества, помещенные во внешнее магнитное поле, намагничиваются. **Намагничивание** связано с наличием магнитных моментов у частиц вещества.

Характеристикой намагничивания материалов служит *намагниченность*, равная суммарному магнитному моменту атомов в единичном объеме материала.

Величина, характеризующая связь намагниченности с магнитным полем в материале, называется *магнитной восприимчивостью*. В

зависимости от знака и значения магнитной восприимчивости материалы делят на:

- диамагнетики;
- парамагнетики;
- ферромагнетики.

Диамагнетизм – свойство материалов намагничиваться во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном полю. Диамагнетизм присущ всем веществам.

Диамагнетики обладают отрицательной магнитной восприимчивостью. Во внешнем магнитном поле они намагничиваются против поля. В отсутствие внешнего магнитного поля диамагнетики немагнитны.

Парамагнетики обладают положительной магнитной восприимчивостью. Они слабо намагничиваются по направлению поля, а в отсутствие поля – немагнитны.

Ферромагнетики характеризуются большим значением магнитной восприимчивости и ее зависимостью от напряженности поля и температуры. Они обладают самопроизвольной намагничиваемостью даже в отсутствие внешнего намагничивающего поля.

Антиферромагнетики – материалы, намагниченность которых в отсутствие магнитного поля равна нулю.

Магнитная восприимчивость, как правило, существенно зависит от температуры: у парамагнетиков – уменьшается при нагревании, у ферромагнетиков – увеличивается скачком.

Проводниковые материалы классифицируют в зависимости от удельного электрического сопротивления на металлы и сплавы высокой проводимости, криопроводники и сверхпроводники, сплавы с повышенным электросопротивлением.

Среди *металлов высокой электрической проводимости* широко распространены медь (удельное электросопротивление $\rho = 0,017$ мкОм • м), алюминий ($\rho = 0,028$ мкОм • м) и железо ($\rho = 0,098$ мкОм • м). Имеют практическое значение также серебро ($\rho = 0,006$ мкОм • м) и золото ($\rho = 0,022$ мкОм • м).

Электрические и механические характеристики *меди* в значительной степени определяются наличием примесей и напряженностью структуры металла. Наименьшим электрическим сопротивлением обладает чистая медь. Любые примеси снижают ее электропроводность. Деформационное упрочнение ухудшает проводниковые

свойства меди, но увеличивает ее механическую прочность. *Холоднотянутая (твердая) медь* – МТ применяется в основном там, где необходимы, наряду с достаточной электрической проводимостью ($\rho = 0,018$ мкОм • м), прочность, твердость, высокое сопротивление истирающим нагрузкам (например, контактные провода, коллекторные пластины электрических машин). *Отожженная (мягкая) медь* – ММ имеет высокую электрическую проводимость (ρ не более 0,01724 мкОм • м) и применяется в виде проволок для изготовления токопроводящих жил кабелей, обмоточных и монтажных проводов, в производстве волноводов и т.д.

Алюминий как проводниковый материал занимает второе место после меди. Для электротехнических целей используют специальные марки алюминия А5Е (общее содержание примесей 0,5 %) и А7Е (примесей 0,3 %), в которых содержание железа и кремния находится в определенном соотношении, а концентрация Ti, V, Cr и Mn снижена до тысячных долей процента. Удельное электрическое сопротивление проводникового алюминия не более 0,0289 мкОм • м.

Железо значительно уступает меди и алюминию по электрической проводимости, но оно обладает более высокими механическими характеристиками. В качестве проводникового материала железо (низкоуглеродистые стали) применяют в тех случаях, когда прочностные свойства имеют решающее значение, например, для рельсов подвижного состава с электрической тягой.

Широкое применение стальная проволока находит в воздушных линиях связи и электропередачах небольших мощностей, а также в качестве сердечников в биметаллических сталеалюминевых или сталемедных проводах для повышения их прочности на разрыв. Для постоянного тока применяют проволоку из железа армко (углерода не более 0,03%).

Свинец широко применяют для изготовления защитных оболочек кабелей, легкоплавких вставок предохранителей, защитных экранов в рентгеновских установках и пластин в кислотных аккумуляторах.

Платина и серебро обладают высокой пластичностью и коррозионной стойкостью. Из них можно изготовить проволоку диаметром 0,002 мм. Платиновая проволока применяется для изготовления электронагревательных элементов лабораторных печей, для изготовления термопар. Из серебра и платины изготавливают контакты для включающих аппаратов малой мощности (реле и др.).

Вольфрам и молибден используют для изготовления спиралей накаливания, поддерживающих крючков, петель, катодов в электровакуумных приборах, а также размыкающих контактов в электрических аппаратах.

Ртуть сохраняет свое жидкое состояние до $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Она стойка к окислению. Ртуть применяют в качестве жидких контактов в специальных реле, выключателях и ртутных выпрямителях.

К *криопроводникам* относятся материалы, приобретающие при глубоком охлаждении (ниже $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$) высокую электрическую проводимость, но не переходящие в сверхпроводниковое состояние. Одним из таких материалов является алюминий особой чистоты А999 (99,999 % А1). При температуре жидкого азота минус $195,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ удельное электрическое сопротивление составляет около $0,003\text{ мкОм} \cdot \text{м}$, а при температуре жидкого водорода минус $252,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – около $0,00005\text{ мкОм} \cdot \text{м}$.

К *сплавам с повышенным удельным электрическим сопротивлением* (не менее $0,3\text{ мкОм} \cdot \text{м}$) относятся медноникелевые сплавы: манганин (МНМц 3-12), константан (МНМц 40-1,5); сплавы на основе никеля: нихромы (Х20Н80, Х15Н60); на железной основе: фехраль (Х13Ю4), хромель (ОХ23Ю5) и др.

Манганин – сплав на основе Cu, легированный 3 % Ni и 12 % Mn, обладает стабильным удельным электрическим сопротивлением в интервале температур от -100 до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Низкое значение термоЭДС в паре с медью и высокая стабильность электросопротивления во времени позволяют широко использовать манганин при изготовлении резисторов и электроизмерительных приборов высоких классов точности.

Константан (около 40 % Ni и 1,5 % Mn, основа – Cu) по стойкости к нагреву превосходит манганин, что позволяет использовать его в реостатах и электронагревательных приборах, работающих при температуре до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Высокая термоэлектродвижущая сила константана в паре с медью и железом исключает возможность применения его в электроизмерительных приборах, однако, она позволяет применять константан при изготовлении термопар.

Сплавы высокого электросопротивления (нихромы, фехраль, хромель и др.) применяют для изготовления нагревательных элементов электрических приборов и печей. Рабочие температуры таких сплавов $900\text{...}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Диэлектриками называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность поляризоваться в электрическом поле. В диэлектриках электрические заряды прочно связаны с атомами, молекулами или ионами и в электрическом поле лишь несколько смещаются относительно положения равновесия. Происходит разделение центров положительного и отрицательного зарядов, т.е. поляризация. Для диэлектриков характерно высокое сопротивление прохождению постоянного электрического тока. Мерой поляризуемости диэлектрика является *относительная диэлектрическая проницаемость*, равная отношению емкости конденсатора с диэлектриком к емкости такого же конденсатора с вакуумом. Важнейшей характеристикой диэлектрических материалов является *электрическая прочность*. При превышении в объеме диэлектрика некоторой критической величины напряженности электрического поля происходит пробой. (Под напряженностью электрического поля понимают отношение приложенного к диэлектрику напряжения к расстоянию между подводщими напряжением электродами). Значение напряжения в момент пробоя называют пробивным напряжением, а достигнутую к этому моменту напряженность – электрической прочностью.

В приборостроении в ряде случаев требуются материалы с минимальным или заданным по величине температурным коэффициентом линейного расширения, материалы с малым температурным коэффициентом модуля упругости и др. Сплавы, имеющие подобные свойства, принадлежат системе Fe-Ni.

Минимальное значение температурного коэффициента линейного расширения ($1,5 \cdot 10^{-6}$) в интервале температур от -60 до $+100$ °C имеет сплав с 36 % никеля – 36Н, называемый *инвар*. Малое значение температурного коэффициента линейного расширения сплавов инварного типа имеет ферромагнитную природу и связано с большой *магнитострикцией*, т.е. изменением размеров ферромагнетика при его намагничивании. Размеры изделий инварного сплава определяются двумя составляющими: нормальной, зависящей от энергии связи между атомами, и магнитострикционным увеличением размера, вызванным внутренним магнитным полем ферромагнетика. С увеличением температуры размер любого тела растет вследствие ослабления межатомных связей, но в сплавах инварного типа этот рост компенсируется уменьшением магнитострикционной составляющей, поскольку увеличение тепловых колебаний атомов влечет за собой снижение намагниченности, а, следовательно, и магнитострикции.

Частичная замена в инваре никеля на кобальт и дополнительное легирование медью уменьшает коэффициент линейного расширения сплава в том же температурном интервале до $1,0 \cdot 10^{-6}$ (32НКД – *суперинвар*). Сплав 29НК (*ко-вар*) имеет такой же коэффициент, как термостойкое стекло, вольфрам и молибден. У сплава 47НД (*платинит*) коэффициент линейного расширения такой же, как у обычного стекла и у платины.

Сплавы с малым температурным коэффициентом модуля упругости называют элинварными, например, 36НХ (*элинвар*), 42НХТЮ, 44НХТЮ.

Ферромагнитные материалы в зависимости от конфигурации их петли магнитного гистерезиса подразделяют на магнитотвердые и магнитомягкие.

Магнитотвердые сплавы используют для изготовления постоянных магнитов. Они имеют широкую петлю гистерезиса с большой коэрцитивной (размагничивающей) силой $H_c > 4$ кА/м и обладают значительной магнитной энергией, пропорциональной величинам H_c и остаточной магнитной индукции B_r .

Увеличение коэрцитивной силы магнитотвердых сталей достигается получением неоднородной напряженной структуры, представленной высокоуглеродистым мартенситом с высокой плотностью дефектов строения.

Для постоянных магнитов небольшой мощности могут быть использованы углеродистые инструментальные стали У10А, У11А. Чаще применяют высокоуглеродистые стали, легированные хромом и кобальтом (ЕХЗ, ЕХ5К5 и др.). Легирующие элементы увеличивают прокаливаемость стали, повышают ее коэрцитивную силу и магнитную энергию. Широкое применение получили литые сплавы типа алнико, например ЮНДК15, ЮНДК40Т8АА, обладающие значительно большей коэрцитивной силой и магнитной энергией, чем легированные стали. В качестве материалов постоянных магнитов применяют сплавы системы Fe-Ni-Al, сплавы на основе РЗМ (Sc, La, Y), получаемые методом порошковой металлургии.

Из *магнитомягких* сплавов изготавливают электромагниты, магнитопроводы электрических машин, трансформаторов, электрических приборов и аппаратов. Основные требования, предъявляемые к магнитомягким материалам, – низкая коэрцитивная сила (узкая петля гистерезиса), высокая магнитная проницаемость, высокая индукция

насыщения, малые потери на вихревые токи и перемагничивание. Низкие значения H_c и высокая магнитная проницаемость достигаются в ферромагнетиках при однофазной, близкой к равновесию, структуре с минимумом внутренних напряжений.

Магнитомягким материалом является, например, техническое железо. Оно обладает достаточно высокой начальной и максимальной магнитной проницаемостью ($\mu_0 = 0,3$ и $\mu_{\max} = 9$ мГн/м) и низкой коэрцитивной силой ($H_c = 64$ А/м). Недостатком железа является низкое удельное электросопротивление (ρ не более $0,1$ мкОм • м), обуславливающее значительные тепловые потери, связанные с вихревыми токами, возникающими при перемагничивании. Поэтому применение технического железа ограничено устройствами, работающими на постоянном токе.

Наиболее широкое распространение в качестве магнитомягких материалов, работающих в полях промышленной частоты (низкочастотные поля), получили кремнийсодержащие (электротехнические) стали. Основное назначение кремния – увеличение удельного электросопротивления стали, и, следовательно, сокращение потерь при перемагничивании. Дальнейшее уменьшение тепловых потерь достигается изготовлением магнитопроводов (роторов и статоров двигателей, сердечников трансформаторов и т.д.) из набора тонколистовых деталей с прослойкой изоляции (полимеров, оксидов).

Электротехнические стали маркируют четырехзначными числами. Первая цифра характеризует вид и структуру проката: 1 – горячекатаная изотропная сталь, 2 – холоднокатаная изотропная, 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой. Вторая цифра указывает на содержание кремния: 0 – менее 0,4 %, 1 – более 0,4 до 0,8 %, 2 – более 0,8 до 1,8 %, ... 5 – более 3,8 до 4,8 %. Третья цифра определяет тепловые потери при определенных значениях индукции B_r и частоты. Например, единица указывает, что потери нормированы при $B_r = 1,5$ Тл и $f = 50$ Гц. Четвертая цифра – код числового значения нормируемого параметра. Чем цифра больше, тем потери меньше.

В радиотехнике и телефонии для достижения больших значений индукции в слабых магнитных полях для магнитопроводов применяют железоникелевые сплавы – *пермаллои*, содержащие 45...83 % Ni и отличающиеся высокой магнитной проницаемостью. К пермаллоям относятся, например, сплавы 45Н, 50Н (низконикелевые); 79НМ, 81НМА (высоконикелевые). Пермаллои применяют при частотах до

25 кГц. Наряду с пермаллоями применяют литейные сплавы системы Fe-Al-Si (*альсиферы*). Обладающие свойствами, близкими к пермаллоям, альсиферы не содержат дорогостоящих легирующих элементов, но они менее технологичны.

Для работы в высокочастотных полях в качестве магнитопроводов применяют магнитодиэлектрики и ферриты. *Магнитодиэлектрики* представляют собой композиционные материалы, состоящие из конгломерата тонкодисперсных низкокоэрцитивных частиц, например, размолотого альсифера, скрепленных прослойками органического или неорганического диэлектрика. Высокое удельное электросопротивление магнитодиэлектрика обуславливает малые потери на вихревые токи и определяет возможность его применения в высокочастотной проводной связи, радиоэлектронике и т.д.

Ферриты представляют собой материалы, состоящие из оксидов Fe, Zn, Mg, Ni, получаемые методом порошковой металлургии. Ферриты широко применяют в устройствах, работающих в слабых полях на низких и высоких радиочастотах.

Немагнитные стали и чугуны. Стали аустенитного класса с высоким содержанием никеля и марганца и чугуны с содержанием 2,6...3,2 % C; 2,5...3,3 % Si; 5,0...7,5 % Mn и 9...12 % Ni немагнитны. Изделия из этих материалов применяются в электрических машинах в качестве немагнитных деталей.

9.2. ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Общая характеристика пластмасс

Пластмассами называют искусственные материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные принимать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

Основным компонентом пластмасс, обеспечивающим работу всей композиции как единого целого, являются *связующие вещества* – *полимерные материалы*, или смолы, представляющие собой высокомолекулярные соединения, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа (нескольких тысяч) мономерных звеньев.

Полимеры получают в результате синтеза из низкомолекулярных соединений методами полимеризации или поликонденсации.

Наиболее многочисленную группу соединений составляют *органические* полимеры, например, полиолефины, фторопласты, полиамиды, полиимиды, фенолформальдегидные смолы, полисилоксаны, эпоксидные смолы.

Основу *неорганических* полимерных материалов составляют соединения SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 и др. Представителями таких полимеров являются силикатные стекла, керамика, асбест, слюда.

Свойства полимерных материалов определяются как их химическим составом, так и строением макромолекул.

Присутствие в основных молекулярных цепях атомов других, кроме углерода, элементов сообщает полимеру те или иные специфические свойства. Например, фосфор и хлор повышают огнестойкость, атомы серы увеличивают газонепроницаемость, кислород способствует повышению эластичности, фтор обеспечивает высокую химическую стойкость пластмасс.

По строению различают следующие основные типы макромолекул: линейные, разветвленные, ленточные, пространственные.

Полимерные материалы с ленточной или разветвленной структурой макромолекул высокоэластичны. Линейные полимеры представляют собой цепи, длина которых в сотни и тысячи раз превышает размеры поперечного сечения. Разветвленные полимеры имеют боковые ответвления. И линейные, и разветвленные полимеры обладают *термопластичностью*, то есть способностью обратимо размягчаться при нагреве и затвердевать при охлаждении без участия химических реакций. Такие материалы называют *термопластами*. Процесс размягчение – затвердевание может протекать многократно.

Полимеры с пространственными макромолекулами имеют повышенную тепловую и химическую стойкость. Пространственные полимеры имеют химические связи между линейными цепями макромолекул. Образование подобной структуры и связанное с ним необратимое затвердевание материала протекает при участии химических реакций. Такие полимеры, а также пластмассы на их основе называют *терморективными (реактопласты)*. Перевести однажды затвердевшую терморективную смолу в вязкотекучее или высокоэластичное состояние нельзя. Пространственной (редкосетчатой) структурой обладают также резины – продукт вулканизации природного или синтетического полимера – каучука.

В зависимости от химического состава, строения макромолекул, надмолекулярной структуры (степени кристалличности) полимеры по

электрическим и физическим свойствам могут быть *полярными* и *неполярными*. У полярной молекулы пространственные положения центров тяжести положительного и отрицательного зарядов не совпадают. У неполярной молекулы скрепляющее ее электронное облако распределяется равномерно и центры тяжести разноименных зарядов находятся в одной точке. Полярные полимеры обладают повышенной жесткостью и теплостойкостью, высокой адгезионной способностью, пониженной морозостойкостью. Неполярные – являются высококачественными и высокочастотными диэлектриками. Их свойства мало изменяются при понижении температуры. Они отличаются высокой морозостойкостью.

Наряду со связующим веществом большинство пластмасс содержат *наполнители и добавки*, улучшающие их технологические и эксплуатационные свойства.

Наполнители придают пластмассовым изделиям высокую прочность, химическую стойкость, теплостойкость, улучшают диэлектрические качества, снижают (повышают) плотность, повышают фрикционные (антифрикционные) свойства и т.д. Наполнители могут быть как органическими, так и неорганическими веществами.

По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми и газообразными. Пластмассы с ориентированным волокнистым наполнителем и с листовым наполнителем (слоистые пластмассы) обладают ярко выраженной анизотропией механических свойств.

По виду наполнителей различают пластмассы ненаполненные, или простые, и наполненные. К последним относятся материалы с наполнителями: порошкообразными (пресс-порошки и литьевые пластмассы); волокнистыми (волокниты, асбоволокниты, стекловолокниты); листовыми (гетинаксы, текстолиты, асботекстолиты, древесно-слоистые пластики (ДСП, стеклотекстолиты); газообразными (пено- и поропласты).

По назначению пластмассы подразделяют на ряд групп: конструкционные, электроизоляционные, химически стойкие, фрикционные, тепло- и звукоизоляционные, светотехнические и др.

Конструкционные пластмассы характеризуются высокими механическими свойствами. К ним относятся, например, ударопрочный полистирол, фенопласты, стеклопластики (стекловолокниты, стеклотекстолиты), используемые в нагруженных узлах и деталях конструкций. Стеклопластики на основе эпоксидных смол обладают высокими

прочностными свойствами, на основе кремнийорганических смол (полисилоксанов) – высокой теплостойкостью.

Электроизоляционные пластмассы являются хорошими диэлектриками. Их (полиэтилены высокого (ПЭВД) и низкого (ПЭНД) давления, полистирол, фторопласты (фторопласт-3 и фторопласт-4), гетинакс, текстолит) используют при изготовлении электроизолирующих и диэлектрических деталей, пленок, шлангов, изолирующих покрытий на металлах и т.д.

Химически стойкие пластмассы, например, фторопласт-4, полиэтилен, поливинилхлорид (винипласт), асбоволокниты способны сопротивляться действию влаги и различных химических соединений. Из них изготавливают химическую аппаратуру, емкости, трубы, химически стойкие покрытия на металлах и др.

Фрикционные пластмассы обладают в условиях сухого трения высоким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. К ним относятся, например, асбоволокниты, асботекстолиты, асбокаучуковые материалы. Такие пластмассы работают в узлах, передающих кинетическую энергию (например, фрикционные диски муфт сцепления) или рассеивающих ее (например, накладки, колодки тормозных устройств).

Антифрикционные пластмассы имеют малый коэффициент трения и высокую износостойкость. В эту группу входят пластмассы, работающие в узлах трения. Высокими антифрикционными свойствами обладают, например, фторопласт-4, полиамиды (капрон), лавсан, текстолиты, древесно-слоистые пластики. Из пластмасс изготавливают вкладыши подшипников скольжения, зубчатые колеса и другие детали, образующие пары трения. Зубчатые колеса из текстолита работают бесшумно при частотах вращения до 30000 об/мин, шестерни из ДСП могут передавать значительные нагрузки, сравнимые с деталями из цветных металлов.

Тепло- и звукоизоляционные пластмассы, например, пенополистирол, пенополиуретан, пенополиэпоксид, пенополисилоксан обладают низким коэффициентом теплопроводности, высокой звукопоглощающей способностью. Их используют для теплоизоляции холодильников, труб; тепло- и звукоизоляции кабин и др. Пластмассы применяют также в качестве легкого заполнителя силовых элементов конструкций; для изготовления труднозатопляемых изделий.

Светотехнические и оптические пластмассы применяют для изготовления оптических деталей и арматуры осветителей. Они стой-

ки к воздействию света и обладают высокими оптическими свойствами. Например, полиметилметакрилат (органическое стекло) применяют для остекления автомобилей, судов, самолетов, для изготовления рассеивателей и других светотехнических изделий; из полистирола изготавливают прозрачные колпаки приборов, часовые стекла и т.п.

Декоративные пластмассы, например гетинакс, применяют для отделки (облицовки) мебели, салонов автобусов, самолетов, кабин судов, пассажирских железнодорожных вагонов, вагонов метро и др.

Достоинством всех пластических масс является сравнительная легкость и небольшая трудоемкость их переработки в изделия. Существует несколько способов получения изделий из пластмасс: экструзией, литьем, прессованием, вальцеванием и др.

Термопластичные пластмассы

Широко применяются термопластичные пластмассы на основе полиэтилена, полипропилена, фторопластов, полистирола, поливинилхлорида, полиамидов и других полимеров.

Полиэтилен имеет линейное строение макромолекул $[-CH_2-CH_2-]_n$ и является продуктом полимеризации этилена. По структуре относится к кристаллическим полимерам. Свойства полиэтилена зависят от условий полимеризации. В процессе полимеризации при температуре 200...300 °С и давлении $(1...3,5) \cdot 10^4$ МПа получают полиэтилен высокого давления, имеющий низкую плотность – 0,918...0,930 г/см³. Его называют *полиэтиленом высокого давления*, или *полиэтиленом низкой плотности*. При полимеризации полиэтилена при температуре около 80 °С и давлении ниже 200 МПа получают *полиэтилен низкого давления*, или *высокой плотности* – 0,946...0,970 г/см³. Чем больше плотность и степень кристалличности полиэтилена, тем выше его прочность, модуль упругости и теплостойкость. Полиэтилен высокой плотности имеет степень кристалличности 75-95 %, а низкой плотности – 50-60 %. Температура плавления изменяется от 105 до 130 °С. Изделия из полиэтилена высокого давления могут использоваться до температуры 60 °С, а из полиэтилена низкого давления – до 100 °С. Полиэтилен обладает морозостойкостью до температуры –60 °С.

Полиэтилен имеет высокие диэлектрические свойства. Он химически стоек к действию водных растворов кислот и щелочей. Полиэтилен устойчив при воздействии концентрированных серной, соляной и плавиковой кислот. Концентрированная азотная и другие силь-

ные кислоты разрушают его. Полиэтилен нетоксичен, легко сваривается и паяется, технологичен. Изделия из него получают литьем под давлением, экструзией с последующим выдуванием, штамповкой, центробежным литьем. Полиэтилен недорог, сочетает высокую прочность с пластичностью. Его недостаток – склонность к старению под действием ультрафиолетовых лучей.

Полиэтилен применяют для изоляции, электропроводов и кабелей, для пропитки тканей, бумаги, древесины. Являясь экологически безвредным, он применяется в медицине, жилищном строительстве, в продовольственном машиностроении и для производства товаров народного потребления, а также для защиты металлов от коррозии и в качестве заменителя стекла. Полиэтиленовые трубы могут работать при температуре до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, они не подвержены почвенной коррозии. Из полиэтилена изготавливают крышки подшипников, бесшумные в работе шестерни, клапаны, уплотнительные прокладки, детали вентиляторов и насосов, гайки, шайбы, полые изделия вместимостью до 200 л, тару для хранения и транспортировки кислот и щелочей, трубы, уголки, швеллеры, вентили, краны, протезы и т. д.

Полипропилен является продуктом полимеризации пропилена. Имеет следующую химическую формулу: $[-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-]_n$. Технологический процесс производства подобен получению полиэтилена низкого давления.

По сравнению с полиэтиленом имеет более высокие прочность, жесткость и ударную вязкость. Разрушающее напряжение полипропилена при растяжении составляет 25...40 МПа, максимальная температура эксплуатации без нагрузки $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Его недостатком является невысокая морозостойкость до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полипропилен перерабатывается штамповкой, литьем под давлением, пневматическим и вакуумным прессованием. Его можно сваривать, напылять на металл, ткань, картон. Он легко подвергается механической обработке на токарных, фрезерных, сверлильных станках. Отходы при производстве полипропилена и отработавшие изделия из него используют для повторной переработки. Полипропилен применяется для антикоррозионного покрытия резервуаров, труб и арматуры трубопроводов, электроизоляционных деталей, а также для изготовления деталей, используемых при работе в агрессивных средах.

Из полипропилена изготавливают корпуса аккумуляторов, прокладки, трубы, фланцы, водонапорную арматуру, пленки, пленочные покрытия бумаги и картона, корпуса воздушных фильтров, конденса-

торы, вставки демпфирующих глушителей, зубчатые и червячные колеса, ролики, подшипники скольжения, фильтры масляных и воздушных систем, уплотнения, детали приборов и автоматов точной механики, кулачковые механизмы, детали холодильников.

Фторопласты являются модифицированными полимерами этиленового ряда. Они имеют прочность при растяжении 15...35 МПа, при изгибе – 10...15 МПа, относительное удлинение при разрыве 250...350 %. Наиболее широкое распространение получили фторопласт-3 и фторопласт-4.

Фторопласт-3 или полифторхлорэтилен характеризуется высокими электроизоляционными свойствами, хорошей химической стойкостью и теплостойкостью, охрупчивается при температурах ниже -120 °С. Его применяют в качестве оптического материала, для изготовления электроизоляционных деталей, работающих при высоких температурах, коррозионностойких труб, мембран и других изделий.

Фторопласт-4 или политетрафторэтилен больше известен под названием *тефлон*. Характеризуется высокой плотностью 2,1-2,3 г/см³, низким коэффициентом трения, хорошими электроизоляционными и диэлектрическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, термо- и морозостойкостью. Рабочий интервал температур находится в интервале от -269 до 250 °С. Пленка из него не охрупчивается даже в среде жидкого гелия. По химической стойкости фторопласт-4 превосходит все известные материалы, включая золото и платину. Он стоек к воздействию всех минеральных и органических щелочей, кислот, органических растворителей, не набухает в воде, не смачивается жидкостями и вязкотекучими средами пищевых производств (тестом, патокой, вареньем и т. д.). При температуре до 260 °С невзрывоопасен, негорюч, при непосредственном контакте не оказывает влияния на организм человека. Разрушается только под действием расплавленных щелочных металлов и элементарного фтора. Имея низкий коэффициент трения, используется для изготовления подшипников скольжения без смазки. Для уменьшения износа подшипников во фторопласт вводят 15...30 % наполнителя (графита, дисульфида молибдена, стеклянного волокна и др.). Недостатками фторопласта-4 являются низкая твердость, склонность к ползучести и отслоению его частиц при контактных напряжениях.

Фторопласты широко применяются для изготовления стойких покрытий, пленок, волокон, подшипников, кранов, мембран, насосов, коррозионностойких конструкций, тепло- и морозостойких деталей

(штулки, пластины, диски, прокладки, сальники, клапаны), для облицовки внутренней поверхности различных низкотемпературных емкостей.

Полистирол относится к числу наиболее известных и широко применяемых пластмасс. Его макромолекула имеет следующую формулу: $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]$.

Это твердый, жесткий, бесцветный, прозрачный, аморфный полимер, легко окрашиваемый в различные цвета. Обладает высокой водостойкостью, хорошей химической стойкостью в растворах солей, кислот и щелочей. По сравнению с другими термопластами имеет более высокую стойкость к радиации. Недостатками полистирола являются повышенная хрупкость при ударных нагрузках, склонность к старению, невысокая тепло- и морозостойкость. Интервал рабочих температур от -40 до 65 °С.

Полистирол применяют для изготовления деталей радио- и электроаппаратуры, предметов домашнего обихода, детских игрушек, трубок для изоляции проводов, пленок для изоляции электрических кабелей и конденсаторов, открытых емкостей (лотки, тарелки и др.), прокладок, втулок. Из ударопрочного полистирола, который представляет собой механическую смесь полистирола с каучуком, изготавливают крупногабаритные детали холодильников.

Пластмассы на основе поливинилхлорида, имеющего формулу $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$, обладают хорошими электроизоляционными свойствами. Они устойчивы к воздействию химикатов, не поддерживают горения, атмосферно-, водо-, масло- и бензостойки.

Винипласты – непластифицированные поливинилхлориды. Винипласты имеют высокую механическую прочность и упругость, но сравнительно малую пластичность. Устойчивы к воздействию почти всех минеральных кислот, щелочей и растворов солей. Их недостатками являются склонность к ползучести, низкая ударная вязкость, малая теплостойкость, резкая зависимость от температуры.

Винипласт выпускается в виде листов, прутков, труб. Хорошо обрабатывается на металло- и деревообрабатывающих станках. Он формуется, гнется, выдавливается и выдувается, поддается сварке и склеиванию. Пленочный винипласт при нагреве склеивается с металлом и бетоном. Его применяют для упаковки лекарств и пищевых продуктов, для изготовления обложек книг и папок, деталей машин и аппаратов, непосредственно контактирующих с пищевыми средами. Из винипласта изготавливают: трубы для транспортировки воды, хо-

лодного молока, агрессивных жидкостей и газов, тару для молока и молочных продуктов, коррозионностойкие емкости, детали вентиляционных воздухопроводов, теплообменников, шланги вакуумпроводов, вибропоглощающие материалы в машиностроении, водо-, бензо- и антифрикционные трубки, прокладки, соединительные муфты, клапаны и т. д.

Пластикат – это поливинилхлорид, пластифицированный различными веществами. Введение пластификаторов не только улучшает пластичность, но и повышает морозостойкость. В промышленности выпускают пленочный пластикат, в виде гранул, лент или трубок. Пластикат получают экструзией и вальцеванием. Он обладает хорошей стойкостью к старению. Пленочный пластикат эластичен, влагонепроницаем, негорюч, имеет хорошие диэлектрические свойства, стоек к действию бензина и различных масел. При температурах ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ становится хрупким. Широко используется для изоляции кабелей, изготовления труб и других изделий.

Полиамиды включают в себя группу известных термопластичных пластмасс – нейлон, капрон и др. Макромолекула полиамида состоит из амидной $-\text{NH}-\text{CO}-$ и метиленовой $-\text{CH}_2-$ групп. Имеет общий вид $[-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)-]_n$, где число метиленовых групп повторяется от 2 до 100 раз. Ориентированные полиамиды характеризуются высокой прочностью на растяжение, составляющей более 400 МПа, ударопрочностью, способностью к поглощению вибрационных нагрузок. Подшипники и трущиеся детали из полиамидов способны работать с самосмазыванием, поэтому их можно использовать в пищевой промышленности в тех случаях, когда применение смазок вредно и нежелательно. Полиамиды используют для изготовления конструкционных и электроизоляционных изделий, работающих при температурах от -60 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это зубчатые передачи, уплотнительные устройства, втулки, муфты, подшипники скольжения, лопасти винтов, стойкие к действию щелочей, масел, жиров и углеводородов, технические изделия и товары культурно-бытового назначения, антифрикционные покрытия металлов.

Полиуретаны являются ценными термопластичными полимерами. Они содержат уретановую группу $[-\text{NH}-\text{COO}-]_n$. Характеризуются высоким модулем упругости, износостойкостью, низким коэффициентом трения, стойкостью к вибрациям, масло-, бензо- и атмосферостойкостью. Изделия из полиуретана можно использовать при понижении температуры до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Волокна из полиуретана малогигро-

скопичны и имеют высокую химическую стойкость. Их используют для изготовления изоляции, фильтровальных и парашютных тканей.

Стекло органическое (плексиглас) обычно состоит из полиметакрилата, имеющего структурную формулу $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{COOCH}_3)-]_n$. Оно обладает хорошими диэлектрическими свойствами и стойкостью к старению в естественных условиях. Органическое стекло оптически прозрачно. Его светопрозрачность составляет около 92 %. Оно пропускает до 92 % ультрафиолетовых лучей и большую часть инфракрасных лучей. Имеет низкую плотность, устойчиво к воздействию разбавленных кислот и щелочей, углеводородного топлива и смазок. Под действием внешних сил в органическом стекле образуются трещины. Для повышения его стойкости против растрескивания полимер подвергают растяжению в нагретом до 140...150 °С состоянии в двух взаимно перпендикулярных направлениях, в результате чего ударная вязкость увеличивается в 7-10 раз. Его недостаток – низкая поверхностная твердость.

Поликарбонат – полимер, выпускаемый под названием *дифлон*. Характеризуется низкой водопоглощаемостью и газопроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами, высокой жесткостью, теплостойкостью и химической стойкостью, не имеет запаха и вкуса, физиологически безвреден, бесцветен, прозрачен, хорошо окрашивается. Устойчив к световому старению и действию окислителей даже при нагреве до 120 °С. Является одним из наиболее ударопрочных термопластов, что позволяет использовать его в качестве конструкционного материала, заменяющего металлы. Из поликарбоната изготавливают шестерни, подшипники, корпуса, крышки, клапаны и другие детали, сосуды и детали трубопроводов для транспортировки фруктовых соков, молока, вин; может использоваться в технике низких температур для работы в среде жидких газов.

Физико-механические свойства поликарбонатов улучшаются при введении в них армирующих волокон. Армированные поликарбонаты «Эстеран» применяются в производстве ответственных деталей машин, например подшипников качения, кулачков и т. д. Они сохраняют свои свойства и эксплуатационную надежность в интервале температур от -200 до 110 °С, а также в вакууме.

Термореактивные пластмассы

Термореактивные пластмассы отличаются от термопластов повышенной теплостойкостью, практически полным отсутствием пол-

зучести под нагрузкой при обычных температурах, постоянством физико-механических свойств в интервале температур их эксплуатации. Основу любого реактопласта составляет химически затвердевающая терморезактивная смола, являющаяся связующим веществом. 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. К пластмассам с порошковым наполнителем относятся *фенопласты* и *аминопласты*.

Фенопласты (бакелиты, фенолоформальдегидные смолы) являются термоупрочняемыми пластмассами. Неупрочненные смолы – новолаки и резола – получают при поликонденсации фенола с формальдегидом. *Новолачные смолы* получают в присутствии кислого катализатора, когда отношение фенола к формальдегиду меньше единицы. Эти смолы способны отверждаться при нагреве только в присутствии отвердителя. Технология производства таких смол более проста, чем резольных смол. Этим объясняется их наибольшее распространение.

Резольные смолы получают в присутствии щелочного катализатора при отношении фенола к формальдегиду, равном единице или большем ее. Эти смолы при нагревании отверждаются без введения в них отвердителя.

Упрочненные фенолоформальдегидные смолы чаще называются *бакелитами*. Эта пластмасса механически хорошо обрабатывается инструментами для обработки металла и может подвергаться полированию. Бакелит из новолака имеет большую термостойкость (100...150 °С), чем бакелит из резола, но худшие диэлектрические свойства.

Бакелит трудногорюч, а после извлечения из пламени сразу гаснет. Горящий бакелит дает желтый цвет пламени, коптящего в зависимости от вида наполнителя. Остаток, извлеченный из пламени, твердый, разбухший, потрескавшийся и обугленный. В процессе горения выделяются фенол и формальдегид с характерным запахом.

Бакелит стоек к воздействию разбавленных кислот и щелочей, а также большинства органических растворителей. Для склеивания треснувших бакелитовых изделий можно применять нитроцеллюлозные клеи или жидкие фенольные смолы.

Из бакелита изготавливают галантерейные изделия (пуговицы, пепельницы), электротехнические элементы (вилки, розетки), корпуса радио- и телефонных аппаратов, детали стиральных машин, защитные шлемы, корпуса аккумуляторов, плиты, лаки, клеи.

Аминопласты являются термоупрочняемыми пластмассами. При нагреве или в присутствии кислотных катализаторов они способны к упрочнению за счет образования пространственной сетчатой структуры.

Упрочненные аминопласты твердые и жесткие. Их можно полировать и механически обрабатывать металлорежущими инструментами. Они имеют хорошие электроизоляционные свойства, легко окрашиваются.

Теплостойкость упрочненных аминопластов около 100...120 °С. Образец, внесенный в огонь, начинает гореть не ранее, чем через минуту. Извлеченный из пламени, он не гаснет, но горит медленно. В действительности горят наполнители, сама смола негорюча.

Упрочненные аминопласты стойки к воздействию воды, кислот (в том числе серной и азотной), щелочей и органических растворителей.

Реактопласты с *волокнистыми наполнителями* представляют собой композиции, состоящие из связующего (смолы) и волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка (волокниты), асбеста (асбоволокниты), стекловолокна (стекловолокниты).

Прочность *волокнитов* при сжатии равна не менее 1200 МПа, ударная вязкость 9 Дж/см², причем механические свойства зависят от длины волокна.

Волокниты применяют для изготовления деталей с повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение (втулок, шкивов, маховиков и др.). Хорошие антифрикционные свойства позволяют использовать волокниты для изготовления фланцев, кулачков, шестерен, направляющих втулок.

Асбоволокниты обладают хорошими фрикционными (тормозными) свойствами и теплостойкостью, но по водостойкости и диэлектрической проницаемости уступают пластмассам с порошковыми наполнителями.

Стекловолокниты негорючи, устойчивы к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойки, имеют стабильные размеры. Стекловолокниты имеют высокие физико-механические характеристики и применяются для изготовления деталей высокого класса точности и сложной конфигурации. Стекловолокниты могут работать при температурах 60...200 °С, имеют прочность при разрыве до 500 МПа, а при сжатии – около 1300 МПа.

Стекловолокниты некоторых марок применяются для изготовления силовых электротехнических деталей в машиностроении, а также крупногабаритных изделий простых форм (кузовов автомашин, лодок, корпусов приборов и т. п.).

В качестве связующих смол волокнитов и стекловолокнитов применяются полиэфировые и эпоксидные смолы.

Полиэстры являются полимерами, полученными из ряда кислот и высокогидроксильных спиртов путем поликонденсации. Перед отверждением смола имеет вид густого сиропа золотистого цвета. Отверждение проводят в форме при комнатной температуре после добавления небольших количеств модификаторов. Механические свойства отвержденного продукта зависят от строения исходной смолы и способа ее отверждения. Изделие может быть гибким, эластичным или твердым и хрупким. Твердые изделия можно подвергать механической обработке, а также полировать.

Термическая стойкость под напряжением отвержденных смол колеблется в пределах 55-60 °С, а без нагрузки превышает 150 °С. Образец из полиэфировой смолы со стеклотканью, помещенный в пламя, горит очень плохо. После извлечения из пламени чаще всего гаснет. После сгорания остается обугленный скелет стекловолокна.

Отвержденные полиэстры нерастворимы в органических кислотах, в ацетоне легко растрескиваются.

Из полиэстров, упрочненных стекловолокном, изготавливают спасательные лодки, части автомобилей, мебель, корпуса планеров и вертолетов, гофрированные плиты для крыш, плафоны для ламп, мачты для антенн, лыжи и палки, удочки, защитные каски и т. п.

Неотвержденные *эпоксидные смолы* получают реакцией поликонденсации эпоксидина с гидроксидом фенола. Характерная черта эпоксидных смол – хорошая прилипаемость почти ко всем пластмассам, металлам. Они имеют высокие механические и электрические свойства.

Термостойкость под напряжением колеблется в зависимости от вида упрочнителя в пределах 55...120 °С, а без нагрузки превышает 150 °С. Упрочненная эпоксидная смола трудно загорается, после чего начинает коптить с сильным запахом во время горения.

Эпоксидные смолы служат для изготовления лаков, клеев, а также ламинатов.

Большую группу реактопластов составляют *слоистые пластмассы*, которые содержат листовые наполнители, уложенные слоями. В качестве наполнителей для слоистых пластиков используют материалы органического (бумага, хлопчатобумажные ткани, древесный шпон, ткани из синтетических волокон) и неорганического (асбестовая бумага, картон, ткань, стеклянная ткань, ткань из кварцевых или кремнеземных волокон) происхождения. В зависимости от вида наполнителя различают следующие слоистые пластики: гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, древесно-слоистые пластики. Связующими при производстве слоистых пластиков служат фенолоформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические и некоторые другие смолы.

Свойства слоистых пластиков зависят от соотношения компонентов (наполнителя и связующего), характера подготовки наполнителя, режимов прессования и термообработки и других технологических факторов. Благодаря слоистому расположению армирующего наполнителя слоистые пластики обладают анизотропией механических, физических и диэлектрических свойств.

Механические свойства слоистых пластиков определяются прежде всего видом используемого наполнителя. Механическая прочность и другие физико-химические свойства слоистых пластиков зависят от способа ориентации и толщины листов-наполнителей, от их удельной прочности в различных направлениях, от типа и метода пропитки.

Наибольшей механической прочностью обладают слоистые пластики на основе стеклянной ткани или стеклянных жгутов. Эти материалы, а также слоистые пластики на основе асболокнистых наполнителей имеют более высокую теплостойкость по сравнению с теплостойкостью пластиков на основе органических наполнителей.

Физические и диэлектрические свойства слоистых пластиков зависят в основном от типа используемого полимерного связующего.

Пластик на основе бумаги – *гетинакс*. Гетинакс устойчив к воздействию жиров и минеральных масел, слабо реагирует с уксусной, соляной, фосфорной кислотами, но против действия сильных кислот

и горячих щелочей – нестоек. Он имеет плотность 1,3-1,4 г/см³; разрушающее напряжение при растяжении – 80 МПа, при сжатии – 130...250 МПа; ударную вязкость (перпендикулярно слоям) 8...15 Дж/см².

Гетинакс используют в качестве электроизоляционного материала, длительно работающего при температурах -65...105 °С, а также как конструкционный и декоративный материал. Из него изготавливают панели, щитки, прокладки, крышки, шайбы, малонагруженные изделия и т. д.

Древесно-слоистые пластики (ДСП). Этот материал обычно изготавливают в форме плит или тонких листов. Их получают горячим прессованием лущеного древесного шпона, пропитанного полимерным связующим. При производстве ДСП чаще всего используют березовый или буковый шпон, в качестве связующего – водно-спиртовые растворы полимеров. Древесно-слоистые пластики выпускают различных марок и маркируют ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В и т. д. Они различаются направлением волокон шпона в различных слоях. В ДСП-А – во всех слоях волокна шпона расположены параллельно (иногда четыре слоя с параллельным расположением волокон чередуются с одним слоем, повернутым на 20-25°). В ДСП-Б расположение слоев смешанное. Через каждые 5-20 слоев с параллельным расположением волокон укладывают слой, повернутый на 90°. В ДСП-В осуществляется звездообразная укладка слоев, при которой соседние слои волокон смещают на 30°. Максимальной прочностью в продольном направлении ($\sigma_g = 280$ МПа) обладает ДСП-А. ДСП-Б имеет прочность, одинаковую во взаимно перпендикулярных направлениях (140 МПа), а для ДСП-Г – механические свойства одинаковы по всем направлениям. ДСП обладают хорошими антифрикционными свойствами. В некоторых случаях они заменяют высокооловянистую бронзу, баббит, текстолит. Химическая стойкость ДСП не очень высока, но выше, чем у обычной древесины. Теплостойкость ДСП достигает 140 °С. Их недостатком является набухание, обусловленное поглощением воды.

Пластики на основе хлопчатобумажных тканей – *текстолиты*. Прочность текстолитов тем выше, чем тоньше ткань (при одном и том же содержании связующего). Для листов шифона прочность будет больше, чем для саржи или бязи. Водостойкость и химическая стойкость возрастают при повышении доли связующего полимера.

Текстолиды используют для изготовления различных конструктивных деталей, электроизоляционного материала, вкладышей подшипников, прокладок, герметизирующих фланцевые соединения, шестерен, прокладочных колец. Подшипники из текстолита не требуют специальной смазки. Для смазки можно использовать воду или водную эмульсию. Для снижения коэффициента истираемости подшипников и повышения теплопроводности в текстолит добавляют графит. Температура эксплуатации изделий из текстолита от -60 до 60°C .

Текстолитовые детали могут работать не только в воздушной среде, но и в масле, керосине или бензине и т. д. Текстолит производят в виде листов, плит, стержней и трубок.

Стеклотекстолитами называют слоистые пластики на основе тканых стекловолоконистых материалов. Они характеризуются высокой тепло- и хладостойкостью, стойкостью к действию окислителей и других химически активных реагентов, высокими механическими свойствами.

Свойства стеклотекстолитов в значительной степени зависят от типа вязки стеклянной ткани (применяют три типа переплетения: гарнитуровое, сатиновое и саржевое). Более высокими свойствами обладают стеклотекстолиты на основе сатиновой стеклоткани. Такие стеклотекстолиты могут длительное время работать при температуре 200°C и кратковременно при 300°C . Плотность стеклотекстолитов $1,6-1,7 \text{ г/см}^3$, разрушающее напряжение при растяжении не менее 130 МПа . Стеклотекстолиты хорошо обрабатываются на станках, а также склеиваются.

Стеклотекстолиты применяют для изготовления крупногабаритных изделий, электроизоляционных деталей, длительное время работающих при температуре 200°C и кратковременно – при 250°C . Стеклопластики являются конструктивными материалами, применяемыми для изготовления литых изделий в различных отраслях техники.

В числе различных синтетических материалов широкое распространение получили так называемые *газонаполненные пластики*. Эти материалы разделяются на *пенопласты* и *поропласты*. У пенопластов микроскопические ячейки, наполненные газом, не сообщаются между собой и плотность таких материалов, как правило, менее 300 кг/м^3 . Ячейки у поропластов сообщаются между собой и их плотность более

300 кг/м³. Пенопласта и поропласты выпускают на основе полистиролов, поливинилхлорида и различных эфирных полимеров.

Пенопласт применяют в качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях судовых трюмов, кузовов автофургонов, холодильных камер на объектах мясо-молочной и рыбной промышленности.

Пенополистирол получают из эмульсионного полимера прессовым и беспрессовым методами. Пенополистирол применяют для теплоизоляции холодильников и торгового оборудования. Для производства изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, обычно используют суспензионный полистирол. При получении пенополистирола прессовым методом (пенополистирол марок ПС-1 и ПС-4) используют эмульсионный тонкодисперсный полистирол, смешивают его с порообразующим компонентом, прессуют, а затем вспенивают в специальных обогреваемых камерах. Если же пенополистирол получается беспрессовым методом из блочно-суспензионного стирола, он называется *стиропор*. Его полимеризацию проводят при температуре 70 °С с непрерывным перемешиванием. Пенополистирол имеет структуру застывшей пены. Он устойчив к действию влаги, агрессивных минеральных сред (кроме концентрированной азотной кислоты). Пенополистирол, полученный беспрессовым методом, обладает более высокой химической стойкостью. Устойчив он также и в биологическом отношении – не гниет, не подвергается воздействию грибков и бактерий, не повреждается грызунами.

Прочность пенополистирола зависит от размера, формы и прочности стенок пор. Механические свойства беспрессового пенополистирола ниже, чем прессового.

Пенополистиролы могут работать при температурах до 60-75 °С. Недостатком пенополистирола является присутствие в нем горючего порообразователя, например изопентана. Уменьшить или вовсе устранить эту опасность удастся путем введения антипиренов, например оксида сурьмы. Пенополистирол применяется в различных отраслях промышленности как термо- и звукоизоляционный материал. Коэффициент теплопроводности пенополистирола близок к теплопроводности воздуха и равен 0,0326 Вт/(м·К). Из-за хороших амортизационных свойств и малой плотности пенополистирол используют в качестве упаковочного материала.

В последнее время в промышленности начинают все шире использовать *армированные* газонаполненные пластмассы, что позволяет сочетать малую плотность с высокой прочностью, т. е. повышать

удельную прочность. Газонаполненные пластмассы армируют листами металла или листами более прочных, газонаполненных пластмасс. Составные изделия из терморезистивных пластмасс изготавливают склеиванием и механическим соединением.

Коррозионностойкие армированные пластмассы работают при температурах от $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, от глубокого вакуума до давления 20 МПа, в широком диапазоне жидких и газовых агрессивных сред. В качестве коррозионностойких связующих используют ненасыщенные полиэфирные, эпоксидные, фенольные и фурановые смолы. Для обеспечения работоспособности в агрессивных средах чаще всего используют многослойную структуру. Она может иметь несколько разновидностей: 1) наружный и внутренний слои в виде обогащенных смолой композиций или термопласта, обеспечивающих коррозионную стойкость и герметичность изделий; 2) конструкционные слои, на 50-70 % состоящие из армирующего материала и обеспечивающие необходимую прочность изделий.

Широко используются бипластмассы – стеклопластики, лакированные термопластом. Они обладают высокой коррозионной стойкостью, которая определяется свойствами термопласта.

9.3. РЕЗИНА

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

Резина состоит из смеси каучука (основа), наполнителя (сажа, оксид кремния, оксид титана, мел, барит, тальк), мягчителя (канифоль, вазелин), противостарителя (парафин, воск) и элементов вулканизации (сера, оксид цинка).

Физико-механические свойства резины обусловлены составом резиновой смеси. Они зависят от типа каучука и вводимых в резину добавок. Каучуки бывают натуральные (НК) и синтетические (СК). Натуральный каучук получают коагуляцией латекса (млечного сока) каучуконосных деревьев, растущих в Бразилии, Юго-Восточной Азии, на Малайском архипелаге, а синтетические каучуки (бутадиеновые, бутадиен-стирольные и др.) – методами полимеризации. Впервые синтез бутадиенового каучука из этилового спирта был осуществлен в 1921 г. русским ученым С. В. Лебедевым. Позднее были разработаны методы получения синтетических каучуков из более дешевого сырья, например из нефти и ацетилена.

В процессе вулканизации резиновая смесь из термопластичного состояния переходит в термореактивное состояние. В результате вулканизации каучук, имеющий линейную структуру, превращается в материал с сетчатой структурой – резину.

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), при насыщении серой до 10...15 % – полутвердую резину. Обычно в резине содержится 5...8 % серы. Для ускорения вулканизации вводят ускорители (например, оксид цинка).

Некоторые синтетические каучуки (например, хлоропреновый) могут вулканизироваться только путем нагрева без использования вулканизатора.

Этому способствует наличие в каучуке полярных групп, но и в этом случае образуется *характерная сетчатая структура*.

Для повышения прочности и износостойкости резин в них вводят поверхностно-активные вещества, а также наполнители. В качестве пластификаторов используют стеариновую и олеиновую кислоты, минеральные масла и парафин. Для снижения температуры вулканизации и удешевления резины вводят так называемые регенераторы – продукты специальной обработки резины, бывшей в употреблении.

Введение этих компонентов позволяет существенно менять специальные свойства резины, увеличивая ее износо-, морозо-, масло- и бензостойкость. Резиновые изделия часто армируют тканью или металлической сеткой. Для улучшения адгезии металлической арматуры к резине на поверхность металла наносят клеевую пленку.

Резина имеет высокие эластические свойства, высокие упругость и сопротивляемость разрыву. Обладает малой плотностью, отрицательным температурным коэффициентом линейного расширения, высокой стойкостью против истирания, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, малым удельным весом и др. Резина имеет высокие фрикционные свойства без использования смазки. При водяной смазке, наоборот, обладает антифрикционными свойствами. Недостатком резины является старение.

В зависимости от условий эксплуатации различают резины общего и специального назначения.

Резины *общего назначения* применяют для изготовления камер и шин, ремней, транспортных лент, рукавов, изоляции кабелей и проводов, товаров народного потребления и др.

Резины *специального назначения* делятся на бензостойкие, морозостойкие, теплостойкие, стойкие к действию агрессивных сред. Нижней границей рабочих температур резин специального назначения является температура до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, резин общего назначения – до $-35\text{...}-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резиновые материалы используют для амортизации, демпфирования, уплотнения, герметизации, химической защиты деталей машин, при производстве тары для хранения масла и горючего, различных трубопроводов (шлангов), для изготовления покрышек и камер колес автотранспорта, декоративных изделий и т. д.

В последнее время остро стоит вопрос об очистке территорий наших городов от свалок старой резиновой продукции, которая в ходе длительного, иногда десятков лет хранения, выделяет в атмосферу и в землю значительное количество вредных химических соединений.

На автопредприятиях страны, шиноремонтных заводах, в портах находятся десятки миллионов вышедших из строя автомобильных шин. Их утилизация практически не осуществляется, поскольку при сжигании в атмосферу выделяется значительное количество экологически вредных веществ и соединений, а при механической утилизации стоимость превосходит допустимые величины. В то же время продукт вторичной переработки шин – резиновая крошка различной дисперсности применяется в различных отраслях техники - при строительстве дорог, в качестве тепло- и звукоизоляторов и т. д. Особенно широко резиновая крошка используется в странах Западной Европы и Юго-Восточной Азии, где она в основном получается методом механического измельчения.

9.4. СТЕКЛО

Стекло – это однородное аморфное вещество, полученное при затвердевании расплава оксидов. В составе стекла могут присутствовать оксиды трех типов: *стеклообразующие, модифицирующие и промежуточные*. Стеклообразующими являются оксиды кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка. К модифицирующим оксидам, введение которых понижает температуру плавления стекла и существенно меняет его свойства, относятся оксиды щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg, Ba) металлов. Промежуточными являются оксиды алюминия, свинца, титана, железа. Они могут замещать часть

стеклообразующих оксидов. Стеклообразующий каркас представляет собой непрерывную пространственную решетку, в узлах которой расположены ионы, атомы или группировки атомов (рис. 30). Химический состав стекла можно изменять в широких пределах. Поэтому и свойства стекла могут быть различными.

По *химическому составу* в зависимости от природы стеклообразующих оксидов различают *силикатное, алюмосиликатное, боросиликатное, алюмоборосиликатное* и другие виды стекла.

В зависимости от *содержания модификаторов* стекло может быть *щелочным* и *бесщелочным*.

По *назначению* различают *бытовое* (стеклотара, посуда), *строительное* (оконное, стеклоблоки) и *техническое* (оптическое, электротехническое, химическое и др.) стекло.

Структура и свойства стекла определяются его химическим составом, условиями варки, охлаждения и обработки.

Стекло – термопластичный материал. При нагреве оно постепенно размягчается и переходит в жидкость. Плавление происходит в некотором температурном интервале, величина которого зависит от химического состава стекла. Ниже температуры стеклования T_c оно приобретает хрупкость. Для обычного силикатного стекла $T_c = 425 \dots 600$ °С. Выше температуры плавления стекло становится жидкостью. При этих температурах стекломасса перерабатывается в изделия.

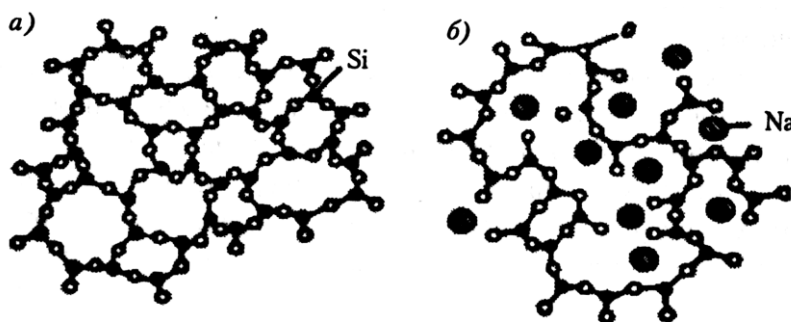


Рис. 30. Схема непрерывной структурной сетки стекла:
а – кварцевого;
б – натрийсиликатного

Плотность стекла составляет от 2,2 до 8,0 г/см³. Стекло высокой плотности содержит значительные количества оксидов свинца и бария.

Стекло – жесткий, твердый, но очень хрупкий материал. Стекло хорошо сопротивляется сжатию, но характеризуется низким временным сопротивлением при испытаниях на растяжение (30...90 МПа) и

изгиб (50...150 МПа). Более прочным является бесщелочное и кварцевое стекло.

Механические свойства стекла повышаются при термической и химической обработке. Термическая закалка стекла состоит в нагреве до температур, близких к точке размягчения, и быстром равномерном охлаждении поверхности в потоке воздуха или в масле. При этом в поверхностных слоях возникают напряжения сжатия, и прочность стекла возрастает в 2-4 раза. Для изготовления приборов, работающих при повышенном давлении, применяют безосколочное стекло – триплекс.

Триплекс представляет собой комбинированное стекло, состоящее из двух и более закаленных слоев, склеенных прозрачной эластичной пленкой. Его химическая обработка состоит в травлении поверхностного слоя раствором плавиковой кислоты с уничтожением поверхностных дефектов. Еще больший эффект достигается при комбинированной химико-термической обработке.

Важнейшим свойством стекла является прозрачность в диапазоне длин волн видимого света. Обычное листовое стекло пропускает до 90 %, а отражает около 8 % и поглощает около 1 % видимого света. Ультрафиолетовые лучи почти полностью поглощаются оконным стеклом.

Стекло имеет высокую химическую стойкость в агрессивных средах (за исключением плавиковой кислоты и щелочей). Вода постепенно разрушает стекло вследствие образования щелочных растворов. Чем выше температура и концентрация щелочных оксидов в стекле, тем сильнее проявляется действие воды. Стекло является техническим материалом, широко используемым в разных областях техники, строительства и коммунального хозяйства. Это объясняется благоприятным сочетанием физико-химических и механических свойств, возможностью изменять эти свойства в широких пределах в зависимости от состава стекла и способов термического воздействия, а также способностью стекла легко поддаваться разным способам горячей и холодной обработки.

Кварцевое стекло, состоящее практически из чистого кремнезема (99 % SiO_2), в зависимости от способа получения бывает двух типов: оптически прозрачное и непрозрачное. Кварцевое стекло отличается от всех известных стекол высокими физико-химическими свойствами: высокой теплостойкостью (1400 °С), низким температурным коэффициентом линейного расширения, высокой термической (вы-

держивает перепад температур 800...1000 °С) и химической стойкостью, особенно к действию кислот (кроме плавиковой) и воды. Оно имеет высокие диэлектрические характеристики, прозрачно в видимой, ультрафиолетовой и частично инфракрасной областях света. Кварцевое стекло, обладающее высокой термической и химической стойкостью в сочетании с низким температурным коэффициентом линейного расширения, применяется для изготовления тиглей, термодар, электровакуумных изделий, химически стойкой тары, труб, лабораторной посуды. Для защиты деталей от коррозии при температурах до 500...600 °С в машиностроении применяют стеклоэмали.

Пеностекло получают вспениванием жидкой стекольной массы при высокой температуре за счет введения газовыделяющих твердых веществ – измельченных известняка, мела, угля. Оно имеет малую плотность, низкую теплопроводность и характеризуется высоким звукопоглощением. Пеностекло – негорючий, термостойкий и химически стойкий материал.

Ситаллы – стеклокристаллические материалы получают из стекла путем его полной или частичной кристаллизации. Название «ситаллы» образовано из слов «стекло» и «кристаллы». Ситаллы иногда называют стеклокерамикой. Содержание кристаллической фазы в ситаллах может составлять до 95 %. Размер кристаллов обычно не превышает 1-2 мкм.

Ситаллы – плотные, непрозрачные, газонепроницаемые, жесткие и твердые материалы. Их механическая прочность в 2-3 раза выше, чем прочность стекла. Эти материалы хорошо сопротивляются абразивному износу. Сочетание низкого температурного коэффициента линейного расширения и высокой механической прочности придает им высокую термостойкость. Ситаллы характеризуются высокой химической стойкостью к действию кислот и щелочей и не подвержены коррозии при нагреве до высоких температур. Они совершенно не поглощают влагу.

Благодаря сочетанию легкости, прочности, твердости и технологичности ситаллы находят широкое применение в машиностроении. Из них изготавливают подшипники скольжения, работающие без смазки при температуре до 550 °С, поршни и детали выхлопа двигателей внутреннего сгорания, химическую аппаратуру, фильтры для вытягивания синтетических волокон, рабочие колеса и лопасти насосов, перекачивающих агрессивные жидкости с абразивами. Ситаллы используют в качестве жаро- и износостойких эмалей для защиты ме-

таллических деталей. Ситалловые эмали могут работать при температурах до 800...900 °С.

9.5. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Композиционные материалы – сложные материалы, состоящие из нерастворимых или малорастворимых друг в друге компонентов, сильно отличающихся по свойствам и разделенных в матрице ярко выраженной границей.

Свойства композиционных материалов зависят от свойств компонентов и характера связи между ними. В таких материалах проявляются достоинства каждого из компонентов, а также положительные свойства, которыми каждый из компонентов в отдельности не обладает.

Основа (матрица) композиционного материала может быть металлической (композиционные материалы на металлической основе) и неметаллической (композиционные материалы на неметаллической основе). В качестве металлической основы широко применяют алюминий, магний, никель, титан, сталь. Неметаллическая основа может быть полимерной, углеродной, керамической.

Матрица объединяет все компоненты композиционного материала в единое целое. От свойств матричного материала зависят такие эксплуатационные свойства композиции как рабочая температура, сопротивление воздействию окружающей среды, сопротивление усталостному разрушению.

В матрице равномерно распределены компоненты, наполняющие и упрочняющие композиционный материал – *упрочнитель и армирующие материалы*. Упрочняющие компоненты должны обладать высокой прочностью, твердостью, модулем упругости. По этим характеристикам они должны значительно превосходить материал матрицы. По геометрическим параметрам армирующие материалы могут быть нуль-мерными, одномерными и двумерными.

Материалы, армированные нуль-мерными упрочнителями, называют *дисперсно-упрочненными*. В качестве дисперсных частиц чаще используют тугоплавкие оксиды, карбиды, нитриды, бориды (Al_2O_3 , TiO_2 , SiC, BN и др.). Изготавливают дисперсно-упрочненные материалы с металлической матрицей главным образом методом порошковой металлургии. При работе дисперсно-упрочненных материалов основную нагрузку воспринимает матрица. Дисперсные частицы, эффективно тормозя движение дислокаций, препятствуют раз-

виту пластической деформации и, таким образом, упрочняют композиционный материал. Степень упрочнения определяется дисперсностью частиц и расстоянием между ними. Большое упрочнение достигается при размере частиц 0,01...0,1 мкм и расстоянии между ними 0,05...0,5 мкм.

Среди дисперсно-упрочненных материалов широкое распространение получили, например, спеченные алюминиевые пудры (САП) – материалы с алюминиевой матрицей, упрочненные чешуйками Al_2O_3 . Содержание оксида в САП находится, в зависимости от марки, в пределах 6...18 %. САП обладают прочностью до 400 МПа (САП-3), низкой плотностью, высокой коррозионной стойкостью.

Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Детали из САП работают при 300...500 °С и чаще это лопатки компрессоров, лопатки вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

Наиболее высокую жаропрочность имеют материалы на основе никеля с 2...3 % двуокиси тория (ВДУ-1) или двуокиси гафния (ВДУ-2). Сплавы ВДУ-2, ВДУ-3 выпускают в виде труб, прутков, листов, проволоки, фольги. Их применяют главным образом в авиационном двигателестроении.

Материалы с одномерными или одномерными и нуль-мерными наполнителями называют *волокнистыми композиционными материалами*. Упрочнителями в них могут быть проволока из металлов и сплавов (Мо, W, В, Та, высокопрочная сталь), волокна или нитевидные кристаллы чистых элементов и тугоплавких соединений (С, В, SiC, Al_2O_3 , борсик – волокна бора с выращенными на них в целях улучшения сцепления с матрицей кристаллами карбида кремния и др.). В качестве матричных материалов могут выступать полимеры (эпоксидные, фенолформальдегидные, полиамидные и другие смолы), керамические и углеродистые материалы, металлы (Al, Mg, Ti, Ni и др.). Например, материалы с алюминиевой матрицей армируют стальной проволокой (материалы КАС), борным волокном (материалы ВКА), углеродным волокном (материалы ВКУ).

При растяжении композиционного материала вдоль направления армирования нагрузку в основном воспринимают волокна, матрица же служит средой для передачи усилия. Чем больше соотношение E_B/E_M (E_B – модуль упругости волокна E_M – модуль упругости материала матрицы), и чем выше объемное содержание волокон, тем большая доля нагрузки приходится на волокна.

Временное сопротивление композиционного материала, в общем, тем выше, чем больше в нем упрочняющего компонента. Однако, при очень малых (< 5 %) и очень больших (> 80 %) содержаниях волокна наблюдается обратная зависимость.

9.6. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Надежная работа оборудования обеспечивается вспомогательными материалами – лакокрасочными материалами, клеями, смазочными веществами, кожей, текстильными, бумажными материалами и др.

Для обеспечения коррозионной стойкости металлических и неметаллических деталей применяют лакокрасочные материалы.

Лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные составы, которые в жидком состоянии наносятся на поверхность изделий и высыхают с образованием пленок. Эти пленки удерживаются *адгезией* (взаимодействием пленки и материала). Высохшие пленки называются *лакокрасочными покрытиями*. Как правило, покрытия делают многослойные.

Лакокрасочные материалы в зависимости от состава и назначения классифицируют на *основные* (лаки, краски, грунтовки и шпатлевки) и *вспомогательные* (растворители, разбавители или разжижители, смывки, составы для подготовки поверхностей к окрашиванию и др.).

Современное обозначение основных лакокрасочных материалов состоит из пяти групп знаков:

1-я группа – название материала полным словом (эмаль, грунт и т. п.);

2-я группа – условное обозначение типа пленкообразователя;

3-я группа – основное назначение материала;

4-я группа означает порядковый номер, присвоенный данному материалу, из одной, двух или трех цифр;

5-я группа отражает цвет материала.

Условные обозначения пленкообразователей следующие: глифталевых – ГФ; пентафталевых – ПФ; меламинных – МЛ; мочевиновых – МЧ; фенольных – ФЛ; фенолалкидных – ФА; эпоксидных – ЭП; эпоксиэфирных – ЭФ; алкидно- и масляно-стирольных – МС; полиэфирных – ПЭ; полиуретановых – УР; акриловых – АК; сополимерно-акриловых – АС; нитроцеллюлозных – НЦ; этилцеллюлозных – ЭЦ; перхлорвиниловых – ХВ; сополимерно-винилхлоридных – ХС; крем-

нийорганических – КО; дифинилацетиленовых – ВН; каучуковых – КЧ; полиамидных – АД; фторопластовых – ФП; поливинилацетальных – ВЛ; битумных – БТ; канифольных – КФ; масляных – МА.

Внутри перечисленных групп лакокрасочные материалы классифицируют по преимущественному назначению материала.

Условные обозначения лакокрасочных материалов следующие: атмосферостойких – 1; ограниченно атмосферостойких – 2; водостойких – 4; специальных – 5; маслобензостойких – 6; химически стойких – 7; термостойких – 8; электроизоляционных – 9; грунтовок – 0; шпатлевок – 00.

В результате марка лакокрасочного материала (ГОСТ 9825-73) указывает химическую природу пленкообразователя этого материала и его назначение. Например, эмаль КО-198 – эмаль кремнийорганическая, атмосферостойкая с регистрационным номером 98; ЭП-0026 – эпоксидная шпатлевка с регистрационным номером 26.

В зависимости от назначения лакокрасочные материалы подразделяют на краски, эмали, лаки, грунтовки и шпатлевки (табл. 12).

Таблица 12

*Деление по виду основных лакокрасочных материалов
(ГОСТ 9825-73)*

Вид	Определение
Лак	Раствор пленкообразующих веществ в органических растворителях или в воде, образующий после высыхания твердую прозрачную однородную пленку
Краска	Суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в олифе, масле, эмульсии, латексе, образующая после высыхания непрозрачную однородную пленку
Порошковая краска	Сухая композиция пленкообразующего вещества с пигментами и наполнителями, образующая после сплавления, охлаждения и отверждения твердую непрозрачную пленку
Эмаль	Суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в лаке, образующая после высыхания непрозрачную твердую пленку с различным блеском и фактурой поверхности
Грунтовка	Суспензия пигмента или смеси пигментов с наполнителями в связующем веществе, образующая после высыхания непрозрачную однородную пленку с хорошей адгезией к подложке и покрывным слоям
Шпатлевка	Густая, вязкая масса, состоящая из смеси пигментов с наполнителями в связующем веществе, предназначенная для заполнения неровностей и сглаживания окрашиваемой поверхности

Системой лакокрасочного покрытия называют сочетание слоев материалов, последовательно нанесенных на защищаемую поверхность (рис. 31).

Толщина покрытия зависит от типа и свойства наносимого лакокрасочного материала, его вязкости, процесса нанесения, степени агрессивности среды и других условий эксплуатации, свойств металла и сложности его поверхности, возможности нанесения определенным способом и назначения.

Обычно толщина однослойной пленки правильно нанесенной эмали при температуре 18...22 °С составляет 25...30 мкм, нагретой до 40...60 °С – 15...20 мкм.

Для жестких условий эксплуатации значение минимальной общей толщины эпоксидного и винилового покрытий принимается равной 250...300 мкм, алкидного и полиуретанового 200...250 мкм, кремнийорганического 80...120 мкм. Для мягких условий толщина может быть уменьшена на 10-12 %.

Лакокрасочным материалам присущи определенные физические (плотность, теплопроводность, атмосферостойкость и др.), механические (прочность, твердость, эластичность, истираемость и др.), химические (кислото-щелочестойкость, токсичность и др.) свойства.

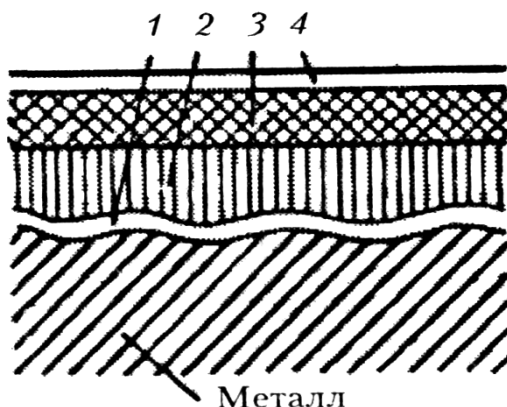


Рис. 31. Схема системы лакокрасочного покрытия:
1 – грунт; 2 – шпатлевка; 3 – эмаль; 4 – покрывной лак

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.

Клеями называются сложные вещества на основе полимеров, способные при затвердевании образовывать прочные пленки, хорошо прилипающие к различным материалам. По сравнению с другими видами соединений (клепкой, сваркой, механическим креплением) клеевые соединения имеют ряд преимуществ. Работоспособность клеевых соединений зависит прежде всего от адгезии (прочности сцепления клеевой пленки со склеиваемой поверхностью) и когезии (прочности собственно клеевого слоя).

Клеи позволяют соединять разнородные материалы (металл, керамику, пластмассу, дерево) в различных сочетаниях. Клеевые швы атмосферостойки, не подвержены коррозии, позволяют обеспечивать герметичность соединений. Масса конструкции при клеевой сборке почти не увеличивается, отсутствуют снижающие прочность и являющиеся концентраторами напряжений отверстия под болты, заклепки, гвозди. Во многих случаях полиуретановая клеевая пленка газонепроницаемая, масло-, бензо- и водостойкая. Она обладает высокой адгезией и морозостойкостью, поэтому полиуретановые клеи используются также в качестве герметиков.

Для склеивания резиновых изделий, а также металла с резиной, применяются резиновые (каучуковые) клеи 88, Б-10, КР-5-18.

Резиновый клей удобен для употребления тем, что он вулканизируется на холоде и это клеевое соединение обладает удовлетворительной прочностью и мало набухает в масле и бензине.

К числу наиболее распространенных *герметиков* для металлических изделий относится тиоколовый каучук (тиокол). Он вулканизируется при комнатной температуре. Вулканизаторами обычно являются соединения на марганцевой основе. Отвержденная пленка масло-, водо- и бензостойкая, выдерживает длительное время при контакте с кислородом воздуха и сохраняет высокую прочность при температуре до 130 °С.

Существенным недостатком тиоколового каучука является низкая адгезия к металлу, поэтому при его использовании требуется создавать подложку для резинового клея. Этот недостаток отсутствует у жидкого тиокола (герметик ВТУ Р).

Для герметизации техники, работающей при температуре 150...250 °С и не соприкасающейся с маслами и топливом, применяются полисилоксаны с отвердителями, которые обеспечивают их отверждение при комнатной температуре (кремний- и оловоорганические соединения). Существенным недостатком этих герметиков явля-

ется малая адгезия к металлу, даже в случае нанесения специального подслоя.

Для отсеков оборудования, работающих при температуре 150...250 °С и соприкасающихся с маслом и топливом, применяются фторорганические герметики.

Полисилоксановые и фторорганические герметизирующие пленки не разрушаются при длительном воздействии на них кислорода и озона. Они сохраняют эластичность при температуре до -60 °С; имеют высокую водостойкость.

Технологически удобны для использования в качестве герметиков растворы фенолоформальдегидных смол, совмещенных с нитрильным каучуком, например марки ВГК-18. Этот герметик не нужно вулканизировать. Он обладает удовлетворительной адгезией к металлическим поверхностям, а герметизирующая пленка сохраняет прочность до 100 °С, обеспечивает достаточную прочность и обладает масло- и бензостойкостью.

На основе жидких полиуретановых, карбоксилатных, фторированных каучуков разработан способ герметизации вакуумированных узлов (пропускных) при низких температурах. В радиотехнике применяют галлиевые клеи (клеи-припой). Соединение, полученное с помощью такого клея, имеет хорошую тепло- и электропроводность, достаточно высокую прочность и эксплуатационную стабильность в интервале температур 196...800 °С.

Склеиваемые поверхности должны быть механически очищены, например, наждачной бумагой, пескоструйной обработкой и обезжирены спиртом или ацетоном. Толщина пленки клея должна составлять 0,1...0,6 мм. Меньшая толщина грозит нарушением сплошности пленки, большая – уменьшением прочности соединения.

Смазочные вещества применяют для увеличения срока службы трущихся частей машин и снижения коэффициента трения. Коэффициент «сухого» трения характеризует сопротивление движению несмазанных поверхностей. Его величина зависит от качества обработки контактирующих изделий и обычно составляет 0,01...0,50. Наличие смазки снижает этот коэффициент до 0,001-0,002.

Смазочные вещества подразделяют на минеральные, растительные и животные масла. Смазочные вещества должны обеспечивать и скольжение, и теплоотвод.

Кожа используется для различного рода прокладок, уплотнительных колец, тормозных муфт и приводных ремней. Особенности-

ми кожи являются пористость и высокая механическая прочность. Они обладают высокой воздухо-, паро- и водопроницаемостью и низкой теплопроводностью. Хорошо работают в условиях многократных изгибов.

Текстильные материалы – пряжа, вата, ленты, шнуры, веревки, войлок и другие материалы широко используют в промышленности. Вата с переплетениями из силикатного стекла применяется для теплозвукоизоляции, амортизирующих подушек и т. д. Войлок используют в качестве уплотнительных прокладок, для фильтров, амортизаторов и других изделий.

Бумажные материалы и картон применяют для электроизоляции и в качестве упаковочных материалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет углерод на физические и механические свойства стали?
2. Как влияют на свойства сталей марганец и кремний?
3. Перечислите вредные примеси в сталях и опишите их влияние на механические свойства сталей.
4. Перечислите факторы, по которым классифицируют углеродистые стали.
5. На какие виды делят стали *по качеству*?
6. На какие группы делят стали *по степени раскисления*?
7. Какие углеродистые стали общего назначения применяют для изготовления сварных конструкций и почему?
8. Как влияет на обрабатываемость стали содержание углерода в ней?
9. В каком виде находится углерод в белых чугунах?
10. Почему ограничено промышленное использование белых чугунов как конструкционных материалов?
11. От чего зависят механические свойства серых чугунов?
12. Для чего проводится модифицирование серых чугунов?
13. Как получают высокопрочные чугуны?
14. Каким способом получают ковкие чугуны?
15. По каким признакам классифицируют легированные стали?
16. Какие легированные стали относятся к сталям с особыми свойствами?
17. Что такое красностойкость материала?
18. Где применяют быстрорежущую сталь?

19. Каким методом изготавливают твердые сплавы? Каков их состав?
20. Какой легирующий элемент вводят в сталь для повышения ее износостойкости?
21. Как влияют примеси на электропроводность меди?
22. Как маркируются деформируемые латуни?
23. Назовите группы алюминиевых сплавов.
24. Какой термической обработке подвергают дюралюмины?
25. Из каких компонентов состоит сплав *силумин*?
26. Какие сплавы цветных металлов применяют в качестве антифрикционных?
27. Что такое пластмассы?
28. В чем заключается разница в строении и свойствах между термопластичными и терморезистивными материалами?
29. Из каких составляющих состоит резина?
30. Какое вещество применяется в качестве вулканизатора при изготовлении резины?
31. Какими достоинствами и недостатками обладает древесина?
32. Что такое композиционные материалы?
33. Какие материалы могут применяться в качестве основы композиционных материалов?
34. Какие вещества применяются в качестве армирующих компонентов в композиционных материалах?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цели работы:

Получить навыки в проведении микроанализа структур углеродистых сталей, определении по ним типа сплава, содержания углерода, примерной марки стали и в практическом применении установленного сплава.

Приборы и материалы:

1. Микроскоп металлографический ЛабоМет-1.
2. Набор микрошлифов.
3. Альбом микроструктур.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Микроструктура углеродистых сталей в равновесном состоянии, полученная в результате оптимального нагрева и медленного охлаждения, может быть определена по диаграмме состояния сплавов системы железо-углерод (рис. 18). Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода до 0,02 %, называют *технически чистым железом*. Его структура состоит из светлых зерен феррита с хорошо видимыми темными границами (рис. 32).

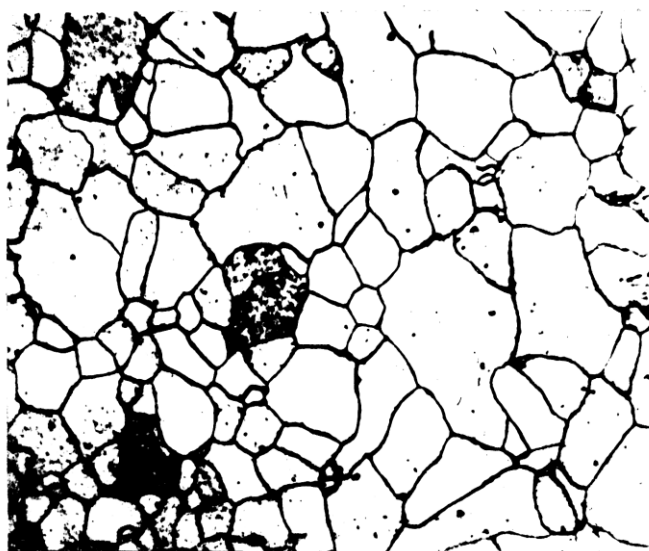


Рис. 32. Микроструктура технического железа (феррит), $\times 500$

Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода от 0,02 до 2,14 %, называются *сталями*. По структуре в равновесном состоянии стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.



Рис. 33. Микроструктура доэвтектоидной стали (0,2 % C), $\times 200$

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис. 33). С увеличением содержания углерода уменьшается количество феррита, возрастает количество перлита.



Рис. 34. Микроструктура эвтектоидной стали (перлит пластинчатый), $\times 2000$

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода и состоит только из перлита (физико-химической смеси феррита и цементита), имеющего пластинчатое строение (рис. 34).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 до 2,14 % углерода, их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 35). При медленном охлаждении вторичный цементит располагается по границам зерен перлита в виде сетки или ручейков белого цвета. Чтобы отличить цементит от феррита, применяют специальный реактив – пикрат натрия, который окрашивает цементит в темный цвет и совершенно не действует на феррит. Выделение вторичного цементита по границам зерен перлита нежелательно, так как такая структура обладает повышенной хрупкостью и плохо обрабатывается резанием. Чем больше содержание углерода, тем более широкой получается цементитная сетка и меньше образуется перлита.



Рис. 35. Микроструктура заэвтектоидной стали (1,2 % С), $\times 200$

Таким образом, с увеличением содержания углерода в углеродистых сталях, находящихся в равновесном состоянии, меняются их структура и фазовый состав: уменьшается количество феррита (НВ 80...100), увеличивается количество цементита (НВ 800). В соответствии с этим в сталях возрастают твердость НВ, предел прочности σ_b , уменьшаются пластичность δ и ударная вязкость K_{SU}.

При содержании углерода свыше 1 % предел прочности снижается, что объясняется образованием в структуре стали по границам зерен сплошной цементитной сетки.

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно приближенно определить содержание углерода, а затем установить марку стали. Для этого на микроструктуре, рассматриваемой под микроскопом, ориентировочно определяют площади, занимаемые перлитом, ферритом, цементитом. Принимают содержание углерода в феррите равным нулю, в 100 % перлита – 0,8 %, а в 100 % цементита – 6,67 % С.

Например, пусть в доэвтектоидной стали перлит занимает 25 % всей площади, феррит – 75 %. Тогда содержание углерода в стали можно определить из пропорции:

$$\begin{array}{l} 100 \% \text{ перлита} - 0,8 \% \text{ С,} \\ 25 \% \text{ перлита} - x \% \text{ С} \end{array}$$

откуда $x = \frac{25 \cdot 0,8}{100} = 0,2 \% \text{ С}$

Такое содержание углерода имеет конструкционная сталь марки 20.

По структуре заэвтектоидной стали не рекомендуется определять содержание углерода, так как с увеличением его содержания мало изменяется площадь, занимаемая цементитом, и можно сделать грубую ошибку в расчете.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассмотреть и изучить микрошлифы под микроскопом, определить структурные составляющие, указать класс стали (доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная).
2. По структуре подсчитать содержание углерода.
3. Зарисовать схемы микроструктур из альбома.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

В отчет необходимо включить диаграмму состояния «Железо–углерод» и указать, как влияет увеличение содержание углерода на структуру и механические свойства стали; описать строение и свойства структурных составляющих; напротив зарисованных схем микроструктур указать структурные составляющие, класс стали, содержание углерода, марку стали, механические свойства (НВ, σ_s , δ , K_{SU} – используя справочный материал), применение.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧУГУНОВ

Цели работы:

Получить навыки определения по микроструктуре сплава вида чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный), оценить приближенно его механические свойства и установить область применения.

Приборы и материалы:

1. Микроскоп металлографический ЛабоМет-1.
2. Набор микрошлифов.
3. Альбом микроструктур.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

По химическому составу чугуны отличаются от сталей более высоким содержанием углерода (более 2,14 %) и постоянных примесей (S, P, Si, Mn). Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь. Однако его хорошие технологические свойства (литейные, обрабатываемость режущим инструментом, износостойкость, антифрикционные свойства и т.д.) делают чугун пригодным для изготовления различных деталей сельскохозяйственных машин.

В зависимости от состояния углерода чугуны подразделяются на две группы: чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C), и чугуны, в которых весь углерод или большая часть его находится в виде графита.

К первой группе относятся *белые чугуны*. Их структура зависит от содержания углерода и соответствует диаграмме равновесного состояния сплавов системы железо-углерод (рис. 18). По структуре белые чугуны делятся на следующие.

Доэвтектические (2,14...4,3 % C). Структура включает три составляющие: перлит, ледебурит, вторичный цементит (рис. 36).

Перлит наблюдается под микроскопом в виде темных зерен, цементит – светлых полос, ледебурит – в виде участков с темными точками. Каждый такой участок представляет собой смесь мелких округлых или вытянутых зерен перлита, равномерно расположенных в белой цементитной основе.



Рис. 36. Микроструктура доэвтектического чугуна, $\times 200$

Эвтектический чугун (4,3 % C) состоит из ледебурита, представляющего собой равномерную физико-химическую смесь перлита с цементитом (рис. 37).

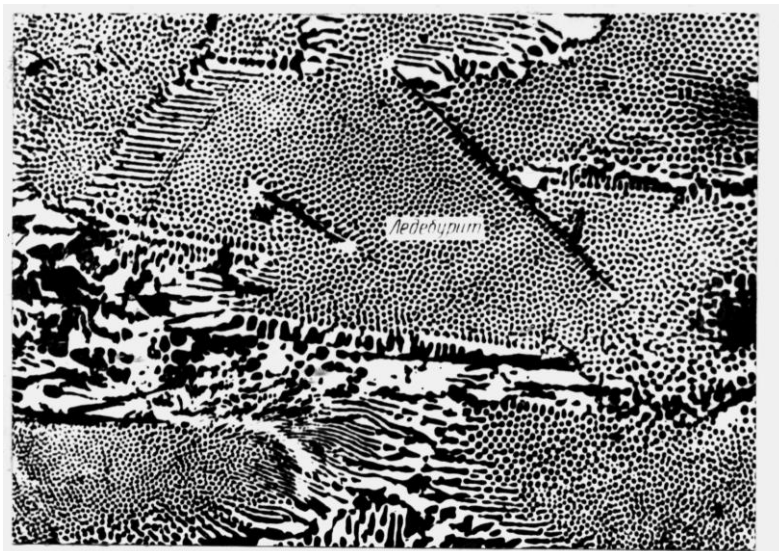


Рис. 37. Микроструктура эвтектического чугуна, $\times 500$

Заэвтектический чугун (4,3...6,67 % C) характеризуется двумя структурными составляющими: первичным цементитом (вытянутая форма) и ледебуритом (рис. 38).

Характерная особенность структуры белого чугуна – наличие в ней весьма твердых и малопластичных составляющих: цементита и ледеburита. Получению такой структуры в белых чугунах способствуют повышенное содержание в них марганца, пониженное – кремния и сравнительно быстрое охлаждение. Белые чугуны – очень хрупки и тверды, плохо поддаются обработке режущим инструментом. Поэтому такие чугуны в машиностроении используются редко (дробильные шары шаровых мельниц, звездочки для очистки литья). Они обычно идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна.



Рис. 38. Микроструктура заэвтектического чугуна, $\times 200$

Ко второй группе чугунов относятся *серые, высокопрочные и кокие чугуны*. Структура их представляет собой металлическую основу, пронизанную графитовыми включениями.

От структуры металлической основы, которая выявляется после травления шлифа (феррито-перлитная, перлитная и ферритная), зависят такие свойства, как предел прочности при сжатии, твердость, износостойкость.

Такие свойства чугуна, как пластичность, сопротивление растяжению и износостойкость, зависят главным образом от формы, размеров, количества и характера расположения графитовых включений. Прочность графита по сравнению с металлической основой ничтож-

на, его присутствие равносильно надрезу – пустоте. Поэтому чем равномернее расположены графитовые включения в металлической основе, чем они мельче и их форма ближе к округлой, тем меньше будет разобщена металлическая основа чугуна, и прочностные свойства будут выше. В соответствии с отмеченным качество чугунов оценивается не только структурой металлической основы, но и формой, размером и характером распределения в ней графитовых включений.

В чугунах встречаются три формы графитовых включений: пластинчатая (рис. 39), шаровидная (рис. 40), хлопьевидная (рис. 41).

Пластинчатая форма графита свойственна *серым чугунам*. Такую форму можно рассматривать как трещины (надрезы), создающие концентрацию напряжений в перлитной, феррито-перлитной металлических основах. Получению серых чугунов способствует медленное охлаждение отливок и наличие в них повышенного содержания кремния и пониженного – марганца. Пластинчатая форма графита резко снижает прочностные свойства чугуна.

Повышение механических свойств серых чугунов достигается модифицированием, то есть воздействием на процесс графитизации путем введения в жидкий расплав особых добавок (модификаторов). Модификаторами являются ферросилиций, силикокальций, алюминий. Будучи введенными в жидкий чугун перед его разливкой, модификаторы раскисляют его и образуют в нем тугоплавкие окислы типа SiO_2 , CaO , которые, находясь во взвешенном состоянии, служат дополнительными центрами графитизации и способствуют размельчению графита.

Из серых чугунов изготавливают блоки цилиндров, картеры, маховики и др. В автотракторостроении и сельскохозяйственном машиностроении часто применяют следующие марки серых чугунов: СЧ18, СЧ20, СЧ25 (немодифицированные) и СЧ30 и СЧ35 (модифицированные).



Рис. 39. Микроструктура серого перлитного чугуна, $\times 1000$

Шаровидная форма графита свойственна *высокопрочному чугу-ну*.

Его получают двойным модифицированием серого чугуна: добавкой в жидкий чугун незадолго перед заливкой двух модификаторов – ферросилиция для создания большего количества центров графитизации и магния или церия для получения шаровидной формы графита (рис. 40).

Структура высокопрочного чугуна состоит из ферритной или перлитно-ферритной металлической основы, в которой располагаются графитовые включения в форме шаров. Такая форма графита не нарушает сплошности металлической основы, и это способствует повышению прочности и пластичности. Высокопрочный чугун – хороший заменитель литой стали (применяется для изготовления коленчатых и распределительных валов, гильз цилиндров, автомобильных двигателей). В машиностроении часто применяют высокопрочные чугуны марок ВЧ60, ВЧ45.

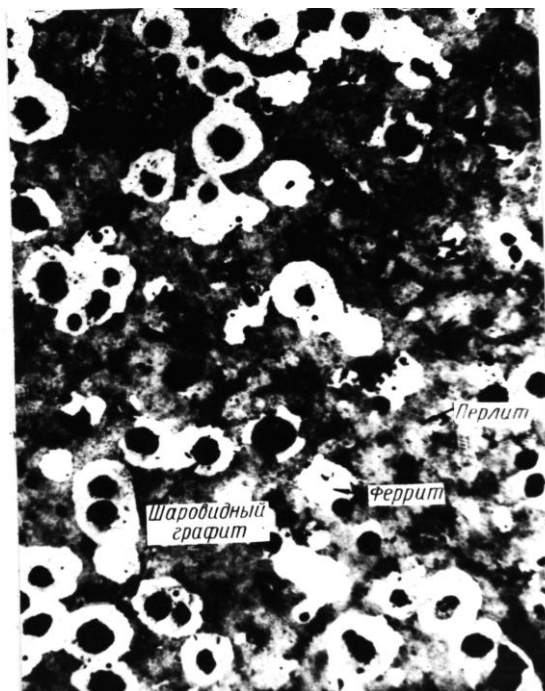


Рис. 40. Микроструктура феррито-перлитного высокопрочного чугуна после модификации лигатурой магния с ферросилицием, $\times 200$

Хлопьевидная форма графита присуща *ковкому* чугуну, который получают специальным графитизирующим отжигом (томлением) белых доэвтектических чугунов, содержащих от 2,2 до 3,2 % С (рис. 41). Такая форма графита способствует повышению пластических свойств – чугун лучше переносит удары, обладает достаточной вязкостью.

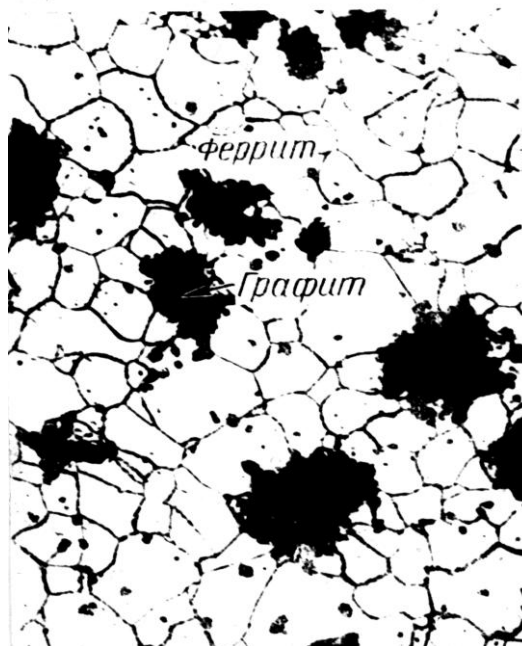


Рис. 41. Микроструктура ферритного ковкого чугуна, $\times 250$

В зависимости от вида отжига белого чугуна, металлическая основа может иметь структуры: при одностадийном отжиге – ферритную, при двухстадийном – феррито-перлитную или перлитную.

Очень часто применяют ферритный ковкий чугун, так как он характеризуется повышенной пластичностью.

В автотранспортном и сельскохозяйственном машиностроении применяют ковкие чугуны марок КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ50-4. Из них изготавливают картеры редукторов, рулевых механизмов, ступицы колес, педали и др.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы необходимо иметь коллекцию микрошлифов, состоящую из нетравленных шлифов серого чугуна (немодифицированного и модифицированного), протравленных шлифов белого, серого, высокопрочного и ковкого чугунов).

1. Изучить под микроскопом микрошлифы и определить структурные составляющие.

2. По структурным составляющим определить наименование чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный).

3. Определить увеличение микроскопа.

4. Зарисовать схемы микроструктур.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

В отчет необходимо включить участок диаграммы состояния сплавов системы железо–углерод для чугунов, проанализировать изменение структуры с увеличением содержания углерода. Описать виды чугунов, их структуру, свойства и применение. Рядом с зарисованными схемами микроструктур указать структурные составляющие, наименование чугуна, условия и метод получения, механические свойства (НВ, σ_s , δ , K_{SU} – используя справочный материал). Объяснить влияние формы графита на механические свойства чугунов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОДУКТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы: по имеющимся в лаборатории наборам минералов, других образцов и сведениям о них ознакомиться с основными материалами и продуктами металлургического и литейного производств.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Изучить литературу по исходным материалам и продуктам металлургического и литейного производств.
2. Получить у преподавателя образцы минералов и материалов.
3. По сведениям, имеющимся в тексте методических указаний и в таблицах 14 – 23, изучить химический состав, свойства и назначение полученных материалов в производстве чугуна, стали, меди, алюминия, магния и титана. Сведения по химическому составу, свойствам и применению занести в графы 2, 4, 5 таблицы 13.

Таблица 13

Результаты исследований

Наименование минерала или материала	Химический состав	Внешняя характеристика	Свойства	Применение
1	2	3	4	5

4. Изучить образцы по внешнему виду и описать их в графе 3 таблицы 13 (указать цвет материала, вид излома, пористость, плотность). При изучении обратить внимание на наиболее характерные отличительные признаки образцов.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Металлургия – наука о промышленных способах получения металлов и металлических сплавов.

Для производства черных и цветных металлов используют различные сырые материалы, являющиеся полезными ископаемыми, или специально приготовленные материалы, а также отходы металлургического производства.

К сырым материалам металлургического производства, прежде всего, относят *руды, топливо и флюсы*.

Так как металлы и их сплавы получают в большинстве случаев при высоких температурах, большое значение имеет знание состава и свойств *огнеупорных материалов*.

РУДЫ

Термодинамически все материалы в природных условиях неустойчивы и находятся в виде оксидов, сернистых, углекислых и других химических соединениях, входящих в состав различных минералов (горных пород). Исключение составляют термодинамически устойчивые золото, платина, серебро, иногда медь, встречающиеся в виде самородных металлов.

Руда представляет собой полезное ископаемое, добываемое из недр земли. Это – горная порода или минеральное вещество, из которого при данном уровне развития техники экономически целесообразно извлекать металлы или их соединения. Руда состоит из рудного минерала, содержащего металл, и пустой породы. Пустая порода обычно включает в себя кремнезём (SiO_2), глинозём (Al_2O_3), окись кальция (CaO) и окись магния в различных соотношениях.

В современном металлургическом производстве практически вся добываемая руда до плавки подвергается предварительной подготовке – дроблению и обогащению. Целью обогащения является повышение содержания полезного компонента и снижение содержания вредных примесей путем отделения рудного минерала от пустой породы или отделения одного ценного минерала от другого. В результате обогащения получают готовый продукт – концентрат, более богатый по содержанию определенного металла, чем исходная руда, и остаточный продукт – хвосты, более бедный, чем исходная руда.

Железные руды

Железо обладает сравнительно большим сродством к кислороду и в силу этого в земной коре не обнаруживается в чистом виде, а находится, главным образом, в соединениях с кислородом и двуокисью углерода.

На практике приходится иметь дело с магнитной окисью железа Fe_3O_4 , безводной окисью железа Fe_2O_3 и водной окисью железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с различным количеством адсорбированной воды. Реже встречаются соединения железа с двуокисью углерода – карбонат железа FeCO_3 .

Пустая порода железных руд обычно состоит из кварца и песчаников с примесью глины. Кроме того, в рудах всегда присутствуют различные примеси, которые в зависимости от вида плавки могут быть полезными и вредными – сера, фосфор, цинк, мышьяк, никель, хром, медь, ванадий и титан.

До 80 % всей перерабатываемой железной руды в настоящее время обогащают методом магнитной сепарации. Это позволяет повысить содержание железа в концентрате до 69 %. Обязательными операциями подготовки руды к плавке являются агломерация и окатывание.

Разнообразие видов руд, отличающихся по содержанию железа, минералогическому составу окислов железа и пустой породы, плотности, температурам превращения, определяет отличие физико-химических и теплофизических свойств руд (таблица 14).

Россия обладает огромными ресурсами железорудного сырья. Из месторождений нашего и соседних регионов можно выделить Ангаро-Питское (Красноярский край), Хакасское (город Абаза), Горно-Шорийское (Алтайский край), Коршуновское (Иркутская область).

Таблица 14

Характеристики важнейших рудных минералов железа

Наименование руд	Рудный минерал	Формула	Содержание Fe, % (по массе)	Плотность · 10 ³ кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/ г · К	Теплопроводность, Вт / м · К,	T _{пл} , °С
Магнетитовые	магнетит	Fe ₃ O ₄	55...65	5,2	0,6	4,7...5,2 8	1538
Гематитовые	гематит	Fe ₂ O ₃	50...60	5,3	0,6	11,2... 13,9	1565
Бурые железняки	лимонит	Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	30...50	4,0... 4,6	-	-	-
Шпатовые	сидерит	FeCO ₃	30...40	3,9	0,7...0,8	3,0	1550
Прочие	пирит	FeS ₂	47,7	5,1	0,5	23...38	1550

Марганцевые руды

Марганцевые руды служат добавкой, которые вводят в чугун для увеличения его твердости, вязкости и уменьшения вредного влияния серы. Кроме того, марганец в виде ферросплавов вводят в сталь в качестве раскислителя и легирующей добавки. В рудах пре-

обладают кислородные соединения марганца: закись (MnO), закись-окись (Mn_3O_4), окись Mn_2O_3 , двуокись (или перекись) (MnO_2).

Основные марганцевые минералы и величины их плотности ($кг/м^3$) приводятся ниже:

Манганозит (MnO)	5300
Пиролюзит (MnO_2)	4800
Браунит (Mn_2O_3)	4800
Гаусманит (Mn_3O_4)	4800
Манганит ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$)	4300
Гауерит (MnS_2)	3500
Родохрозит ($MnCO_3$)	3500
Родонит ($MnSiO_3$)	3550

Содержание марганца в марганцевых рудах составляет от 20 до 40 %. Пустая порода в основном состоит из кремнезема и глинозема. Добываемые марганцевые руды обычно подвергают промывке или гравитационно-магнитному обогащению с получением концентратов, содержащих 40...56 % Mn. В Красноярском крае марганцевые руды добывают на Мазульском месторождении.

Медные руды

Обычное содержание меди в рудах от 0,5 % до 2,0 %, более богатые встречаются редко. Важнейшие минералы приведены в табл. 15.

Таблица 15

Важнейшие медные минералы

Минерал	Формула	Плотность, $кг/м^3$	Твердость по Моосу
Борнит	Cu_5FeS_4	4900...5200	3
Медный блеск	Cu_2S	5500...5800	2,5...3
Ковеллин	CuS	4600	1,5...2
Халькопирит	$CuFeS_2$	4100...4300	3,5...4
Малахит	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	3700...4100	3,5...4
Хризаколла	$CuSiO_3 \cdot H_2O$	2000...2200	2,4
Самородная медь	Cu	8900	-

Руды разделяют на сульфидные, окисленные и смешанные. Последние два вида в недрах встречаются редко. Сульфидные руды обогащают, в основном, способом флотации. Химический состав концентратов дан в таблице 16.

Таблица 16

Химический состав медных руд

Исходная руда	Содержание в концентрате, %						
	Cu	Zn	S	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
Медистые колчеданы	11...20	4...7	35...43	32...37	3...5	3...7	0,5...2
Медно-цинковые	11...15	2...7	30...35	25...30	3...5	3...7	0,5...2
Вкрапленники	20...25	-	30	25...27	5...10	5...8	0,5...2

Алюминиевые руды

По содержанию в земной коре алюминий занимает первое место среди металлов (7,45 %). Он входит в состав около 250 минералов, 40 % которых относится к алюмосиликатам.

Алюминиевой рудой называют горную породу с высоким содержанием оксида алюминия. Наибольшее значение для производства глинозема (Al₂O₃) имеют бокситы, нефелины, алуниты. Примерный состав этих руд приведен в таблице 17.

Таблица 17

Состав сырья для производства глинозема, % (по массе)

Виды сырья	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	(Na ₂ O+K ₂ O)	CaO	SO ₃
Боксит	55,0	4,0	23,0	-	3,0	-
Боксит	60,0	1,6	11,0	-	4,0	-
Боксит	44,5	13,0	16,7	-	4,0	-
Нефелин	27,3	40,3	5,2	11,9	7,6	-
Нефелиновый концентрат	29,3	43,6	5,0	17,9	1,3	-
Алунит	21,2	40,5	5,1	3,8	-	20,1

Наибольшее значение имеют бокситы. Алюминий в них находится в виде гидроксидов алюминия (гиббсита, бемита и др.), корунда и каолинита. Химический состав бокситов довольно сложен. Они часто содержат более 40 химических элементов. Важной характеристикой бокситов является отношение содержаний в них Al₂O₃ к SiO₂ по массе – так называемый кремневый модуль. Минимальное значение модуля промышленных бокситов составляет 2,6.

Физические свойства бокситов очень разнообразны и непостоянны. Встречаются бокситы всевозможных цветов и оттенков – от белого до темно-коричневого. Плотность их колеблется от 1,2 г/см³ до 3,5 г/см³, твердость бокситов варьируется от 2 до 7 (по Моосу).

Из учтенных мировых запасов бокситов – 64 млрд. тонн – на Россию приходится только два процента, хотя наша страна сохраняет второе место после США по выплавке алюминия.

В Красноярском крае бокситы не добываются. Перспективной является Чадобецкая группа месторождений с разведанным запасом бокситов около 300 млн. тонн, правда, невысокого качества. После внедрения новых технологий обогащения эти бокситы могут быть использованы в производстве огнеупоров, абразивов, цемента, химкоагулянта и т.д.

Нефелины – химическая формула $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ – являются частью горной породы, называемой уртитом.

В нефелинах Al_2O_3 содержится сравнительно немного. Однако при их комплексной переработке на глинозем с извлечением щелочей и использованием отходов для получения цемента, соды и поташа нефелины экономически целесообразны.

Работающий в крае Ачинский глиноземный комбинат сейчас использует Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд, которые перерабатываются без обогащения. В ближайшем будущем, после истощения Кия-Шалтырского месторождения, планируется переход на нефелины Горячегогорского месторождения близ Шарыпова.

Сырье для получения магнезия

В настоящее время для получения магнезия используют следующие его соединения: магнезит, доломит, карналлит и бишофит.

Магнезит – углекислый магний MgCO_3 . В магнезите содержится примеси CaO и SiO_2 в виде кварца и талька, а также Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Доломит – горная порода, представляющая собой двойной карбонат кальция и магния $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$.

Доломиты обычно содержат примеси кварца, кальцита, гипса и т. д. Требования, предъявляемые к доломиту: отношение CaO к MgO должно быть не более 1,54; содержание щелочных металлов не более 0,3 %.

Карналлит – ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \cdot \text{KCl}$) – природный хлорид магния и калия – кристаллическое вещество, обычно окрашенное примесями в розовый цвет.

Бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) получают при переработке естественного карналлита. Кроме того, неисчерпаемые запасы его находятся в морской воде, которая содержит в среднем в 1 кг воды 3,8 г MgCl_2 , 1,7 г MgSO_4 и 0,1 г MgBr_2 .

Сырье для получения титана

Известно более 80 минералов, содержащих титан. Больше всего его содержится в редко встречаемом рутиле TiO_2 и еще реже в бруктите и анатазе.

Первостепенное для металлургии значение имеет природный ильменит FeTiO_3 . Плотность минерала колеблется в пределах 4000... 5250 кг/м^3 , а содержание титана в рудах 6...35 %. Месторождения бывают коренного типа и россыпи (пески).

Все больший интерес проявляют к титаногематитовым и титаномагнетитовым рудам с высоким содержанием Fe_2O_3 и Fe_3O_4 .

Руды и пески часто комплексны: помимо рутила и циркона ZrSiO_4 в них встречаются примеси V, Ta и Nb.

Пустая порода состоит из сложных силикатов железа и алюминия.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

Высокие температуры, необходимые для многих пирометаллургических процессов, достигаются сжиганием топлива. Топливо может быть твердым (уголь, торф, дрова, кокс), жидким (нефть, мазут, керосин, бензин), газообразным (природный газ, доменный газ, генераторный газ и другие горючие газы). В состав любого топлива входят горючие составляющие – углерод, водород, углеводороды (метан CH_4 и другие, описываемые в общем виде формулой C_nH_m), а также негорючие – минеральные вещества и влага.

Важнейшее свойство всех топлив – выделять тепло при горении. Это свойство называется *теплотворной способностью*. Она относится к единице массы или объема топлива и часто называется калорийностью. В таблице 18 приведены округленные данные, характеризующие отдельные виды топлива.

Каменный уголь

Каменный уголь имеет много разновидностей, различающихся содержанием свободного углерода, углеводов, смолоподобных веществ – битумов и золы. Если нужны высокие температуры, каменный уголь сжигают в пылевидном состоянии. Для этого его дробят, размалывают, а затем сушат и вдувают в печь сжатым воздухом через особые горелки. Частицы угля быстро сгорают на лету, образуя факел.

Кокс

Кокс делают из особых сортов каменного угля, содержащих битумы. Уголь измельчают до крупности около 5 мм, увлажняют и загружают в камеры коксовых печей. Герметично закрытые камеры нагревают снаружи до 900...1000 °С. В процессе коксования угольная масса размягчается, и из нее начинают выделяться газообразные продукты, а затем она спекается в пористую массу. При выделении газов в процессе коксования эта масса растрескивается и распадается на куски. Летучие вещества отводят в холодильники, где они конденсируются и образуют ценные химические продукты (смолы, бензин и др.). После этого остается горючий газ (косовый). Процесс коксования длится 14...16 часов. Затем кокс выталкивают из печи и тушат водой или инертными газами. Важными для доменной плавки показателями качества кокса являются зольность и содержание серы, которые должны быть минимальными. Сера – вредная примесь. В процессе плавки она может переходить в металл и ухудшать его свойства.

Теплотворная способность кокса около 27000 кДж/кг.

Коксовый газ, состоящий из водорода (50 %), метана (27 %) и других углеводов, может служить хорошим топливом, теплотворная способность его около 18000 кДж/кг.

Мазут

Мазут – остаток от перегонки нефти, содержащий около 87 % углерода и 12 % водорода, прекрасное жидкое топливо с теплотворной способностью 40000...45000 кДж/кг.

Мазут, подогретый до 100 °С для снижения вязкости, разбрызгивают сжатым воздухом и вдувают в печь распылителем – форсункой. Мелкие капли его сгорают на лету, образуя факел.

Горючие газы

При доменной плавке часть кокса заменяют природным или доменным газом.

Природный газ. Сжигание природного газа производится с предварительной обработкой. Степень черноты газового факела небольшая, всего 0,2...0,4; поэтому излучение тепла к стенкам печи и нагреваемому металлу небольшое. Чтобы увеличить излучение, газовый факел подсвечивают, подавая в него некоторое количество мазута или угольной пыли.

Доменный или колошниковый газ. Образуется в горне доменной печи. При влажности дутья около 1 % он состоит примерно из 35 % CO; 64 % N₂ и 0,8 % H₂. По мере продвижения к колошнику состав газа меняется: CO становится меньше, а CO₂ – больше. Окись углерода расходуется на восстановление окислов железа.

ФЛЮСЫ

Флюсы служат для связывания пустой породы при выплавке металлов. Вместе с окисленной пустой породой и золой топлива флюсы образуют шлак, который затем удаляется. Температура плавления окислов, входящих в состав пустой породы, а также в золу кокса (SiO₂ – 1728, Al₂O₃ – 2040, CaO – 2570, MgO – 2800 °C) значительно выше температуры плавления шлака в печи (1450...1600°C). При добавке флюсов образуются легкоплавкие составы, которые имеют температуру плавления ниже 1300 °C и характеризуются хорошей текучестью при 1450...1600 °C.

В качестве флюсов в металлургии применяют чаще всего известняк (CaCO₃), доломитизированный известняк (CaCO₃ + MgCO₃), плавиковый шпат (CaF₂), боксит и кварцевый песок. По химическому составу флюсы разделяются на кислые (CaO : SiO₂) < 1, основные (CaO : SiO₂) > 1 и нейтральные (CaO : SiO₂) ≈ 1. В железных рудах пустая порода обычно кислая, с избытком SiO₂, поэтому по технологическим причинам при выплавке чугуна и стали обычно применяют известняки и доломиты, а их количество рассчитывают, чтобы основность шихты была (CaO : SiO₂) ≈ 1.

По плотности известняки делят на тяжелые, плотные, средней плотности и легкие. Плотность известняков, кг/м³: тяжелого > 2700; плотного 2400...2700, средней плотности 2000...2400; легкого < 2000.

Известняки и доломиты применяют для основных печей.

Химический состав известняков и доломитов некоторых месторождений представлен в таблицах 19 и 20.

Данные по топливу

Наименование топлива	Марка	Химический состав, %	Выход летучих веществ, %	Зольность, %	Влажность, %	Низшая теплотворная способность, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
Уголь бурый	БЗК	65...75 % С; 5...6 % Н ₂ ; до 5 % S; 17...20 % (O ₂ + N ₂)	до 43	до 20	20...30	10760...10800
Уголь каменный	К14	до 80 % С	18...27	10	8	21160
Уголь антрацит	А	до 98 % С	8	20	8	24240
Кокс каменноугольный литейный	КЛ 1 КЛ 2 КЛ 3	80...85 % С 0,4...0,7 % S	до 2,5	10...15	2...6	27300...29400
Мазут топочный маргеновский	40 В 100 В МП МПС	87 % С 12 % Н ₂ 1% (Н ₂ + N ₂)	-	0,2...0,3	-	40000...45000

1	2	3	4	5	6	7
Природный газ	осредненный	93 % CH ₄ 2 % CO ₂ 1 % N ₂ 1 % H ₂ 3 % CH _{2n}	-	-	-	27000...38000
Коксовый газ	осредненный	46...63 % H ₂ 21...27 % CH ₄ 2...7 % CO 4...18 % N ₂	-	-	-	18800
Доменный газ	осредненный	12 % CO ₂ 28 % CO 0,5 % CH ₄ 2,5 % H ₂ 57 % N ₂	-	-	-	3300...3700

Таблица 19

Химический состав известняков

Месторождение	Содержание компонентов, % (по массе)						
	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn	P	S
Амурское	54,86	-	-	-	-	0,015	-
КМА	82,5	4,5	4,5	-	-	-	0,2
Комсомольское	54,75	0,35	0,72	0,38	0,02	-	0,032
Липецкое	52,64	1,06	1,59	0,87	-	0,007	0,094
Новотроицкое	41,67	11,06	-	-	-	-	-

Таблица 20

Химический состав доломитов

Месторождение	ρ , кг/м ³	Содержание компонентов, % (по массе)					
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄
Елецкое	2820	32,77	17,82	0,94	0,52	0,32	0,01
Докучаевское	2850	43,76	9,90	1,26	0,49	0,04	-
Сухореченское	2830	31,14	20,18	0,68	-	0,74	-
Череповецкое	2960	39	30,5	3,4	0,7	1,8	-
КМА	-	35,94	16,75	0,97	-	0,44	-

Плавиновый шпат имеет плотность в пределах 3000...3800 кг/м³.
Температура плавления 1691 °С.

Применяется плавиновый шпат для основных электродуговых и мартеновских печей. Химический состав шпатов различных месторождений представлен в таблице 21.

Таблица 21

Химический состав плавиновых шпатов, %

Месторождение	Марка	CaF ₂	SiO ₂	P	S
Баох (МНР)	-	78,0	18,0	-	0,02
Голотульское	3-й сорт	75,0	-	-	1,5
Узбекское	-	96,2	1,5	0,047	0,33
Ярославское	-	92,3	2,4	0,038	0,04
Колончуйский концентрат	ФКС-92	94,2	3,8	0,019	0,07

Кварцевый песок применяется для кислых печей и состоит на 93 % из кремнезема SiO₂, а остальное составляют окислы Al₂O₃, Fe₂O₃.

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы, стойкие при температуре выше 1580 °С, промышленность выпускает в виде кирпича, фасонных изделий разных размеров и формы, иногда в порошке. Они служат для кладки стен, устройства сводов и пода металлургических и других промышленных печей.

Высокоогнеупорными условно считают вещества, остающиеся твердыми до 2000 °С, а преодолевающие и этот предел – материалами высшей огнеупорности.

Сырьем для производства огнеупоров служат силикаты, карбиды и иные соединения, которые не плавятся и не разлагаются до температур, °С: Al_2O_3 – 2050, SiO_2 – 1713, CaO – 2580, Cr_2O_3 – 2800, ZnO_2 – 2275, SiC – 2700, ZrO_2 – 2600, ZrC – 3500, HfC – 3900, TiB_2 – 2980, и многие другие, в том числе нитриды и силициды металлов, а также кокс и графит.

При выборе огнеупоров необходимо учитывать их механическую прочность в рабочем состоянии – при нагревании и под нагрузкой, термическую стойкость – способность не растрескиваться от резких изменений температуры, коэффициент объемного расширения, пористость, химическую инертность к кислороду, углекислоте, действию жидких шлаков или солевых расплавов, а иногда также – плотность, теплопроводность и электропроводность. В большинстве случаев последние должны быть низкими.

Наиболее ходовые огнеупорные материалы, состоят из дешевых и доступных окислов, которые при высоких температурах могут быть кислыми (SiO_2), основными (CaO , MgO), либо амфотерными (Al_2O_3 , Cr_2O_3), последние в зависимости от среды проявляют свойства кислот или оснований.

Шамотные огнеупоры

Изделия из шамота стойки до 1750 °С. Их делают из огнеупорной глины, содержащей каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Глину обжигают при 1400 °С, от этого она теряет влагу и превращается в шамот $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Последний при смачивании уже не становится пластичным. Его измельчают, смешивают с водой и свежей глиной, служащей связующим. Полученную при этом полусухую массу прессуют в формах, затем сушат и обжигают.

Шамот сравнительно дешев и универсален: он термостоек и медленно разрушается как кислыми, так и основными шлаками.

Динасовые огнеупоры

Их делают в виде кирпичей, в основе которых – кварциты, содержащие не менее 95 % SiO_2 . Кварциты измельчают, смешивают с известковым молоком Ca(OH)_2 и при влажности 5...9 % прессуют. Обжиг производят после сушки, медленно повышая и снижая температуру в течение нескольких суток; максимум ее около 1450 °С.

Динас стоек до 1700 °С и прочен в рабочем состоянии. Для повышения термической стойкости в шихту вводят до 30 % мелкого хромита, получая динасохромит, или добавляют карборунд (SiC) для получения динасокарборунда.

Магнезитовые огнеупоры

Они состоят из периклаза (80...85 % MgO). Сырьем служит природный магнезит MgCO_3 , обжигаемый для получения окиси при температуре 1600 °С, которая делает его химически инертным.

Наиболее чистая окись идет на изготовление кирпича, а худшая – для набойки и наварки подин печей. Магнезитовый кирпич стоек против основных шлаков. Он высокоогнеупорен (2000 °С), прочен, плотен, но малотермостоек и дорог.

Доломитовые огнеупоры

Они изготавливаются в виде изделий и порошков из минерала доломита $(\text{Ca, Mg})\text{CO}_3$. Доломит обжигают для удаления CO_2 при температуре 1600...1700 °С. Добавка кварцита или трепела связывает окись кальция в силикаты Ca_2SiO_4 и Ca_3SiO_5 . Доломит дешевле магнезита, но менее огнеупорен. Применение доломита подобно магнезиту.

Сведения об огнеупорных материалах

Наименование	Химический состав	Прочность на сжатие, кН/см ²	Температура начала деформации, °С	Огнеупорность, °С	Применение
Динасовый кирпич	95...98 % SiO ₂	2,45...2,94	1630	1730	Для кладки стен, подин и сводов мартеновских и электропечей
Шамотные изделия	55...60 % SiO ₂ 34...38 % Al ₂ O ₃ 1...5 % H ₂ O	0,98...6,88	1350	1730	Для футеровки ковшей, газо- и воздухонагревателей
Хромомагнезиты	42...55 % MgO 15...17 % Al ₂ O ₃ 25...29 % Cr ₂ O ₃	2...5	1500...1630	2000	Для стен и сводов основных мартеновских печей
Магнезитовые изделия и порошки	80...85 % MgO	2,94...4,5	1500	2000	Для основных печей
Кварцевый песок	93...100% SiO ₂	-	-	1730	Для наварки пода кислых мартеновских печей
Доломитовые изделия и порошки	52...58 % CaO 35...38 % MgO	-	-	1800-1950	Кладка и наварка подин основных печей

Хромомагнетитовые огнеупоры

Эти огнеупоры после формовки и обжига при 1650 °С содержат MgO 42...55 %, а Cr₂O₃ 15...17 %. Шихту для них составляют из природного хромита FeCrO₃ и обожженного магнезита, смешивая их в разных соотношениях. По огнеупорности эти изделия не уступают магнезиту, но сравнительно нейтральны

ЧУГУНЫ И ФЕРРОСПЛАВЫ

Чугуны являются продуктами плавки железных руд в доменных печах. По назначению чугуны делятся на три вида:

1) Передельные: М1, М2, М3 и Б1, Б2; передельные фосфористые МФ1, МФ2, МФ3, и передельные высококачественные ПВК1, ПВК2, ПВК3, предназначенные для передела на сталь.

2) Литейные чушковые: ЛК00, ЛК0, ЛК1, ЛК2 и далее до ЛК7, предназначенные для изготовления различных отливок.

3) Ферросплавы: ферромарганец Мн5, Мн6, Мн7 и зеркальный чугун ЗЧ1, ЗЧ2, ЗЧ3; ферросилиций ФС75, ФС45, ФС20.

Таблица 23

Химический состав некоторых чугунов, %

Марка	C	Si	Mn	P	S
ЛК00	3,6	4,0	1,0	0,15	0,03
ЛК0	3,64	3,5	0,8	0,20	0,03
ЛК1	3,6	3,0	0,8	0,20	0,03
ЛК2	3,95	2,45	0,23	0,09	0,04
М3	4,41	0,46	0,23	0,10	0,03

Ферросплавы – это сплавы железа с кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом и другими элементами, применяемые при производстве стали для ее *раскисления и легирования*. В доменном процессе получают ферромарганец, содержащий 70...75 % Mn, ферросилиций (9...13 % Si).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Порядок проведения работы.
3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Таблица 13.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое руда?
2. Назовите железные руды и напишите их химические формулы.
3. Основные руды, служащие для получения меди, алюминия, титана, их формулы.
4. Какие виды обогащения руд вы знаете?
5. Какие виды топлива применяются в металлургии?
6. Важнейшие характеристики топлива.
7. Из чего изготавливают огнеупоры?
8. Основные виды огнеупоров.
9. Какими свойствами обладают огнеупоры?
10. Для каких целей применяют флюсы?
11. Назовите основные минералы, применяемые в качестве флюсов.
12. Что такое раскисление стали, для чего оно проводится?
13. Какие степени раскисления стали вы знаете?
14. Что такое легирование стали?
15. Назовите материалы, применяемые для раскисления и легирования стали.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ II

1. **Основной критерий для разделения сталей по качеству – это...**

- A) степень раскисления стали
- B) степень легирования стали
- C) содержание в стали серы и фосфора
- D) прочность

2. **Класс сталей, к которой относится сталь Ст6сп, – это...**

- A) высококачественные стали
- B) особо высококачественные стали
- C) качественные стали
- D) стали обыкновенного качества

3. **Класс сталей, к которой относится сталь 08кп, – это...**

- A) высококачественные стали
- B) особо высококачественные стали
- C) качественные стали
- D) стали обыкновенного качества

4. **Класс сталей, к которой относится сталь 45, – это...**

- A) высококачественные стали
- B) особо высококачественные стали
- C) качественные стали
- D) стали обыкновенного качества

5. **Класс сталей, к которой относится сталь У10А, – это...**

- A) высококачественная углеродистая конструкционная сталь
- B) высококачественная углеродистая инструментальная сталь
- C) автоматная сталь
- D) конструкционная сталь, легированная азотом

6. **Изделие, изготавливаемое из сталей марок 65, 70, – это...**

- A) шестерня
- B) пружина
- C) сверло
- D) шарикоподшипник

7. **Изделие, изготавливаемое из стали У9, – это...**

- A) шестерня
- B) пружина
- C) сверло
- D) фреза

8. **Изделие, изготавливаемое из стали 45, – это...**

- A) вал
- B) пружина
- C) сверло
- D) фреза

9. **Примесь, которая вызывает *красноломкость* стали, – это...**

- A) марганец
- B) водород
- C) сера
- D) фосфор

10. **Примесь, которая вызывает *хладноломкость* стали, – это...**

- A) марганец
- B) водород
- C) сера
- D) фосфор

11. **Примесь, которая приводит к образованию в стали *флокенов*, – это...**

- A) марганец
- B) водород
- C) сера
- D) фосфор

12. **Среднее содержание углерода в стали 30 (%) составляет...**

- A) 30
- B) 3
- C) 0,3
- D) 0,03

13. Углеродистая сталь, в марке которой присутствует индекс «сп», – это сталь...

- A) кипящая
- B) полуспокойная
- C) спокойная
- D) легированная

14. Углеродистая сталь, в марке которой присутствует индекс «кп», – это сталь...

- A) кипящая
- B) полуспокойная
- C) спокойная
- D) легированная

15. Углеродистая сталь, в марке которой присутствует индекс «пс», – это сталь...

- A) кипящая
- B) полуспокойная
- C) спокойная
- D) легированная

16. Среднее содержание углерода в стали 08кп (%) составляет...

- A) 0,08
- B) 0,8
- C) 8
- D) углерод в стали отсутствует

17. Среднее содержание углерода в стали У13 (%) составляет...

- A) 0,13
- B) 1,3
- C) 13
- D) углерод в стали отсутствует

18. Сталь обыкновенного качества – это...

- A) 40ХН
- B) У7А

С) сталь 30

Д) Ст2пс

19. Дополните:

Содержание углерода в стали 30 составляет около _____ %.

20. Дополните:

Содержание углерода в стали У13 составляет около _____ %.

21. Установите соответствие примеси стали на ее влияние на свойства стали:

Примесь:

1) Сера

2) Марганец

Влияние на свойства:

А) увеличивает хрупкость при низких температурах

В) раскисляет вредные примеси

С) вызывает красноломкость

1 - ____; 2 - ____.

22. Установите соответствие класса стали по назначению её марке:

Класс:

1) Конструкционная качественная

2) Инструментальная

Марка:

А) БСт6

В) 45

С) У10

1 - ____; 2 - ____.

23. Установите соответствие класса стали по химическому составу её марке:

Класс:

1) Низкоуглеродистая

2) Среднеуглеродистая

Марка:

А) 10

В) 45

С) У10

1 - ____; 2 - ____.

24. Установите соответствие класса стали по качеству её марке:

Класс:

1) Общего назначения

2) Высококачественная

Марка:

А) Ст5

В) 45

С) У10А

1 - ____; 2 - ____.

25. Форма графита, который находится в белом чугунае,...

- A) хлопьевидная
- B) в белом чугунае графита нет
- C) шаровидная
- D) пластинчатая

26. Форма графита, который находится в сером чугунае,...

- A) хлопьевидная
- B) в белом чугунае графита нет
- C) шаровидная
- D) пластинчатая

27. Форма графита, который находится в ковком чугунае,...

- A) хлопьевидная
- B) в белом чугунае графита нет
- C) шаровидная
- D) пластинчатая

28. Форма графита, который находится в высокопрочном чугунае,...

- A) хлопьевидная
- B) в белом чугунае графита нет
- C) шаровидная
- D) пластинчатая

29. Вид чугуна (серого, ковкого, высокопрочного) определяют по...

- A) размеру графитных включений
- B) характеру металлической основы
- C) форме графитных включений
- D) количеству графитных включений

30. Форма графита в чугунае марки КЧ35-10...

- A) пластинчатая
- B) хлопьевидная
- C) в этом чугунае графита нет
- D) шаровидная

31. Форма графита в чугуне СЧ40...

- А) пластинчатая
- В) хлопьевидная
- С) в этом чугуне графита нет
- Д) шаровидная

31. Форма графита в чугуне ВЧ40-12...

- А) пластинчатая
- В) хлопьевидная
- С) в этом чугуне графита нет
- Д) шаровидная

32. Число 10 в марке сплава КЧ35-10 – это...

- А) относительное удлинение (%)
- В) ударную вязкость, в кДж/м²
- С) временное сопротивление (предел прочности), в кг/мм²
- Д) предел текучести, в МПа

33. Число 40 в марке сплава СЧ40 – это ...

- А) предел текучести, в МПа.
- В) предел прочности при изгибе, в кг/мм²
- С) ударную вязкость, в кДж/м²
- Д) временное сопротивление (предел прочности при растяжении), в кг/ мм²

34. Обозначение высокопрочного чугуна – это...

- А) КЧ30-5
- В) СЧ35
- С) ВЧ50-2
- Д) ЖЧЮ-22

35. Обозначение ковкого чугуна – это...

- А) КЧ30-5
- В) СЧ35
- С) ВЧ50-2
- Д) ЖЧЮ-22

36. Обозначение серого чугуна – это...

- А) КЧ30-5

- B) СЧ35
- C) ВЧ50-2
- D) ЖЧЮ-22

37. Чугун, который получают путем модифицирования жидкого расплава магнием или церием, – это...

- A) серый
- B) белый
- C) высокопрочный
- D) ковкий

38. Чугун, который получают путем специального графитизирующего отжига отливок доэвтектического чугуна, – это...

- A) серый
- B) белый
- C) высокопрочный
- D) ковкий

39. Вид углерода в белых чугунах при комнатной температуре – это...

- A) хлопьевидный графит
- B) глобулярный графит
- C) цементит
- D) пластинчатый графит

40. Цель модификации чугуна при выплавке – это...

- A) повышение коррозионной стойкости
- B) изменение структуры основы
- C) измельчение зерна
- D) изменение формы графитовых включений

41. Отличие белых чугунов от серых – это...

- A) наличие аустенитной фазы
- B) наличие в структуре химически связанного углерода в виде цементита
- C) высокие пластичность и вязкость
- D) ферритная структура основы

42. Дополните:

Чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму, называются _____.

43. Дополните:

Чугуны, в которых графит имеет пластинчатую форму, называются _____.

44. Дополните:

Значение относительного удлинения δ (%) в чугуне ВЧ 50-2; составляет _____.

45. Установите соответствие вида чугуна его марке:

Вид чугуна:

- 1) Высокопрочный
- 2) Ковкий

Марка:

- А) СЧ35
- В) КЧ30-5
- С) ВЧ50-5

1 - ____; 2 - ____.

46. Установите соответствие марки чугуна форме графита в его структуре:

Марка:

- 1) СЧ35
- 2) КЧ30-5

Форма графита:

- А) шаровидная
- В) пластинчатая
- С) хлопьевидная

1 - ____; 2 - ____.

47. Легирующий элемент, обозначаемый буквой «С» в марке стали, это...

- А) кобальт
- В) кремний
- С) селен
- Д) свинец

48. Легирующий элемент, обозначаемый буквой «Г» в марке стали, это...

- А) молибден
- В) марганец

- C) медь
- D) вольфрам

49. Легирующий элемент, обозначаемый буквой «Н» в марке стали, это...

- A) натрий
- B) никель
- C) хром
- D) ниобий

50. Химический состав стали 20ХНЗА, – это...

- A) ~ 0,2 % C; не более 1,5 % Cr; 3 % Ni. Сталь высококачественная
- B) ~ 2 % C; не более 1,5 % Cr и Ni; ~ 3 % Ni
- C) ~ 0,02 % C; ~ 3 % Ni и ~ по 1 % Cr и Ni
- D) ~ 20 % C; не более 1,5 % Cr и около 3 % Ni

51. Среднее содержание углерода (%) в стали 20ХНЗА – это...

- A) 0,02
- B) 0,20
- C) 2,00
- D) 20,00

52. Сталь, относящаяся к классу конструкционных, – это сталь...

- A) P18
- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 60СГ

53. Среднее содержание углерода (%) в стали 9ХС – это...

- A) 0,09
- B) 0,90
- C) 9,00
- D) в этой стали углерода нет

54. Сталь, относящаяся к классу инструментальных, – это...

- A) P18

- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 60СГ

55. Красностойкость быстрорежущих сталей – это...

- A) устойчивость против высокотемпературной коррозии
- B) способность сталей к пластической деформации при высоких температурах
- C) способность сталей противостоять отпуску
- D) способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве

56. Инструментальные стали – это...

- A) 38ХН3МФ, 65Г
- B) 40ХН2МА, А22
- C) Р9, У10
- D) ШХ15, 40Х

57. Технологический метод, применяемый для получения твердых сплавов, – это...

- A) обработка сверхвысоким давлением в сочетании с высоким нагревом
- B) порошковая металлургия
- C) литье с последующей термической обработкой
- D) термомеханическая обработка

58. Сталь, относящаяся к классу шарико-подшипниковых, – это сталь...

- A) Р18
- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 60СГ

59. Сталь, относящаяся к классу рессорно-пружинных, – это сталь...

- A) Р18
- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 60С2А

60. Сталь, относящаяся к классу пружинных, – это сталь...

- A) P18
- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 60СГ

61. Сталь, относящаяся к классу коррозионностойких, – это сталь...

- A) P18
- B) 45ХН
- C) ШХ15
- D) 12Х13

62. Жаростойкость металла (сплава)– это...

- A) сопротивление часто чередующимся нагреву и охлаждению
- B) сопротивление коррозионному воздействию газа при высоких температурах
- C) способность сохранять структуру мартенсита при высоких температурах
- D) способность длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах

63. Жаропрочность металла (сплава) – это...

- A) сохранение структуры мартенсита при высоких температурах
- B) сопротивление коррозионному воздействию газа при высоких температурах
- C) сопротивление деформированию и разрушению при повышенных температурах
- D) сопротивление часто чередующихся нагрева и охлаждения

64. Кобальт в твердом сплаве играет роль...

- A) связующего компонента. Увеличивает вязкость сплава
- B) увеличивает износостойкость сплава
- C) увеличивает твердость сплава
- D) увеличивает красностойкость сплава

65. Карбид вольфрама (WC), входящий в состав твердых сплавов, обеспечивает...

- A) вязкость сплава
- B) твердость сплава
- C) прочность сплава
- D) упругость сплава

66. Название и химический состав Т15К6 – это...

- A) сталь. Содержит более 1 % углерода, 15 % титана, 6 % кобальта
- B) медный сплав. Содержит 15 % тантала, 6 % кремния, остальное – медь
- C) алюминиевый сплав. Состав устанавливается по ГОСТу
- D) твердый сплав. Содержит 15 % карбида титана, 6 % кобальта, 79 % карбида вольфрама

67. Свойство, которым должны обладать материалы, устойчивые к абразивному изнашиванию, – это...

- A) вязкая матрица
- B) высокая твердость поверхностного слоя
- C) неустойчивость к циклическим нагрузкам
- D) высокая прокаливаемость

68. Сплав, который рекомендуется для изготовления шестерни, - это...

- A) ВЧ120
- B) Ст5
- C) 40Х9С2М
- D) 20ХН

69. Содержание вольфрама и ванадия (W и V) (%) в быстрорежущей стали Р18К5Ф2 – это...

- A) в этой стали вольфрама нет, V = 5 %
- B) W = 2 %, V = 18 %
- C) W = 18 %, V = 2 %
- D) W = 18 %, V = 5 %

70. Детали и конструкции, которые изготавливают из сталей марок 50Г, 50С2, 60С2ХФА, – это...

- A) пружины и рессоры
- B) кузова автомобилей

- С) зубчатые колеса
- Д) режущий инструмент

71. **Сталь, легированная марганцем, – это...**

- А) У7А
- В) 40ХНМА
- С) Р18
- Д) 18Г2АФ

72. **Установите соответствие** детали материалу для изготовления этой детали:

Деталь:

- 1) Шестерня коробки передач
- 2) Коленчатый вал двигателя

Материал детали:

- А) СЧ35
- В) 18ХГТ
- С) ВЧ60

1 - ____; 2 - ____.

73. **Установите соответствие** детали материалу для изготовления этой детали:

Деталь:

- 1) Подшипник качения
- 2) Рессора

Материал детали:

- А) СЧ35
- В) 55СГ
- С) ШХ15

1 - ____; 2 - ____.

74. **Установите соответствие** детали материалу для изготовления этой детали:

Деталь:

- 1) Лемех плуга
- 2) Фреза

Материал детали:

- А) Р6М5
- В) 67Г
- С) ШХ15

1 - ____; 2 - ____.

75. **Дополните:**

Число 18 в марке стали Р18 обозначает содержание (%) легирующего элемента _____.

76. **Установите соответствие** легирующего элемента его обозначению в марках легированных сталей:

<i>Легирующий элемент:</i>	<i>Его обозначение:</i>
1) Кремний	А) С
2) Никель	В) Н
	С) К

1 - ____; 2 - ____.

77. Дополните:

Способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве называется _____.

78. Дополните:

Сопротивление металлов (сплавов) коррозионному воздействию газа при высоких температурах называется _____.

79. Дополните:

Сопротивление деформированию и разрушению металлов (сплавов) при повышенных температурах называется _____.

80. Свойства, которые характеризуют медь, – это...

А) низкая $t_{пл}$ (651 °С), низкая электропроводность, низкая плотность (1740 кг/м³)

В) низкая $t_{пл}$ (327 °С), низкая электропроводность, высокая плотность (11 600 кг/м³)

С) высокая $t_{пл}$ (1083 °С), высокая электропроводность, высокая плотность (8940 кг/м³)

Д) высокая $t_{пл}$ (1665 °С), низкая электропроводность, низкая плотность (4500 кг/м³)

81. Латунь – это сплав...

А) меди с цинком

В) железа с никелем

С) меди с оловом

Д) алюминия с кремнием

82. Название и химический состав сплава марки Л62 – это...

А) литейная сталь, содержащая 0,62 % С

В) литейный алюминиевый сплав, содержащий 62 % А1

С) латунь, содержащая 62 % Сu

Д) сплав бронзы с медью, содержащий 62 % бронзы

83. Сплавы меди с другими элементами, в числе которых, но только наряду с другими, может быть и цинк, – это...

- A) бронзы
- B) латуни
- C) инвары
- D) баббиты

84. Сплав, относящийся к бронзам, – это...

- A) Л70
- B) Д16
- C) БрАЖ 9-4
- D) ВТ5

85. Класс, к которому относится бронза марки БрОЦ 4-3 - это ... бронза...

- A) кремнистая
- B) бериллиевая
- C) оловянная
- D) алюминиевая

86. Название и химический состав сплава марки Д16 – это...

- A) баббит, содержащий 16 % олова
- B) латунь, содержащая 16 % цинка
- C) сталь, содержащая 16 % меди
- D) деформируемый алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой – дуралюмин. Состав устанавливают по стандарту.

87. Сплав, относящийся к силуминам, – это...

- A) АЛ4
- B) Д16
- C) Л70
- D) БрОФ 6,5-0,15

88. Литейный сплав системы Al-Si – это...

- A) дуралюмин
- B) латунь
- C) бронза
- D) силумин

89. Сплав, относящийся к дуралюминам, – это...

- A) АЛ4
- B) Д16
- C) Л70
- D) БрОФ 6,5-0,15

90. Элементы, образующие сплав, называемый дуралюмином, – это...

- A) алюминий, медь, магний и марганец
- B) медь и цинк
- C) алюминий и кремний
- D) медь и другие элементы

91. Элементы, образующие сплав, называемый силумином, – это...

- A) алюминий, медь, магний и марганец
- B) медь и цинк
- C) алюминий и кремний
- D) медь и другие элементы

92. Способ упрочнения изделия из сплава Д16 – это:

- A) закалка и отпуск
- B) закалка и старение
- C) закалка
- D) старение

293. Баббит – это...

- A) латунь с двухфазной структурой
- B) литейный алюминиевый сплав
- C) антифрикционный сплав
- D) деформируемый алюминиевый сплав

94. Сплав, относящийся к антифрикционным сплавам, – это...

- A) АЛ4
- B) Д16
- C) Л70
- D) Б83

95. Установите соответствие марки сплава основному компоненту сплава:

Марка сплава:

- 1) В95
- 2) БрОЦ 4-3

Основной компонент сплава:

- А) магний
- В) алюминий
- С) медь

1 - ____; 2 - ____.

96. **Нихром – это материал:**

- А) жаростойкий сплав на основе никеля
- В) диэлектрический материал
- С) железоникелевый сплав с высокой магнитной проницаемостью техники
- Д) высокохромистый инструментальный материал

97. **Назначение нихрома – это:**

- А) использование для изготовления нагревательных элементов
- В) использование для изготовления электроизоляторов
- С) использование в слаботочной технике
- Д) использование для изготовления штампового инструмента

98. **Класс электротехнических материалов, к которым относят медь – это...**

- А) диэлектрические материалы
- В) полупроводниковые материалы
- С) проводниковые материалы
- Д) магнитные материалы

99. **Класс материалов, к которым относят пластмассы – это...**

- А) диэлектрические материалы
- В) полупроводниковые материалы
- С) проводниковые материалы
- Д) магнитные материалы

100. **Класс электротехнических материалов, к которым относят кремний – это...**

- А) диэлектрические материалы

- В) полупроводниковые материалы
- С) проводниковые материалы
- Д) магнитные материалы

101. Класс электротехнических материалов, к которым относят электротехническую сталь – это...

- А) диэлектрические материалы
- В) полупроводниковые материалы
- С) проводниковые материалы
- Д) магнитные материалы

102. Материалы, из которых изготавливают статоры и роторы электродвигателей, – это...

- А) нержавеющие хромоникелевые стали
- В) магнитномягкие материалы
- С) магнотвердые материалы
- Д) трансформаторные стали

103. Материалы, которые применяются для изоляции токопроводящих частей, – это...

- А) диэлектрические материалы
- В) полупроводниковые материалы
- С) проводниковые материалы
- Д) магнитные материалы

104. Материал, который относится к терморезистивным полимерам, – это:

- А) полистирол
- В) поливинилхлорид
- С) эпоксидная смола
- Д) полиэтилен

105. Материал, который относится к термопластичным полимерам, – это:

- А) латунь
- В) эпоксидная смола
- С) фенолоформальдегидная смола
- Д) полиэтилен

106. **Материал, изготавливаемый на основе полимеров, – это...**

- А) стекло
- В) сталь
- С) пластмасса
- Д) керамика

107. **Характерная особенность термопластичных полимерных материалов – это...**

- А) обратимо затвердевают в результате охлаждения без участия химических реакций
- В) имеют редкосетчатую структуру макромолекул
- С) формуются при повышенных температурах
- Д) необратимо затвердевают в результате химических реакций

108. **Характерная особенность терморезистивных полимерных материалов – это...**

- А) в их состав включены наполнители
- В) обратимо затвердевают в результате охлаждения без участия химических реакций.
- С) имеют линейную или разветвленную структуру макромолекул
- Д) необратимо затвердевают в результате химических реакций

109. **Обозначение полиэтилена низкой плотности, – это...**

- А) ПЭВП
- В) ПЭНП
- С) ПП
- Д) ПС

110. **Установите соответствие класса материала его названию:**

Класс материала:

Название материала:

- 1) Проводник
- 2) Диэлектрик

- А) резина
- В) кремний
- С) медь

1 - ____; 2 - ____.

111. Установите соответствие класса материала его названию:

Класс материала:

- 1) Проводник
- 2) Полупроводник

Название материала:

- А) резина
- В) кремний
- С) медь

1 - ____; 2 - ____.

112. Установите соответствие вида полимера его названию:

Вид полимера:

- 1) Термопласт
- 2) Реактопласт

Название полимера:

- А) полиэтилен
- В) эпоксидная смола
- С) резина

1 - ____; 2 - ____.

113. Установите правильную последовательность проводниковых металлов, соответствующую возрастанию их электропроводности:

- А) алюминий
- В) железо
- С) медь
- Д) серебро

114. Горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы, – это...

- А) хвосты
- В) руда
- С) пустая порода
- Д) флюс

115. Печь, в которой выплавляют высококачественную сталь, – это...

- А) шахтная печь
- В) электропечь
- С) мартеновская печь
- Д) доменная печь

116. Печь, в которой выплавляют чугун, – это...

- A) шахтная печь
- B) электропечь
- C) мартеновская печь
- D) доменная печь

117. Минерал, который используется для производства алюминия, – это...

- A) боксит
- B) куприт
- C) железняк
- D) известняк

118. Минерал, который используется для производства железа, – это...

- A) боксит
- B) магнезит
- C) магнетит
- D) малахит

119. Минерал, который используется для производства меди, – это...

- A) боксит
- B) гематит
- C) доломит
- D) халькопирит

120. Важнейшее свойство металлургического топлива – это...

- A) влажность
- B) зольность
- C) теплотворная способность
- D) химический состав

121. Основное назначения флюса при выплавке чугуна – это...

- A) связывание пустой породы и перевод её и золы кокса в шлак
- B) повышение жидкотекучести чугуна
- C) повышение температуры шихты в зоне распара

D) раскисление чугуна

122. Способ обогащения железных руд – это...

- A) гравитационное обогащение
- B) магнитная сепарация
- C) промывка
- D) флотация

123. Способ обогащения медных руд – это...

- A) гравитационное обогащение
- B) магнитная сепарация
- C) промывка
- D) флотация

124. Metallургическое топливо, обладающее наибольшей теплотворной способностью, – это...

- A) каменный уголь
- B) кокс
- C) мазут
- D) природный газ

125. Минерал, применяемый в качестве флюса в металлургическом производстве, – это...

- A) глинозем
- B) известняк
- C) кварцевый песок
- D) халькопирит

126. Материал, который используют для легирования и раскисления стали, – это...

- A) литейный чугун
- B) передельный чугун
- C) ферросплав
- D) шлак

127. Печь, в которой получают алюминий – это...

- A) мартеновская печь
- B) конвертер
- C) электрическая дуговая печь

D) электролизер

128. Дополните:

Горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы, называется _____.

ГЛАВА III. ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ТЕМА 10. ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

10.1. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Термической называют обработку, связанную с нагревом и охлаждением металла с целью изменения его структуры и свойств.

Температурные режимы термообработки сталей связаны с диаграммой Fe-Fe₃C. Равновесные температуры, отвечающие положению линий *PSK*, *GS* и *SE* диаграммы, обозначают A_1 , A_3 и A_m соответственно (рис. 18). При нагреве равновесные температуры превращений обозначают: перлита в аустенит – A_{c1} ; превращений, связанных с получением однофазной аустенитной структуры, – A_{c3} (для доэвтектоидных сталей), A_{cm} (для заэвтектоидных). При обычных скоростях нагрева неравновесные температуры на 30...50 °С выше соответствующих равновесных.

В зависимости от склонности аустенитного зерна при нагреве к росту различают *наследственно крупнозернистые* (зерно склонно к росту) и *наследственно мелкозернистые* (зерно не склонно к росту) стали. Свойства стали, возникшие в результате той или иной обработки, определяются реально образовавшимся зерном – действительным зерном. Наследственная зернистость должна учитываться при назначении режимов обработки, влияющей на размер получаемого действительного зерна, например, при закалке, отжиге.

Охлаждение стали при термической обработке производят с различной скоростью (рис. 42). При этом аустенит будет претерпевать превращения в зависимости от степени переохлаждения, что определяет вид термической обработки.

Основными видами термической обработки сталей являются отжиг (первого и второго рода), нормализация, закалка, отпуск (рис. 42).

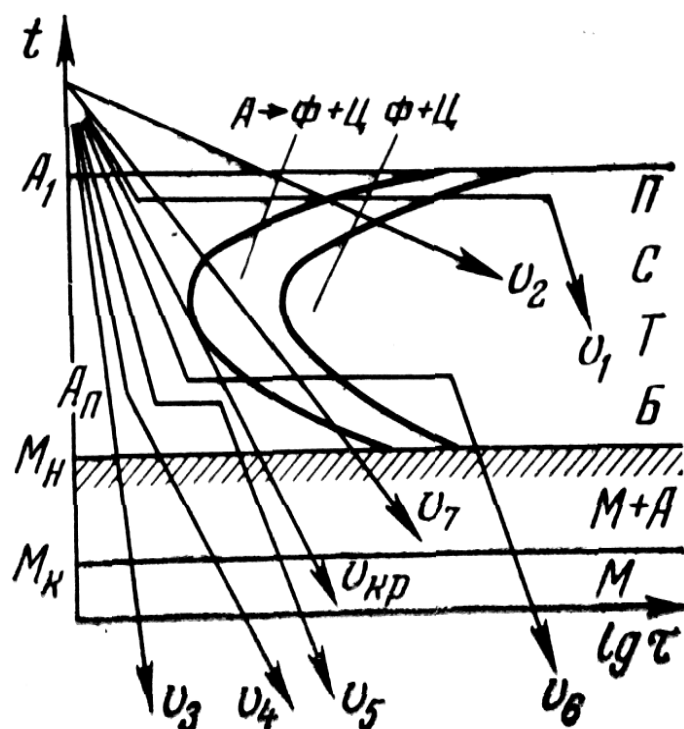


Рис. 42. Скорости охлаждения при термической обработке:
 v_1 – изотермический отжиг; v_2 – нормализация;
 v_3 – закалка в одной среде; v_4 – закалка в двух средах;
 v_5 – ступенчатая закалка; v_6 – изотермическая закалка;
 v_7 – неполная закалка; $v_{кр}$ – критическая скорость закалки.

10.2. ОТЖИГ И НОРМАЛИЗАЦИЯ

Отжиг состоит в нагреве металла, выдержке и последующем медленном охлаждении (вместе с печью). Отжиг приближает металл к равновесию.

Отжиг первого рода проводят для получения более равновесной, чем исходная, структуры, не связывая эту цель с наличием или отсутствием фазовой перекристаллизации. Примерами отжига первого рода являются рекристаллизационный отжиг, диффузионный отжиг.

При рекристаллизационном отжиге деформационно упрочненный металл нагревают несколько выше температурного порога рекристаллизации (рис. 43).

В результате отжига материал приобретает такие же механические свойства, какие он имел до деформации.

Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг проводят при нагреве до высоких температур ($0,8 \dots 0,9 T_{пл}$), предполагающих интенсивную диффузию атомов. Такому отжигу подвергают, например, отливки для устранения дендритной ликвации (гомогенизации сплава).

При отжиге второго рода непременно протекает, хотя бы частичная, фазовая перекристаллизация. К отжигу второго рода относятся неполный отжиг, полный отжиг.

При неполном отжиге нагрев ведут до температуры A_{c1} (ниже A_{c3} или A_{cm}). Происходит частичная перекристаллизация сплава (меняется перлитная составляющая). Чаще неполный отжиг применяют для заэвтектоидных сталей (сфероидизирующий отжиг). В результате неполного отжига цементит приобретает округленную или зернистую форму. Неполный отжиг снижает твердость и улучшает обрабатываемость инструментальных сталей.

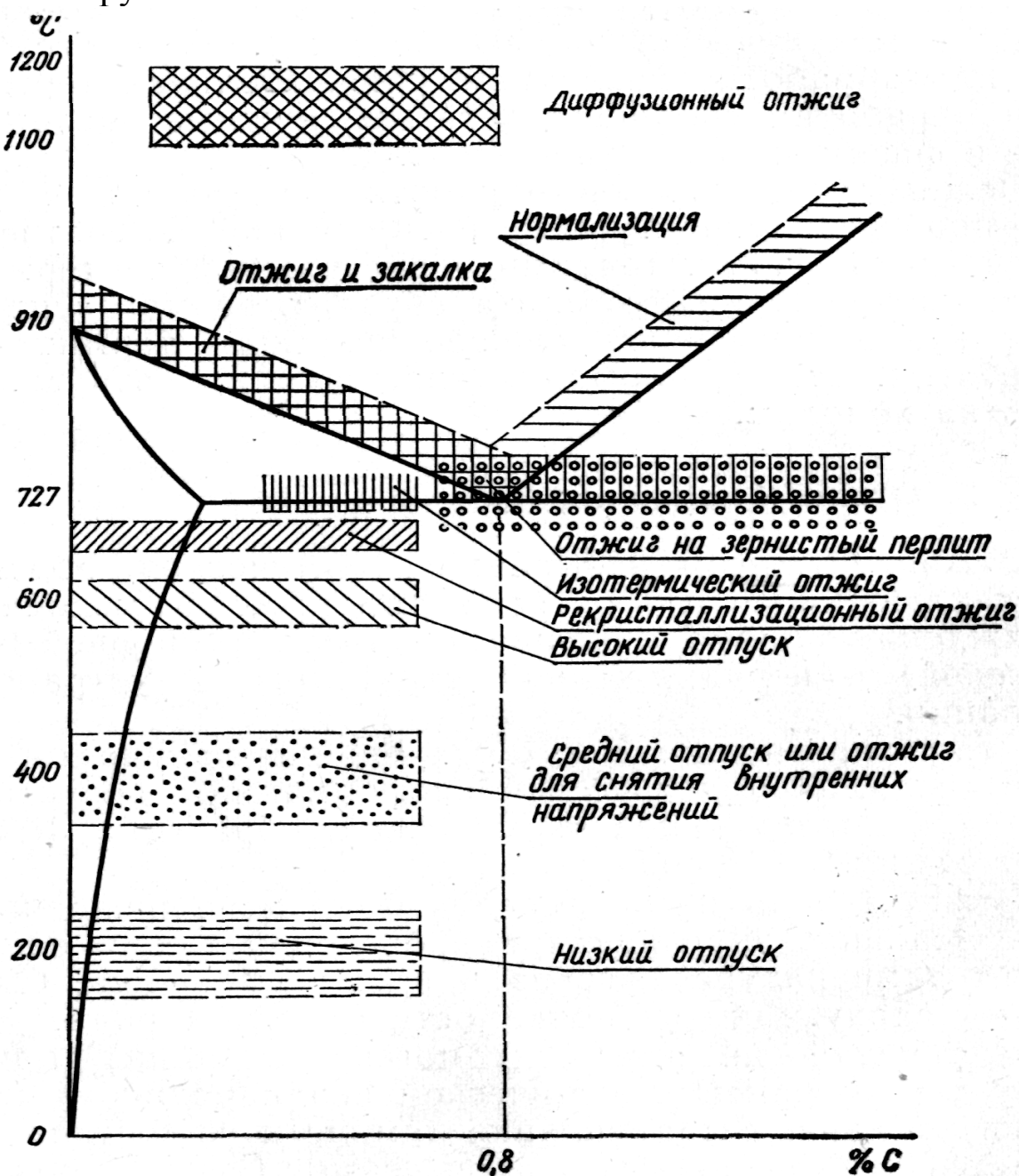


Рис. 43. Температура нагрева стали при различных видах термической обработки

При полном отжиге доэвтектоидную сталь нагревают до A_{c3} . Происходит полная перекристаллизация сплава. В результате полного отжига получается равновесная, свободная от внутренних напряжений, мягкая и вязкая структура.

При *нормализации* сталь нагревают до аустенитного состояния (на 30...50 °С выше линии GSE), выдерживают и охлаждают на воздухе. После нормализации сталь приобретает мелкозернистую и однородную структуру. Нормализацией снимают внутренние напряжения, повышают механические свойства сталей. Для низкоуглеродистой стали нормализация может заменить отжиг, а для средне- и высокоуглеродистой стали – закалку с высоким отпуском. Она является экономичной и производительной операцией и широко распространена в машиностроении.

10.3. ЗАКАЛКА

Закалка состоит в нагреве сплавов выше температур фазовых превращений и последующем быстром охлаждении с целью сохранения неустойчивых (метастабильных) структур, появление которых вызывает повышение твердости и прочности.

Применительно к сталям нагрев при закалке обычно ведут до температуры A_{c3} (доэвтектоидные стали) и A_{c1} (заэвтектоидные стали). Если нагрев ведется до температур A_{c3} или A_{cm} , то такая закалка называется полной, если до A_{c1} – неполной.

Для доэвтектоидной стали наивысшую твердость получают при полной закалке. Неполная закалка вследствие наличия мягкого феррита в структуре стали не может обеспечить получения высокой твердости.

Для заэвтектоидной стали наилучшие результаты получают при неполной закалке, так как после охлаждения образуется структура мартенсита с включениями вторичного цементита, который повышает твердость и износостойкость стали. Полная закалка для этих сталей (нагрев выше линии SE) вызывает перегрев и лишние термические напряжения, а твердость даже снижается за счет растворения цементита и наличия остаточного аустенита.

Нагрев стали проводят в печах или в ваннах с расплавленными солями. Нагревательная среда оказывает большое влияние на состояние поверхностного слоя детали. При нагреве в печи поверхностный слой стали окисляется и обезуглероживается. Для предотвращения

этого нагрев желательно проводить в искусственно создаваемой защитной атмосфере.

В зависимости от скорости охлаждения существуют два принципиально различных способа закалки – закалка на ферритно-цементитные смеси и закалка на мартенсит. При охлаждении со скоростью ниже критической, то есть такой минимальной скорости, которая необходима для образования мартенсита, возникают структуры перлитного типа (перлит, сорбит, троостит, бейнит). Сорбит и троостит отличаются от перлита и друг от друга степенью дисперсности (троостит дисперснее сорбита, а последний – перлита). Чем структура дисперснее, тем выше ее механические свойства.

Охлаждение со скоростью выше критической ведет к превращению аустенита в мартенсит. Суть превращения состоит в перестройке кристаллической решетки аустенита (ГЦК) в решетку феррита (ОЦК). При этом углерод, растворенный в аустените, оказывается полностью в решетке феррита. Таким образом, мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в феррите. Кристаллическая решетка мартенсита – тетрагональная (искаженная решетка феррита с увеличенным параметром c).

Если при полной закалке (полном отжиге) охлаждение нагретой заготовки ведут на спокойном воздухе, то такая термическая обработка называется *нормализацией*.

Мартенситное превращение не захватывает всю аустенитную структуру. Часть аустенита сохраняется в закаленной стали. Такой аустенит называют остаточным. Количество остаточного аустенита определяется режимами термической обработки и зависит от температуры начала и конца мартенситного превращения.

Мартенсит – самая твердая структура, образующаяся при термообработке сталей. Чем больше в нем углерода, тем он тверже.

Мартенсит – термодинамически неустойчивая структура. Нагрев, повышая подвижность атомов, приводит к образованию более устойчивых структур (троостита, сорбита, перлита). С повышением температуры снижается твердость и возрастает пластичность сплава.

Охлаждение при закалке производят в различных средах: воде, растворах солей в воде, минеральном масле, на спокойном воздухе. Наивысшей охлаждающей способностью обладают солевые растворы и вода. Охлаждение в масле происходит значительно медленнее. Охлаждающая среда оказывает влияние на *закаливаемость* и *прокаливаемость* стали данной марки.

Закаливаемость – это способность металла повышать твердость при закалке. *Прокаливаемость* – это глубина, на которую распространяется закаленная область. При сквозной прокаливаемости свойства материала однородны и достаточно высоки по всему сечению. Количественно прокаливаемость оценивается критическим диаметром, под которым понимают наибольший диаметр прутка, прокаливающегося насквозь (в центре возникает полумартенситная структура, состоящая на 50 % из троостита и на 50 % из мартенсита) в данном охладителе. Чем больше скорость теплоотвода (охлаждения), тем на большую глубину прокаливается изделие. Поэтому критический диаметр при охлаждении в воде больше, чем в масле, и тем более больше, чем на воздухе. Особенно сильно увеличивают прокаливаемость сталей легирующие элементы (кроме кобальта), растворенные в аустените. Критический диаметр зависит от критической скорости закалки. Чем скорость меньше, тем больше диаметр.

В практике используют различные способы закалки в зависимости от требуемых свойств изделия и марки стали. Они отличаются друг от друга процессом охлаждения.

Закалка в одном охладителе наиболее простой способ охлаждения и применяется для деталей несложной формы. Нагретую деталь погружают в закалочную жидкость, где она остается до полного охлаждения. Для углеродистых сталей диаметром более 5 мм закалочной средой служит вода, а для деталей меньших размеров – масло.

Закалка в двух средах применяется для деталей более сложной формы. Нагретую деталь вначале охлаждают в воде, а затем переносят в масло. При этом мартенситный интервал проходят при сравнительно медленном охлаждении. Обычно этот способ используют при закалке инструментов.

Закалка с самоотпуском проводится в одном охладителе и прерывается, когда сердцевина имеет еще значительное количество тепла. За счет этого тепла поверхностные слои нагреваются, и их вязкость повышается. Такую закалку применяют для ударного инструмента (зубила, керны, кузнечный инструмент и др.).

Ступенчатая закалка выполняется при охлаждении нагретой детали в охладителе, имеющем температуру на 30...50 °С выше $M_{н}$, и выдержке для выравнивания температуры по всему сечению изделия. Время выдержки должно быть меньше времени устойчивости аустенита при этой температуре. После выдержки (в расплаве солей или металлов) деталь охлаждают медленнее, что способствует уменьше-

нию закалочных напряжений. Этот способ применяется для закалки изделий диаметром 10...30 мм.

Изотермическая закалка отличается от ступенчатой закалки выдержкой в закалочной среде до окончания превращения аустенита. В результате изотермического распада аустенита образуется структура бейнит, сталь обладает меньшей твердостью и повышенной вязкостью.

В ряде случаев применяют закалку, при которой высокому нагреву подвергают лишь поверхностный слой материала (*поверхностная закалка*). В результате поверхностной закалки изделие приобретает высокую поверхностную твердость, сердцевина же остается вязкой. Широко применяют закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Чем выше частота тока, тем тоньше слой, в котором индуцируются токи, и тем тоньше окажется закаленный слой.

Преимущества закалки ТВЧ: высокая производительность, минимальные коробления, возможность регулирования глубины закаленного слоя и полной автоматизации процесса.

Пламенная поверхностная закалка выполняется при нагревании поверхности детали пламенем газовых или кислородно-ацетиленовых горелок. Данный метод применяют главным образом для закалки изделий с большой поверхностью, при индивидуальном производстве или ремонте. Толщина закаленного слоя достигает 2...4 мм.

10.4. ОТПУСК

Термическая обработка, состоящая в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_{c1} , выдержке и последующем охлаждении с произвольной скоростью, называется *отпуском*. Отпуск стали выполняется после закалки для частичного или полного устранения внутренних напряжений, повышения вязкости и пластичности, уменьшения ее твердости и хрупкости. Чем выше нагрев, тем в большей степени структура приближается к равновесной. Различают три вида отпуска: низкий ($t = 150...250\text{ }^{\circ}\text{C}$), средний ($t = 350...450\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокий ($t = 500...680\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При *низком отпуске* закаленную сталь нагревают до температур 150...200 °С. При этих температурах в отдельных участках мартенсита выделяются тончайшие пластины карбидов железа. Однако при указанной температуре кристаллы не растут. Скорость диффузии мала и концентрация не успевает выравниваться. После соответствующей

щей выдержки и охлаждения в детали получают структуру *отпущенного мартенсита*, при этом частично снимаются внутренние напряжения. Низкий отпуск применяют для инструментальных сталей и деталей, которые должны сохранить поверхностную твердость после закалки.

При *среднем отпуске* сталь нагревают до 350...400 °С. Скорость диффузии увеличивается, и весь избыточный углерод выделяется из γ -решетки, карбидные частички обособляются и начинают расти. Образующаяся мелкозернистая смесь феррита и цементита называется трооститом отпуска.

После такого отпуска в изделиях получается сочетание сравнительно высокой твердости (HRC 40...50) и прочности с хорошей упругостью и вязкостью. Среднему отпуску подвергают пружины, ресоры, ударные инструменты.

При *высоком отпуске* сталь нагревают до температур 500...680 °С. При этой температуре частички карбида растут и коагулируются. Такая структура называется сорбитом отпуска. Высокий отпуск применяют для деталей машин, работающих при знакопеременных и ударных нагрузках.

Сочетание закалки и высокого отпуска называют *улучшением*, а стали, предназначенные для такой обработки (среднеуглеродистые стали), – улучшаемыми.

В некоторых случаях нагрев при отпуске заменяют длительной выдержкой при нормальной температуре. Такая обработка называется *старением*. Если старение проводят с небольшим нагревом, то его называют искусственным.

Обычно при среднем отпуске образуется трооститная структура, при высоком – сорбитная. От одноименных структур закалки троостит и сорбит отпуска отличается тем, что цементитные частицы в них имеют зернистую форму (в структурах закалки – пластинчатую).

К термической обработке примыкает так называемая *термомеханическая обработка* сплавов. Термомеханической обработкой (ТМО) называют процесс изменения строения и свойств сплава за счет сочетания пластической деформации и термической обработки. При этом фазовые превращения в сплаве происходят под влиянием предварительного наклепа промежуточной метастабильной структуры (аустенита или мартенсита). ТМО повышает прочностные характеристики стали при незначительном снижении пластичности и удар-

ной вязкости. В зависимости от температуры, при которой деформируют деталь, различают высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) термомеханическую обработку.

ТЕМА 11. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-термической обработкой (ХТО) называют процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя сплавов. При этом повышается поверхностная твердость, износостойкость, усталостная прочность, жаростойкость и коррозионная стойкость деталей.

В основе ХТО лежат процессы диссоциации, абсорбции и диффузии.

Диссоциация связана с получением насыщающего элемента в активном атомарном состоянии. *Абсорбция* – накопление поверхностью детали атомов насыщающего элемента. В результате *диффузии* происходит перемещение атомов в глубь изделия.

К химико-термической обработке относятся цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

11.1. ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Цементацией называется процесс насыщения стали углеродом для получения детали с твердой поверхностью и вязкой сердцевиной. Цементируют обычно изделия, работающие одновременно на истирание и удар, изготовленные из углеродистой и легированной стали с содержанием углерода 0,15...0,35 % С.

При цементации деталь нагревают в углеродсодержащих веществах до аустенитного состояния (880...1000 °С) и выдерживают длительное время, чтобы произошла диффузия углерода с поверхности в глубь изделия. Насыщают поверхностный слой до 0,8...1,2 %С на глубину до 3 мм. Средняя скорость цементации – 0,1 мм/ч.

После цементации поверхностный слой приобретает структуру эвтектоидной и заэвтектоидной стали. Необходимое упрочнение слоя достигается последующей закалкой и низким отпуском. После термообработки поверхностный слой изделия состоит из высокоуглеродистого мартенсита, сердцевина – из низкоуглеродистого вязкого мартенсита (при достаточной прокаливаемости) или сохраняет ферритно-перлитную структуру доэвтектоидной стали.

Вещества, применяемые для науглероживания, называются карбюризаторами. В зависимости от вида применяемого карбюризатора различают газовую и твердую цементацию.

Газовая цементация – наиболее производительный и прогрессивный метод науглероживания стали. Детали нагревают в герметичных печах в атмосфере углеродсодержащих газов (метан, природный газ, углекислый газ). При высокой температуре происходит диссоциация углерода ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$; $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$) и процесс насыщения аустенита атомарным углеродом.

Твердая цементация – старый метод ХТО. Детали упаковывают в металлические ящики, пересыпая их твердым карбюризатором – смесью древесного угля с активаторами (BaCO_3 , Na_2CO_3) и нагревают в печи. При температуре цементации углекислые соли легко распадаются с выделением углекислого газа $\text{BaCO}_3 \rightarrow \text{BaO} + \text{CO}_2$. Углекислый газ, вступая в реакцию с твердым углем карбюризатора, образует окись углерода $\text{CO}_2 + \text{C}_{\text{уг}} \rightarrow 2\text{CO}$. Окись углерода в присутствии железа разлагается на атомарный углерод и двуокись углерода $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$. Выделившийся атомарный углерод растворяется в аустените и диффундирует в глубь изделия.

Цементация твердым карбюризатором по сравнению с газовой требует больше времени, трудоемка и плохо поддается автоматизации. Однако простота осуществления делает данный метод доступным в условиях ремонтного производства.

11.2. АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотированием называют процесс насыщения поверхностного слоя стали азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости изделия. Этот процесс основан на способности железа при определенных условиях поглощать и растворять в себе атомарный азот. Азотированию подвергают легированную сталь, содержащую хром, молибден, алюминий, вольфрам. Повышение твердости и коррозионной устойчивости изделия достигается благодаря образованию в его поверхностном слое измельченных нитридов – химических соединений азота с металлом. Азотирование проводят в специальных герметичных печах при $500 \dots 520$ °С, в атмосфере аммиака, который при нагреве диссоциирует по реакции $2\text{NH}_3 = 2\text{N} + 6\text{H}$.

Атомарный азот поглощается поверхностью и диффундирует в глубь детали, образуя твердые растворы и химические соединения – нитриды (AlN , MoN и др.).

Глубина азотированного слоя 0,3...0,6 мм, при этом твердость поверхностного слоя достигает $HV\ 10000...12000\ MN/m^2$. Скорость азотирования составляет около 0,01 мм за час выдержки.

Азотирование проводят после закалки, высокого отпуска и окончательной механической обработки.

Азотирование имеет ряд преимуществ по сравнению с цементацией: обеспечивает более высокую твердость, которая сохраняется при более высоких температурах (600...650 °С); повышает предел усталости. Однако азотированный слой отличается значительной хрупкостью.

Азотированию подвергают шейки валов, клапаны, шестерни, шаблоны и др. В пищевом машиностроении применяют азотирование чаще всего для того, чтобы получить коррозионноустойчивый поверхностный слой, при этом не преследуется цель повышения его твердости. Такому азотированию могут подвергаться изделия из обычной углеродистой стали. Это так называемое антикоррозионное азотирование. Оно осуществляется обычно на глубину 0,02...0,04 мм при более высоких температурах и значительно меньших выдержках.

При антикоррозионном азотировании высокоуглеродистых сталей совмещают процесс азотирования и закалки. После выдержки при температуре азотирования изделия закаливают в воде или масле, а затем отпускают.

11.3. ЦИАНИРОВАНИЕ СТАЛИ

Цианированием называют процесс одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости. Этот вид ХТО занимает промежуточное место между цементацией и азотированием. Совместная диффузия углерода и азота происходит быстрее, чем каждого элемента в отдельности.

Цианирование бывает высокотемпературным (при 800...950 °С) и низкотемпературным (при 540...560 °С).

При высокотемпературном цианировании поверхность насыщается до 0,8...1,2 % С и 0,2...0,3 % N на глубину 1-2 мм за 5-6 часов. После цианирования изделие подвергают закалке и низкому отпуску.

В отличие от цементации при этом повышается и коррозионная стойкость изделия.

При низкотемпературном цианировании поверхность насыщают главным образом азотом на глубину 0,01...0,03 мм (выдержка до одного часа). Процесс применяют для обработки инструмента из быстрорежущей стали, прошедшей термическую обработку. При этом значительно повышается стойкость режущего инструмента.

Цианирование проводят в жидких или газовых средах.

Жидкое цианирование выполняют в ваннах с раствором цианистых солей (NaCN, KCN, Ca(CN)₂ и др.). При температуре протекания процесса эти соли разлагаются, выделяя активные атомы С и N, которые диффундируют в металл. Цианистые соли очень ядовиты, что является недостатком жидкого цианирования.

Газовое цианирование (нитроцементацию) проводят в смеси науглероживающих и азотирующих газов (углеродсодержащие газы и аммиак).

11.4. ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Диффузионной металлизацией называется процесс поверхностного насыщения слоя стали различными металлами с целью повышения износостойкости, коррозионной стойкостью и жаростойкости изделия. Наибольшее применение получили процессы алитирования, борирования, силицирования, диффузионного хромирования.

Алитирование (насыщение алюминием) применяют главным образом для повышения окалиностойкости деталей из низкоуглеродистых сталей, работающих при повышенной температуре (газоотводные трубы двигателей, камеры и т.д.). Толщина алитированного слоя достигает 0,4 мм за 6 часов. Высокая окалиностойкость объясняется образованием на поверхности прочной пленки окиси алюминия.

Борирование (насыщение бором) применяют для повышения твердости, износостойкости, теплостойкости и коррозионной стойкости изделия. На поверхности образуется слой толщиной до 0,2 мм (при выдержке 6...8 часов), состоящий из боридов железа и твердого раствора бора в феррите. Твердость борированного слоя на углеродистой стали достигает HV 20000 (Мн/м²).

Силицирование (насыщение кремнием) применяют для повышения жаростойкости, коррозионной стойкости, сопротивления износу. Процесс насыщения кремнием протекает при 1000...1200 °С, время выдержки 2...12 часов, толщина диффузионного слоя достигает 1 мм.

Хромирование (насыщение хромом) применяют для повышения кислотостойкости и коррозионной стойкости низкоуглеродистых сталей и для увеличения твердости и износостойкости средне- и высокоуглеродистой стали. Процесс хромирования ведут в течение 6...12 часов при 1000...1500 °С, твердость полученного слоя достигает HV 20000 Мн/м².

В промышленности хромирование применяют для упрочнения лопаток газовых турбин, деталей форсунок, насосов, поршневых колец, режущего инструмента и т.д.

Как и при других видах ХТО, диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

При твердой диффузионной металлизации металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH₄Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl₂ образуется летучее соединение хлора с металлом (AlCl₃; CrCl₂; SiCl₄ и т.д.), которое в результате контакта с металлической поверхностью диссоциирует с образованием свободных атомов.

Жидкую диффузионную металлизацию проводят погружением детали в расплавленный металл.

Газовую диффузионную металлизацию проводят в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Диффузионная металлизация является дорогостоящим процессом. Только особые свойства слоя и возможность экономии легирующих элементов обуславливают применение этого метода в промышленности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое мартенсит?
2. Какова цель термической обработки сплавов?
3. Перечислите виды отжига.
4. Какова цель отжига?
5. Как изменяется структура стали после нормализации?
6. Какой вид закалки рекомендован для доэвтектоидных сталей, а какой – для заэвтектоидных, и почему?
7. Что такое критическая скорость охлаждения при закалке?
8. В каких охлаждающих средах можно проводить закалку углеродистых и легированных сталей?
9. Дайте определение *закаливаемости* и *прокаливаемости* сталей.

10. Какой вид закалки рекомендуется проводить для получения высокой твердости поверхностного слоя с сохранением вязкой сердцевины? Какова технология этого вида закалки?
11. Какова цель отпуска закаленных сталей?
12. Перечислите виды отпуска и различия технологии их проведения.
13. Что такое *старение* стали?
14. Что такое термомеханическая обработка сплавов? Как изменяются механические свойства сплавов при ее проведении?
15. Назовите цели химико-термической обработки сплавов.
16. Какие химические процессы лежат в основе ХТО?
17. Какие свойства приобретает сталь после ее цементации?
18. Какие стали подвергают цементации?
19. Какую термическую обработку необходимо проводить после цементации стали?
20. Какие стали подвергают азотированию и в каких целях?
21. Как осуществляют процесс азотирования?
22. Какая термическая обработка сопровождает процесс азотирования?
23. Какие детали подвергают азотированию?
24. Что такое цианирование стали?
25. В каких средах проводят твердую, жидкую и газовую диффузионную металлизацию?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цели работы:

Практически ознакомиться с оборудованием и методикой термической обработки углеродистых сталей, изучить изменение структуры и свойств углеродистой стали в результате термической обработки.

Оборудование, инструменты и материалы:

1. Шахтная электрическая печь.
2. Металлографический микроскоп ЛабоМет-1.
3. Твердомер HBRV-187,5.
4. Клещи.
5. Закалочная среда.
6. Образцы углеродистой стали.
7. Альбом с фотографиями микроструктур.
8. Стенды и плакаты.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Термической обработкой стали называется технологический процесс, состоящий из нагрева стали до определенной температуры, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения с заданной скоростью. При термической обработке получают необходимые свойства стали, изменяя ее структуру без изменения химического состава.

Отжиг стали

Отжигом стали называют термическую обработку, при которой доэвтектоидную сталь нагревают выше критической точки A_{c3} , а заэвтектоидную – выше A_{c1} на 30...50 °С (рис. 43) и после выдержки медленно охлаждают в печи. При этом получают наиболее равновесные структуры: феррит с перлитом, перлит и перлит с цементитом. Основное назначение отжига – перекристаллизация зерна стали, снижение твердости и снятие внутренних напряжений.

Нормализация стали

Нормализацией стали называют нагрев доэвтектоидных сталей выше критической точки A_{c3} , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей – выше критической точки A_{c1} на 30...50 °С с непродолжительной выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. После нормализации углеродистые стали имеют ту же структуру, что и при отжиге, но перлитные смеси получаются более дисперсными, так как распад аустенита происходит при больших степенях переохлаждения. Цель нормализации – перекристаллизация зерна стали, снятие внутренних напряжений, подготовка стали к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработке. Нормализация – дешевый и простой вид термической обработки углеродистых сталей, содержащих менее 0,5...0,6 % С, при подготовке их к обработке резанием и может заменить отжиг. В заэвтектоидных сталях нормализация с температурой выше A_{cm} предназначена для устранения цементитной сетки.

Закалка стали

Закалкой стали называется термическая обработка, состоящая из нагрева доэвтектоидных сталей выше критической точки A_{c3} , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше A_{c1} на 30...50 °С, выдержки при данной температуре и последующего охлаждения со скоростью, больше критической, то есть минимальной скорости охлаждения, обеспечивающей превращение переохлажденного аустенита в мартенсит. При скорости охлаждения больше критической углерод не успевает выделиться из кристаллической решетки (в соответствии с ее перестройкой из γ -железа в α -железо), в результате чего образуется однофазный пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе, игольчатая структура, которая получила название мартенсита (рис. 44).

При этом наблюдаются значительные искажения пространственной решетки, создается высокая плотность дислокаций, в стали накапливается значительная внутренняя потенциальная энергия. Сталь приобретает высокую твердость, но ее пластичность при этом снижается.



Рис. 44. Микроструктура закаленной стали (мартенсит), $\times 500$

ВЫБОР РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Выбор режимов сводится к определению температуры нагрева стали, времени нагрева в печи, к выбору охлаждающей среды (скорости охлаждения).

Температура нагрева стали под *отжиг, нормализацию и полную закалку* ($T_{т.о}$) определяется:

для доэвтектоидных сталей из выражения:

$$T_{т.о} = A_{с3} + (30 \dots 50), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (16)$$

для эвтектоидной и заэвтектоидных сталей, а также при *неполной закалке* из выражения:

$$T_{т.о} = A_{с1} + (30 \dots 50) \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (17)$$

Значения $A_{с3}$, $A_{с1}$ и $A_{сm}$ определяются по диаграмме состояния Fe–C в зависимости от содержания углерода в сталях.

Время нагрева стали при отжиге, нормализации и закалке складывается из времени прогрева образцов до заданной температуры и времени выдержки при этой температуре.

Время на прогрев 1 мм толщины образца приводится в табл. 24.

Время выдержки после достижения установленной температуры берется равным 1–2 мин.

Время нагрева при термообработке (τ_n) определяется из выражения:

$$\tau_n = \tau_{\text{прогр.}} + \tau_{\text{выд.}} = \tau_{\text{уд.}} \cdot d + \tau_{\text{выд.}}, \quad (18)$$

где $\tau_{\text{вд}}$ – удельное время, приходящееся на единицу размера образца;

d – диаметр образца (мм);

$\tau_{\text{выд}}$ – время выдержки в печи; $\tau_{\text{выд}} = 1\text{--}2$ мин.

Таблица 24

*Ориентировочная продолжительность
нагрева изделий в электропечи*

Температура нагрева в °С	Форма изделия в сечении		
	круг	квадрат	пластина
	продолжительность нагрева в минутах		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	на 1 мм толщины
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

ВЫБОР СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Скорость охлаждения стали определяется, в основном, получением требуемой структуры. При отжиге сталь охлаждается медленно вместе с печью. При нормализации сталь охлаждается на спокойном воздухе. При закалке скорость охлаждения должна быть больше, и поэтому прибегают к использованию жидкостей. Охлаждающая способность основных закалочных сред приведена в таблице 25.

Таблица 25

Характеристика закалочных сред

Охлаждающие среды	Скорость охлаждения, °С в с в интервале	
	от $T_{\text{зак}}$ до $M_{\text{н}}$	от $M_{\text{н}}$ до 20 °С
Вода при $t = 20$ °С	600	200
Вода при $t = 28$ °С	500	200
10 % раствор NaCl при $t = 18$ °С	1100	300
Минеральное масло	120	30
Расплавленные соли при $t = 300$ °С	150	–
Спокойный воздух	3	1

ПРИМЕР РАСЧЕТА СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБРАЗЦА СТАЛИ МАРКИ 45:

Решение: для стали 45 по диаграмме Fe–C определяем температуру нагрева для заковки $A_{с3}$, которая составляет 830...860 °С. Температуру в точках M_H и M_K определяем по графику зависимости положения этих точек от концентрации углерода в стали (рис. 45):

$$M_H = 320 \text{ °С}; M_K = 90 \text{ °С}.$$

Выделяем два температурных диапазона:

1 – от $T_{\text{зак}}$ до M_H (от 850 °С до 320 °С);

2 – от M_H до $t_{\text{комн.}}$ (от 320 °С до 20 °С).

В качестве охлаждающей среды выбираем воду при $t = 20 \text{ °С}$.

Для данной охлаждающей среды время охлаждения в первом температурном диапазоне равно:

$$\frac{850 - 320}{600} = \frac{530}{600} = 0,9 \text{ с},$$

где 600 °С / с – скорость охлаждения (табл. 25).

Время охлаждения во втором температурном диапазоне равно:

$$\frac{320 - 20}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ с},$$

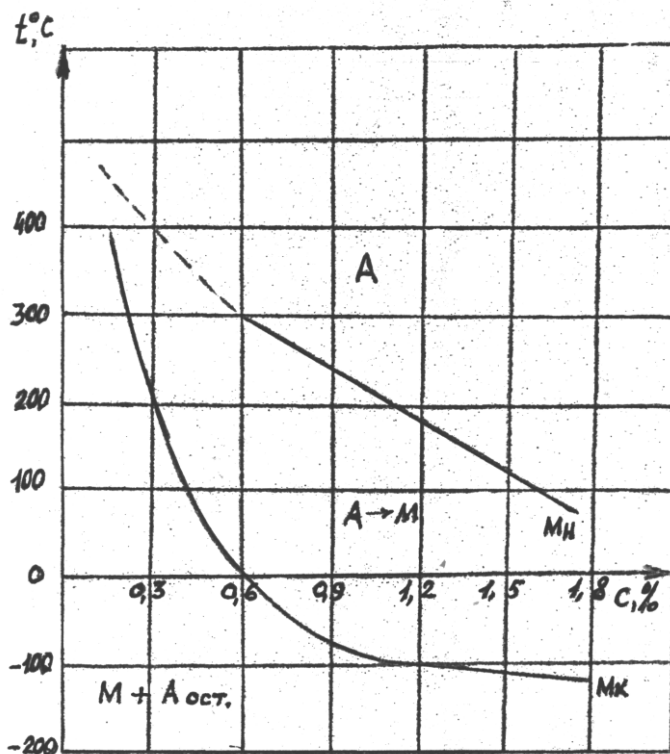


Рис. 45. Влияние содержания углерода на температуру начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения

Если при нанесении на С–образную диаграмму кривой охлаждения, последняя пересечет С–образную кривую начала распада аустенита, то расчет производят заново для более интенсивной охлаждающей среды.

Режим термообработки отображается графиком в координатах «температура–время» (рис. 46).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя образцы стали, напильником и наждачной бумагой зачистить их поверхности и штангенциркулем замерить размеры образцов, записав их в протокол (табл. 26).

2. Измерить твердость полученных и подготовленных образцов до термической обработки на одном из приборов Бринелля или Роквелла, и данные занести в протокол.

3. Определить по справочникам или по диаграмме Fe–С параметры режима термической обработки образцов.

4. Загрузить образцы в печь и после заданной выдержки последовательно поместить в охлаждающую среду.

5. После полного охлаждения измерить твердость образцов на одном из приборов. Полученные результаты сравнить с данными, предшествующими термообработке.

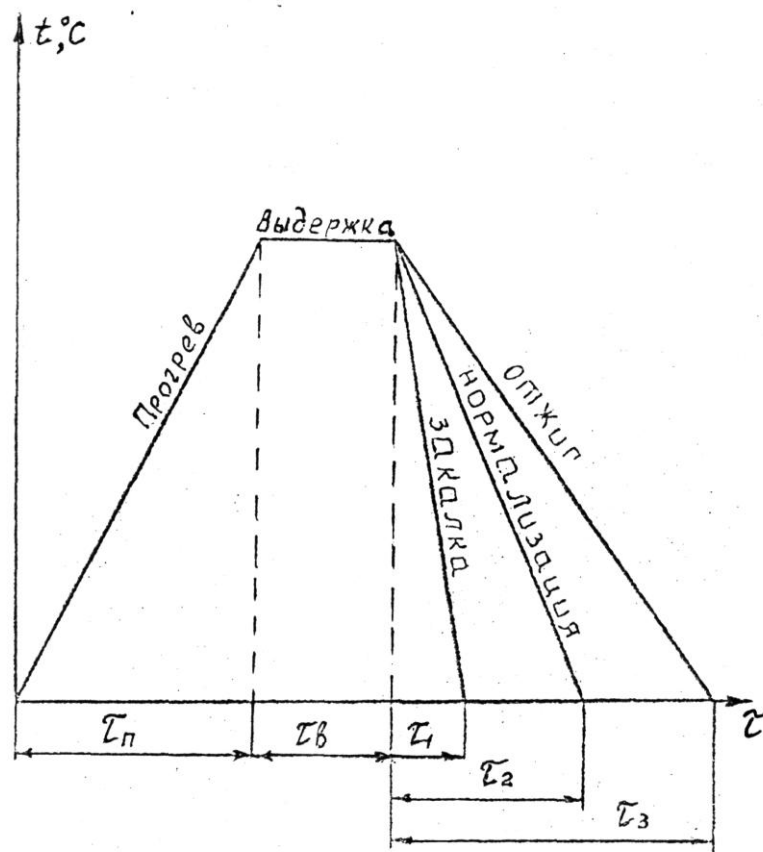


Рис. 46. График различных видов термической обработки:

- τ_p — время прогрева; τ_b — время выдержки;
- τ_1 — время охлаждения при закалке;
- τ_2 — время охлаждения при нормализации;
- τ_3 — время охлаждения при отжиге

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

В отчет необходимо включить: описание видов термообработки и их практическое применение; участок диаграммы состояния «Железо–углерод» для сталей и указать на ней область оптимальных температур нагрева для термической обработки; протокол результатов испытаний; построить график термической обработки в координатах температура – время; сделать вывод, указав влияние скорости охлаждения и температуры закалки на твердость стали; начертить структуры образцов стали до и после закалки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что называется термической обработкой?
2. Какие операции термической обработки применяются?
3. Что такое отжиг, нормализация и закалка?
4. Чем отличаются полная и неполная закалка?

5. Что называется критической скоростью закалки?
6. Как осуществляется изотермическая закалка, и когда она применяется?
7. Какие среды при закалке наиболее часто применяются? Назовите их характеристики.
8. Как влияет скорость охлаждения при закалке на структуру и свойства стали?
9. Что называется бейнитом и его свойства.
10. Что называется мартенситом и его свойства.
11. Какие дефекты возникают в стали при закалке, и как их устраняют?

Таблица 26

Протокол проведения термической обработки углеродистых сталей

№ образца	Размер образца (диаметр или толщина), мм	Марка стали	Температура нагрева, °С			Время нагрева, мин	Твердость стали, HRC			
			Отжиг	Нормализация	Закалка		до термической обработки	после отжига	после нормализации	после закалки

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

ОТПУСК ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ

Цели работы:

Изучить технологию отпуска и его влияние на структуру и свойства стали.

Оборудование, инструменты, материалы:

1. Шахтная электрическая печь.
2. Твердомер HBRV-187,5.
3. Микроскоп марки ЛабоМет-1.
4. Набор образцов стали.
5. Клещи.
6. Альбом микроструктур.
7. Стенды, плакаты.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

При подготовке к лабораторной работе необходимо хорошо уяснить назначение отпуска в технологическом процессе термообработки стальных изделий.

Поскольку эта операция является завершающей, а разновидностей отпуска существует три (низкий, средний, высокий) с широким интервалом температур от 150 °С до 650 °С, то студенты должны хорошо уяснить виды отпуска и уметь правильно ориентироваться в назначении каждого вида отпуска и в степени их влияния на структуру и свойства стали.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для закаленной стали характерны высокая твердость, низкие ударная вязкость, пластичность и предел упругости, высокие внутренние напряжения. Такая сталь малопригодна для использования. Для улучшения ее свойств в практике прибегают к дополнительной операции термообработки – отпуску, заключающемуся в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_{c1} с последующим охлаждением стали на спокойном воздухе (рис. 43).

При отпуске изменяются структура закаленной стали и ее свойства: повышается ударная вязкость, предел упругости, пластичность, снижаются внутренние напряжения и твердость.

В зависимости от температуры нагрева различают следующие виды отпуска: низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск – закаленные изделия нагревают и выдерживают в течение заданного времени в интервале температур 150...200 °С. Структура закаленной стали до отпуска состоит из тетрагонального мартенсита и остаточного аустенита, причем остаточный аустенит характерен для высокоуглеродистых сталей. В процессе низкого отпуска атомы углерода диффундируют из решетки тетрагонального мартенсита и образуют высокодисперсный карбид железа. Концентрация углерода в решетке мартенсита постепенно снижается, что приводит к снижению тетрагональности мартенсита. При этом образуется *мартенсит отпуска*, представляющий собой совокупность пересыщенного твердого раствора углерода в α -железе и высокодисперсного, не отделившегося от него карбида железа. Остаточный аустенит, если он есть, обнаруживается на шлифе в виде светлых полей между темными иглами мартенсита. Такая структура обеспечивает почти ту же твердость и износостойкость, как и после закалки, но при этом снижаются остаточные напряжения, повышаются ударная вязкость и пластичность.

Низкому отпуску подвергают режущий и измерительный инструмент, а также детали машин, подвергнутые поверхностной закалке, или закаленные после цементации или цианирования.

Средний отпуск – закаленные изделия нагревают и выдерживают в течение определенного времени при температурах 350...500 °С. В указанном интервале температур завершается диффузионное превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит, карбиды полностью обособляются от решетки мартенсита, укрупняется карбидно-ферритная смесь, и наблюдается дальнейшее снижение твердости. Завершается диффузия углерода из мартенсита, и уменьшаются остаточные напряжения. Структура среднеотпущенной стали состоит из *троостита отпуска*, представляющего собой мелкодисперсную смесь феррита с цементитом (рис. 47).

В результате среднего отпуска сталь приобретает повышенную прочность и упругость при твердости HB450...500. Среднему отпуску подвергают закаленные изделия, которые должны иметь максимальные упругие свойства при относительно высокой твердости: пружины, рессоры, ударный инструмент – зубила, штампы и т.д.

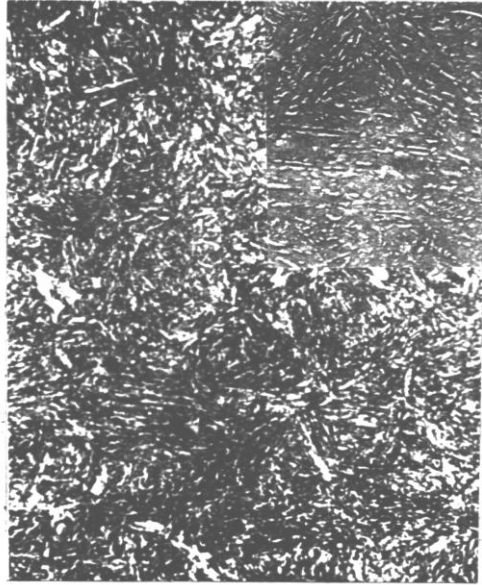


Рис. 47. Микроструктура троостита отпуска, $\times 1000$

Высокий отпуск – закаленные изделия нагревают в течение заданного времени в интервале температур 500...650 °С.

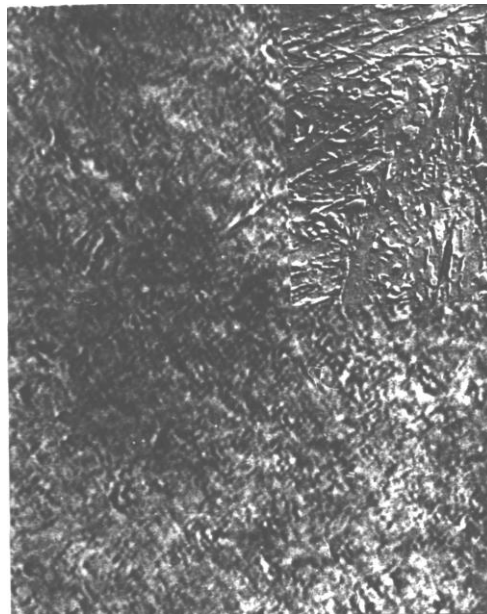


Рис. 48. Микроструктура сорбита отпуска, $\times 1000$

Процесс сопровождается укрупнением и округлением цементитных частиц в ферритной основе. С укрупнением цементита понижается твердость до HB250...300, внутренние напряжения, а пластичность и ударная вязкость значительно возрастают. В результате

высокого отпуска получается структура, называемая *сорбитом отпуска* (рис. 48).

Высокому отпуску подвергают детали, испытывающие ударные и знакопеременные нагрузки: шатуны двигателей, полуоси, оси автомобилей и тракторов, болты, пальцы, валы и многие другие детали.

Закалку и последующий высокий отпуск называют *улучшением стали*.

Выбор вида, а, следовательно, и температуры отпуска осуществляют, исходя из конкретных условий работы изделия: повышенный износ, статическая или динамическая нагруженность, наличие ударных перегрузок и т.д.

Процедура нагрева образцов стали при отпуске более продолжительная, так как температура при отпуске значительно ниже закалочной, а все механизмы превращений носят диффузионный характер.

Время нагрева (τ_n) образцов определяется из выражения:

$$\tau_n = \tau_{\text{прогр}} + \tau_{\text{выд}} = \tau_{\text{уд}} \cdot d + \tau_{\text{выд}}, \quad (19)$$

где $\tau_{\text{уд}}$ – время, требующееся на прогрев 1 мм размера образца, мин;

d – размер образца (диаметр, толщина), мм;

$\tau_{\text{выд}}$ – время выдержки образца в печи (обычно принимается равным 2–3 ч).

Время на прогрев 1 мм толщины образца приводится в табл. 27.

Охлаждение при отпуске осуществляется на спокойном воздухе. Извлеченные из печи образцы помещаются на металлическую подставку и охлаждаются до комнатной температуры. Время охлаждения фиксируется по часам и заносится в отчет, а затем используется для построения графика отпуска.

Режим отпуска отображается на графике в координатах температура–время (рис. 49).

При отпуске изменяются структура закаленной стали и ее свойства: повышается ударная вязкость, предел упругости, пластичность, снижаются внутренние напряжения и твердость. Отпущенная сталь по сравнению с неотпущенной менее напряжена и хрупка.

*Ориентировочная продолжительность нагрева изделий
в электропечи*

Температура нагрева в °С	Форма изделия в сечении		
	круг	квадрат	пластина
	продолжительность нагрева в минутах		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	на 1 мм толщины
600	2,0	3,0	4,0
400	3,0	4,0	5,0
200	4,0	5,0	6,0

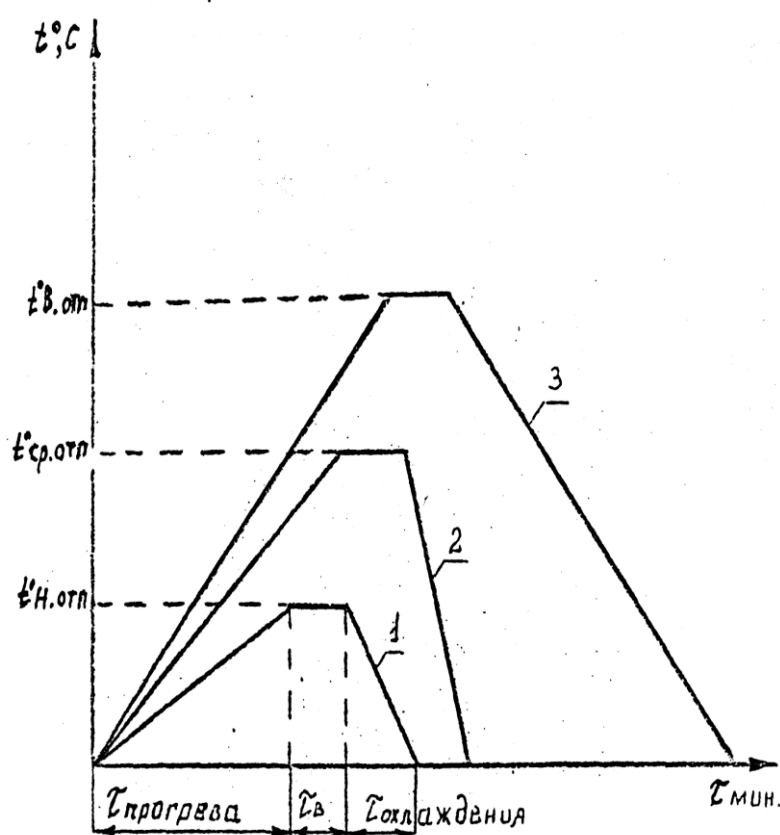


Рис. 49. График отпуска стали:

- 1 – низкий отпуск;
- 2 – средний отпуск;
- 3 – высокий отпуск

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассчитать режимы отпуска для закаленных ранее образцов.
2. Образцы поместить в печь и нагреть, фиксируя время нагрева при отпуске.

3. По окончании нагрева извлечь образцы и остудить на спокойном воздухе до комнатной температуры.
4. После охлаждения измерить твердость образцов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете дается определение отпуска, указываются основные виды отпуска, их влияние на структуру и механические свойства закаленной и затем отпущенной стали. Следует указать назначение основных видов отпуска (в процессе домашней подготовки к выполнению лабораторной работы).

Приводится характеристика образцов стали перед отпуском – марка стали, твердость после закалки, структура. Даются условия отпуска каждого образца, их твердость после отпуска и указывается структура стали. Строятся график твердости отпускаемой стали в зависимости от температуры отпуска и график отпуска. В выводах по работе устанавливается влияние температуры отпуска на структуру и механические свойства стали.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется отпуском стали?
2. Для чего предназначен отпуск?
3. В чем отличие структур закаленных и отпущенных сталей?
4. Как выбирают температуру под отпуск стали?
5. Что такое мартенсит отпуска?
6. Какие детали и изделия подвергают низкому отпуску?
7. Какие детали и изделия подвергают среднему отпуску?
8. Какие детали и изделия подвергают высокому отпуску?
9. Что называется сорбитом и его свойства.
10. Что называется трооститом и его свойства.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ III

1. Структурная составляющая, представляющая собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе, – это...

- A) аустенит
- B) мартенсит
- C) феррит
- D) цементит

2. Термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее до аустенитного состояния, выдержке и последующем быстром охлаждении, – это...

- A) отжиг
- B) полная закалка
- C) неполная закалка
- D) нормализация

3. Температура, с которой проводят закалку углеродистых заэвтектоидных сталей,...

- A) на 30...50 °C выше A_m
- B) на 30...50 °C ниже линии ECF диаграммы Fe–C
- C) на 30...50 °C выше эвтектической температуры
- D) на 30...50 °C выше A_1

4. Температура закалки стали 50 составляет...

- A) 600...620 °C
- B) 810...830 °C
- C) 740...760 °C
- D) 1030...1050 °C

5. Температура закалки стали У12 составляет...

- A) 760...780 °C
- B) 600...620 °C.
- C) 1030...1050 °C
- D) 820...840 °C

6. Закаливаемость – это...

- A) глубина проникновения закаленной зоны
- B) процесс образования мартенсита

- C) способность металла быстро прогреваться на всю глубину
- D) способность металла повышать твердость при закалке

7. Термическая обработка, состоящая в нагреве закалённой стали ниже A_1 , выдержке и последующем охлаждении на воздухе, – это...

- A) отжиг
- B) закалка
- C) отпуск
- D) нормализация

8. Вид отпуска, при котором закаленное изделие приобретает наибольшую пластичность, – это...

- A) низкий отпуск
- B) высокий отпуск
- C) пластичность стали является ее природной характеристикой и не зависит от вида отпуска.
- D) средний отпуск

9. Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, – это...

- A) нормализация
- B) улучшение
- C) сфероидизация
- D) полная закалка

10. Термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее до аустенитного состояния, выдержке и последующем охлаждении вместе с печью, – это...

- A) неполный отжиг
- B) полный отжиг
- C) рекристаллизационный отжиг
- D) низкий отжиг

11. Термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее до аустенитного состояния и последующего охлаждения на спокойном воздухе, – это...

- A) истинная закалка
- B) улучшение

- C) неполный отжиг
- D) нормализация

12. Изделие, для которого рекомендованы закалка и средний отпуск, – это...

- A) сверло
- B) метчик
- C) вал
- D) пружина

13. Изделие, для которого рекомендованы закалка и низкий отпуск, – это...

- A) сверло
- B) рессора
- C) вал
- D) пружина

14. Изделие, для которого рекомендованы закалка и высокий отпуск, – это...

- A) сверло
- B) рессора
- C) вал
- D) пружина

15. Сталь, которая не упрочняется при закалке, – это...

- A) 20
- B) 45
- C) 65
- D) У12

16. Критическая скорость охлаждения при закалке – это...

- A) максимальная скорость охлаждения, при которой еще протекает распад аустенита на структуры перлитного типа
- B) минимальная скорость охлаждения, необходимая для получения мартенситной структуры
- C) минимальная скорость охлаждения, необходимая для фиксации аустенитной структуры
- D) минимальная скорость охлаждения, необходимая для закалки изделия по всему сечению

17. Фактор, не позволяющий применять неполную закалку для доэвтектоидных сталей (в отличие от заэвтектоидных), – это...

- A) образуется мартенсит с малой степенью пересыщения углеродом
- B) образуются структуры немартенситного типа (сорбит, троостит)
- C) изделие прокаливается на недостаточную глубину
- D) в структуре, наряду с мартенситом, остаются включения феррита

18. Влияние температуры отпуска на твердость изделий из углеродистой стали – это...

- A) влияние температуры отпуска на твердость неоднозначно
- B) чем выше температура нагрева, тем выше твердость
- C) чем выше температура нагрева, тем ниже твердость
- D) твердость не зависит от температуры

19. Улучшение стали – это...

- A) закалка на мартенсит и последующий высокий отпуск на сорбит
- B) отжиг на перлит
- C) закалка на троостит
- D) закалка на мартенсит и низкий отпуск

20. Фактор, который влияет на закаливаемость стали, – это...

- A) степень раскисления
- B) содержание примесей
- C) содержание углерода
- D) содержание легирующих примесей

21. Структурная составляющая, в которую превращается мартенсит при среднем отпуске углеродистых сталей, – это...

- A) сорбит отпуска
- B) перлит отпуска
- C) мартенсит отпуска
- D) троостит отпуска

22. Установите соответствие вида отпуска температуре нагрева:

Вид отпуска:

- 1) Низкий
- 2) Средний

Температура нагрева:

- A) 150...200 °С
- B) 300...400 °С
- C) 500...600 °С

1 - ____; 2 - ____.

23. Установите соответствие вида отпуска температуре нагрева:

Вид отпуска:

- 1) Высокий
- 2) Средний

Температура нагрева:

- A) 150...200 °С
- B) 300...400 °С
- C) 500...600 °С

1 - ____; 2 - ____.

24. Дополните:

Структура, представляющая собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе, называется _____.

25. Дополните:

Термическая обработка, состоящая в нагреве закалённой стали ниже A_1 , выдержке и последующем охлаждении на воздухе, называется _____.

26. Дополните:

Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется _____.

27. Дополните:

Термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее до аустенитного состояния и последующего охлаждения на спокойном воздухе, называется _____.

28. Конечная цель цементации стали – это...

- A) создание мелкозернистой структуры сердцевины
- B) повышение содержания углерода в стали
- C) получение в изделии твердого поверхностного слоя при сохранении вязкой сердцевины

D) увеличение пластичности поверхностного слоя

29. Обработка, состоящая в насыщении поверхности стали одновременно азотом и углеродом, – это...

- A) азотирование
- B) улучшение
- C) цианирование (нитроцементация)
- D) модифицирование

30. Стали, которые подвергаются цементации, – это...

- A) высокоуглеродистые (более 0,7 % C)
- B) высоколегированные
- C) низкоуглеродистые (0,1 ... 0,25 % C)
- D) среднеуглеродистые (0,3 ... 0,5 % C)

31. Обработка, которая применяется для упрочнения вала, изготовленного из стали 18ХГТ, – это...

- A) объемная закалка
- B) цементация, закалка, низкий отпуск
- C) закалка токами высокой частоты
- D) ступенчатая закалка

32. Стали, которые подвергаются цементации, – это...

- A) 40ХНЗМА, 30ХГСА
- B) X12M1, У10
- C) 15ХФ, 20
- D) 65, ШХ15

33. Стали, которые подвергаются азотированию, – это...

- A) 40ХНЗМА, 30ХГСА
- B) X12M1, У10
- C) 15ХФ, 20
- D) 65, ШХ15

34. Обработка, состоящая в насыщении поверхности стали азотом, – это...

- A) азотирование
- B) улучшение
- C) цианирование (нитроцементация)

D) модифицирование

35. Обработка, состоящая в насыщении поверхности стали углеродом, – это...

- A) азотирование
- B) улучшение
- C) цианирование (нитроцементация)
- D) цементация

36. Обработка, состоящая в насыщении поверхности стали алюминием, – это...

- A) алитирование
- B) хромирование
- C) борирование
- D) силицирование

37. Обработка, состоящая в насыщении поверхности стали кремнием, – это...

- A) алитирование
- B) хромирование
- C) борирование
- D) силицирование

38. Карбюризатор – это...

- A) вещество, служащее источником углерода при цементации
- B) карбид легирующих элементов
- C) устройство для получения топливовоздушной среды
- D) металлический ящик с науглераживающим веществом

39. Химико-термическая обработка металлов – это...

- A) обработка поверхности металла химически активными веществами с целью удаления с поверхности оксидных пленок
- B) корректировка химического состава стали в процессе выплавки путем введения в расплав легирующих элементов
- C) обработка, проводимая для повышения механических свойств
- D) термическая обработка металлов в химически активной среде, изменяющая состав и свойства поверхностного слоя изделия

40. Операции, которые проводят после цементации детали, – это...

- A) закалка и низкий отпуск
- B) закалка и высокий отпуск
- C) нормализация и отжиг
- D) дополнительная термообработка

41. Цель азотирования – это...

- A) получение мелкозернистой структуры сердцевины
- B) увеличение пластичности поверхностного слоя
- C) повышение окалиностойкости
- D) повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости поверхностного слоя

42. Дополните:

Процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом называется _____.

43. Дополните:

Поверхностное насыщение стали хромом называется _____.

44. Последовательность операций при цементации деталей:

- A) закалка
- B) цементация
- C) низкий отпуск

45. Последовательность операций при азотировании деталей:

- A) механическая обработка для получения окончательного размера
- B) азотирование
- C) защита участков, на подлежащих азотированию
- D) доводка деталей
- E) предварительная термическая обработка

ГЛАВА IV. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ТЕМА 12. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Литейное производство – это отрасль машиностроения, производящая фасонное и заготовительное литьё из различных металлов и сплавов.

Конечную продукцию литейного производства называют *отливкой*, которую получают путем заливки расплавленного металла или сплава в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию требуемой детали или заготовки. При охлаждении залитый металл затвердевает и сохраняет конфигурацию той формы, в которую был залит.

В процессе кристаллизации расплавленного металла и последующего охлаждения формируются механические и эксплуатационные свойства отливок.

Литьё является важным и экономически выгодным способом производства. Во многих случаях литьё является единственно возможным способом изготовления нужных деталей. Особенно это проявляется в тех случаях, когда требуется изготовить детали больших размеров и массы, а также сложной конфигурации. Литьём получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких граммов до 300 тонн, длиной от нескольких сантиметров до 20 метров с толщиной стенок от 0,5 до 500 мм.

Для изготовления отливок применяют следующие способы литья:

- в песчано-глинистые формы;
- в оболочковые формы;
- по выплавляемым моделям;
- кокильное литьё;
- центробежное литьё;
- под давлением и др.

12.1. ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

Наиболее широкое применение имеет литье в песчано-глинистые формы.

Литьем в песчано-глинистые формы (рис. 50) изготавливают 80 % общего количества отливок. Однако чистота поверхности и точность этих отливок в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям современного машиностроения. Поэтому с каждым годом получают все большее применение специальные способы литья, позволяющие получить отливки повышенной точности, с минимальным объемом механической обработки.



Рис. 50. Схема технологического процесса получения отливок в песчано-глинистые формы

Литейная форма предназначена для того, чтобы обеспечить:

- 1) необходимую конфигурацию и размеры отливки;
- 2) заданную точность и качество поверхности отливки;
- 3) определенную скорость охлаждения залитого металла для формирования требуемой структуры сплава и получения соответствующих механических свойств и качества отливки.

Для изготовления песчано-глинистой литейной формы необходимо иметь модельный комплект и другую литейную оснастку.

Процесс изготовления литейной формы называется *формовкой*. Формовка бывает ручная и машинная. Машинная формовка применяется в заводских условиях при серийном или массовом производстве.

Для индивидуального или мелкосерийного производства (например, в ремонтных мастерских) применяется ручная формовка с использованием *модельного комплекта*. В модельный комплект входят: подмодельная плита, нижняя и верхняя опоки, модель отливки, модели литниковой системы, стержневой ящик. Кроме перечисленных основных деталей модельного комплекта в литейную оснастку входят различные инструменты, лопатки, трамбовки, подъемы, крючки, щетки и др.

Модель отливки – это приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки.

При машинной формовке металлическая подмодельная плита используется для крепления моделей отливки и элементов литниковой системы.

При массовом производстве модели изготавливают из металлов или сплавов, при мелкосерийном – из дерева (сосна, берёза, липа) с влажностью не более 10 %. Модели могут быть разъемными и неразъемными.

Модели изготавливают с учетом припусков на механическую обработку и литейную усадку. Модели отливки с внутренними полостями имеют на концах выступы (стержневые знаки). Знаки необходимы для образования в форме углублений, в которые укладываются стержни.

Стержни предназначены для получения (воспроизводства) внутренних полостей, отверстий, каналов и т. п.

Стержневые ящики служат для изготовления песчаных стержней. Как и модели, их изготавливают с учетом литейной усадки и припусков на механическую обработку. На рис. 51 показаны: чугунная втулка после механической обработки отливки (позиция а), модель отливки (б), стержневой ящик (в) и отливка с затвердевшими элементами литниковой системы (г), где: 1 – отливка, 2 – выпор, 3 – чаша, 4 – стояк, 5 – шлакоуловитель, 6 – питатель.

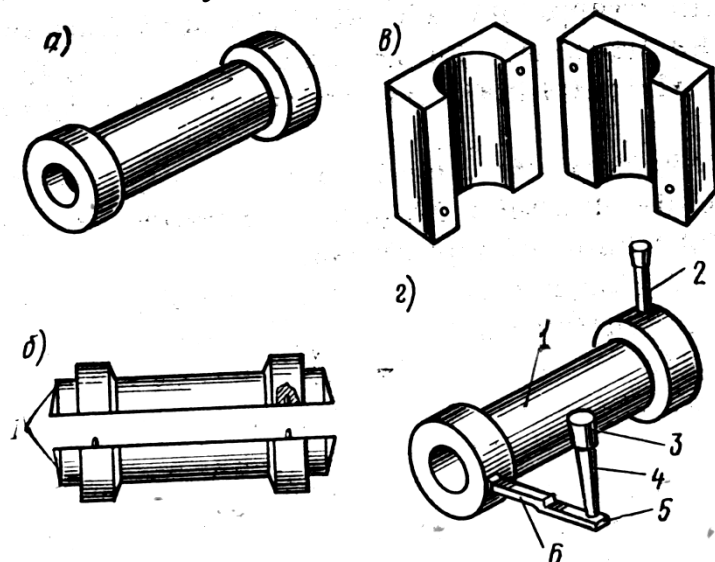


Рис. 51. Готовая деталь и элементы модельного комплекта

Модели литниковой системы служат для образования в форме каналов, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе её кристаллизации.

Для производства отливок в песчано-глинистых формах чаще всего применяют литниковую систему, состоящую из чаши, стояка, шлакоуловителя, питателей и выпора (рис. 52).

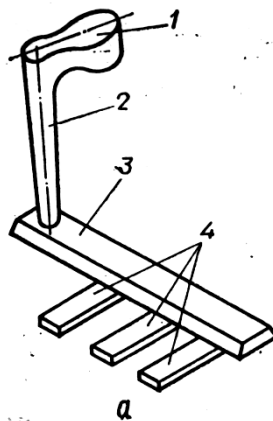


Рис. 52. Элементы литниковой системы в сборе:
1 – чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели

Возможность получения качественных отливок определяется *литейными свойствами* сплавов.

Наиболее важными литейными свойствами сплавов являются: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная), склонность к образованию трещин, склонность к поглощению газов и образованию газовых раковин, пористости и др.

Жидкотекучесть – это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литниковой системы, заполнять полости литейной формы и четко воспроизводить контуры отливки. Жидкотекучесть зависит от следующих факторов:

- химического состава сплава и температуры его нагрева;
- теплофизических свойств формы;
- технологических условий литья.

Наибольшая жидкотекучесть характерна для чистых металлов и эвтектических сплавов, а наименьшая – для сплавов на основе твердых растворов.

В железоуглеродистых сплавах с повышением содержания углерода, кремния, марганца, никеля, фосфора жидкотекучесть увеличивается, а с повышением содержания хрома и серы – понижается.

Усадкой называется уменьшение линейных и объёмных размеров сплавов при затвердевании и охлаждении. В результате усадки в

отливке могут образоваться коробления, трещины и раковины. Различают линейную и объемную усадку.

Большинство сплавов имеют линейную усадку, не превышающую 3 %, например:

- серый чугун – 1,1...1,3 %;
- углеродистая сталь – 1,2...2,4 %;
- легированная сталь – 2,5...3,0 %;
- безоловянистые бронзы – 1,6...2,2 %;
- латунь – 1,5...1,9 %;
- оловянистые бронзы – 1,0...1,5 %.

Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений.

Исходными материалами для изготовления формовочных смесей служат формовочные пески и глины.

Кроме песка и глины в формовочные смеси вводят связующие вещества и различные добавки.

В качестве связующей добавки чаще всего используется жидкое стекло. Другие добавки придают определенные свойства: противопригарные, снижающие прилипаемость к модели, повышающие газопроницаемость. В качестве таких добавок используются каменноугольная пыль, графит, мазут, торф, опилки и др.

Формовочные смеси разделяются на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь непосредственно соприкасается с металлом, состоит в основном из свежих материалов. Толщина облицовочного слоя зависит от размеров деталей и колеблется от 20 до 50 мм.

Наполнительные смеси служат для набивки остальной части формы. Они в первую очередь должны быть прочными и газопроницаемыми. Состоят в основном из отработанных материалов.

Единая смесь применяется при машинной формовке при массовом производстве.

Основными свойствами формовочных смесей являются:

- газопроницаемость;
- прочность;
- пластичность;
- податливость;
- огнеупорность;

- долговечность.

Газопроницаемость – способность смеси хорошо пропускать пары воды и газы, образующиеся при соприкосновении горячего металла с формой. Если газопроницаемость недостаточна, то образуются газовые раковины. Песок улучшает газопроницаемость, глина – ухудшает.

Прочность – это способность сохранять форму при воздействии внешних сил (прежде всего ударное действие заливаемого металла).

Пластичность – это способность хорошо формоваться, воспринимать и хорошо сохранять форму.

Податливость – это способность не препятствовать усадке при охлаждении отливки.

Огнеупорность – это способность смеси противостоять местному перегреву от заливаемого в форму металла.

Долговечность - это способность смеси сохранять рабочие свойства при повторном использовании.

12.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЛИТЬЯ

Кокильное литье

Сущность метода заключается в том, что вместо разовой песчано-глинистой формы используют металлическую форму, называемую кокилем.

Преимущества кокильного литья:

1. Обладая по сравнению с песчано-глинистыми формами в 60 раз большей теплопроводностью, кокили обеспечивают мелкозернистую структуру отливок, что повышает их прочность.

2. При кокильном литье отпадает необходимость в модельно-опочной оснастке, в формовочных смесях, повышается точность и чистота поверхности отливок.

3. Технологический процесс кокильного литья можно легко механизировать.

4. Металлические формы используются многократно.

Наряду с преимуществами у кокильного литья есть и недостатки

1. Высокая стоимость кокилей позволяет использовать их только в серийном и массовом производствах;

2. Существует опасность образования трещин из-за неподатливости металлической формы;

3. Чугунные отливки в кокилях получают отбеленными и требуют длительного отжига, что повышает стоимость их производства.

По конструкции кокили различают неразъемные и разъемные (рис. 53).

Разъемные кокили бывают с горизонтальным и вертикальным разрезами.

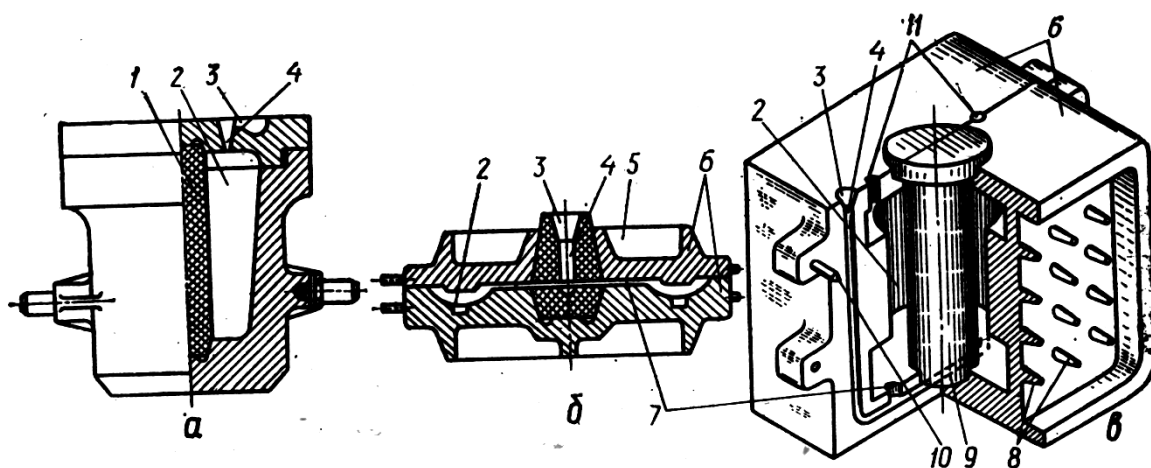


Рис. 53. Металлические литейные формы (кокили):

а – неразъемные; б – разъемные

Разъемные кокили состоят из двух половин б, которые центрируются штырями 10. Чтобы избежать коробления кокили имеют ребра жесткости 5, или их делают коробчатой формы. Для ускорения охлаждения на наружной поверхности отливают пальцы 8. Внутреннюю полость отливки при кокильном литье получают с помощью песчаного 1 или металлического 9 стержней.

Металл заливают в литниковую чашу 3, и по стояку 4, и питателям 7 он заполняет полость формы 2. Металлические стержни удаляют из формы до начала усадки металла, чтобы избежать трещин в отливки. Литниковая система размещается в полости разреза кокиля. Для выхода воздуха из формы во время заливки металла в разрезе формы имеются выпоры 11. Изготавливают кокили из серого чугуна, стали, цветных металлов и сплавов.

Стойкость кокилей составляет:

- для алюминиевых отливок до 50000;
- для медных отливок до 10000;
- для отливок из стали и чугуна до 5000.

Литье в оболочковые формы

Литьем в оболочковые формы называется такой метод литья, при котором отливки получают в форме, состоящей из двух песчано-смоляных оболочек.

Изготовление оболочковых форм и стержней производится из мелкозернистого кварцевого песка с добавкой в качестве связующего вещества искусственной терморезистивной смолы. Характерной особенностью таких смол является их способность при определенной температуре необратимо затвердевать. При нагревании до 200...250 °С эти смолы расплавляются, превращаясь в клейкую массу, и обволакивают зерна кварцевого песка, а затем при повышении температуры до 300...350 °С уже через несколько секунд затвердевают. В качестве связующего обычно используется фенолформальдегидная смола марки ПК-104, которой в формовочных смесях содержится 6...8 %, а в стержневых 4-5 %.

Для изготовления оболочек обычно применяют чугунные подмодельные плиты, на которых укрепляют половинки моделей, модели литниковой системы, толкатели и фиксаторы.

Нанесение сухой песчано-смоляной смеси на модельную оснастку может производиться с помощью поворотного бункера (более распространенный метод) или пескодувным способом. Сущность метода поворотного бункера позиции заключается в следующих последовательно выполняемых операциях (рис. 54). Нагретую в электрической печи (250 °С), предварительно обработанную разделительным составом плиту с моделью устанавливают на верхнюю открытую часть бункера (позиции *a* и *б*). В бункер предварительно засыпают песчано-смоляную смесь. Затем бункер поворачивают на 180 °. Песчано-смоляная смесь падает и покрывает нагретую модельную оснастку. При выдержке 20...30 секунд смола плавится и, обволакивая тонкой пленкой мелкие зерна песка, образует оболочку толщиной 6...8 мм (позиция *в*). Бункер возвращается в исходное положение, и формовочная смесь падает на его дно (позиция *г*). Снятую с бункера модельную плиту с непрочной оболочкой помещают в печь с температурой 300...350 °С (позиция *д*). При выдержке 2-3 мин смола полимеризуется и необратимо твердеет, образуя прочную оболочковую полуформу. По такой же технологии изготавливают другую полуформу. Оболочковые полуформы собирают, склеивая быстротвердеющим терморезистивным клеем. Перед сборкой в полуформы устанавливают стержни. Точность сборки обеспечивается устройством

типа выступ-впадина. Для этого на одной плите изготавливают оболочки с выступами, а на другой – с впадинами.

Готовые оболочковые формы устанавливают в металлические ящики, засыпают крупным песком или чугунной дробью, заливают жидким металлом и получают отливку. К моменту полной кристаллизации металла смола выгорает, форма и стержни разупрочняются и легко разрушаются, освобождая отливку.

Преимущества литья в оболочковые формы:

1. Отливки получают с более точными размерами (класс 7-8), с более высокой чистотой поверхности и меньшими припусками на механическую обработку.

2. Уменьшается трудоемкость изготовления отливок, отпадает необходимость в опоках.

3. Сокращается расход формовочных материалов и количество металла, благодаря меньшим размерам литниковых каналов.

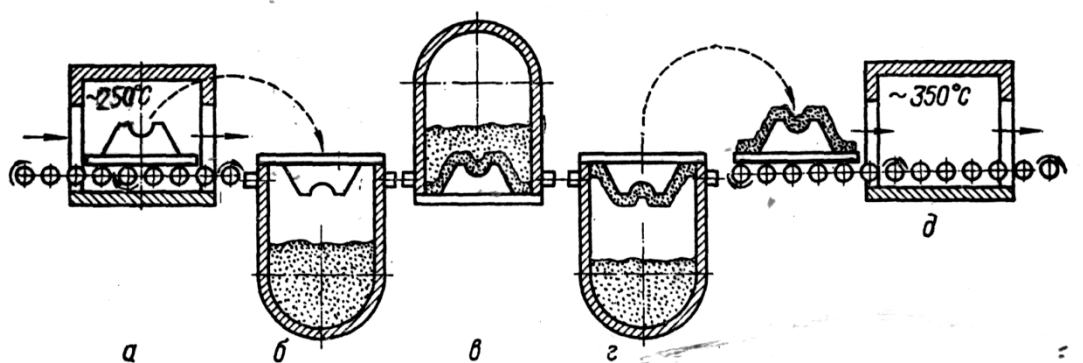


Рис. 54. Схема изготовления оболочковых форм

Недостатки метода:

1. Оболочковая форма служит один раз.

2. Высокая стоимость формовочной смеси, модельной оснастки и оборудования.

3. Выделение вредных газов при нагревании оболочек и заливки металла, что вызывает необходимость принудительной вентиляции.

Метод литья в оболочковые формы применяется для изготовления сравнительно небольших отливок при серийном и массовом производстве, в тех случаях, когда повышенные затраты на формовочную смесь, оснастку и оборудование компенсируются снижением объема механической обработки, повышением производительности труда и получением отливок с более точными размерами и высокой чистотой поверхности.

Литье под давлением

Сущность метода состоит в том, что жидким металлом принудительно заполняют металлическую пресс-форму под давлением, которое поддерживают до полной кристаллизации отливки.

Давление обеспечивает быстрое заполнение формы, высокую точность и чистоту поверхности отливки, исключает возможность образования усадочных раковин и пористости.

Отливки, полученные этим методом, не имеют припусков на механическую обработку, и после удаления из формы являются готовыми деталями.

Литьем под давлением получают отливки с толщиной стенки до 0,5 мм, сложной конфигурации, с мелкозернистой структурой. Недостатки метода: высокая стоимость пресс-форм, имеющих сложную конфигурацию и требующих высокой точности изготовления, обуславливает целесообразность применения литья под давлением только в крупносерийном и массовом производстве при изготовлении отливок сложной конфигурации из цветных металлов и сплавов массой до 50 кг.

Литье под давлением осуществляют в основном на поршневых машинах высокой производительности, дающих 200...400 отливок в час. Поршневые машины выпускают с горячей или холодной камерой сжатия, с горизонтальным или вертикальным расположением.

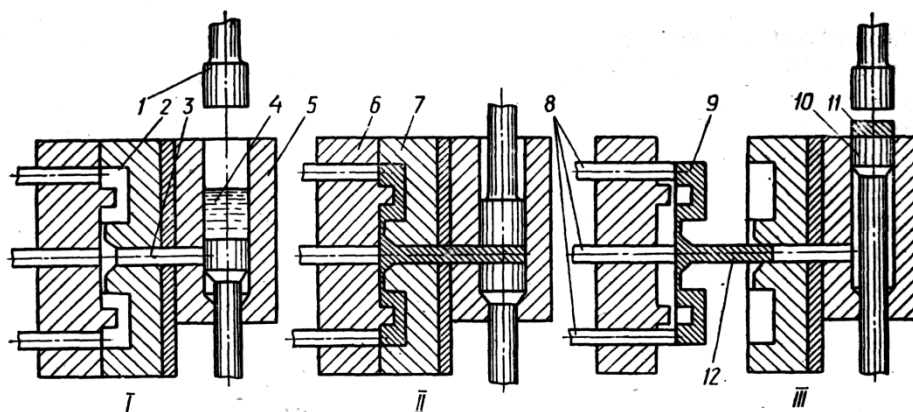


Рис. 55. Схема поршневой машины с вертикальной холодной камерой сжатия

На машинах с *вертикальной холодной* камерой сжатия (рис. 55) расплав 4 заливают в камеру сжатия 5. Верхний поршень 1, опускаясь, давит на расплав и нижний поршень 10, который при движении вниз открывает литниковый канал 3. Металл заполняет полость 2 пресс-формы, состоящей из двух половин 6 и 7 (положение II). Объем жидкого металла должен быть больше объема полости формы, чтобы между верхним и нижним поршнем оставался избыток металла. Дав-

ление верхнего поршня поддерживают до полной кристаллизации отливки, после чего пресс-форму раскрывают и отливку 9 вместе с литником 12 выталкивают из формы толкателями 8. Нижний поршень выталкивает наружу избыток металла 11, который отправляют в переплав (положение III).

Электрошлаковое литье

Сущность процесса (ЭШЛ) заключается в постепенном электрошлаковом переплаве расходуемого электрода в водоохлаждаемой металлической форме с последующей кристаллизацией расплавленного металла. При этом способе литья получают металл самого высокого качества.

При электрошлаковом литье литейная форма выполняет 2 функции:

1. Служит плавильным агрегатом.
2. Формирует отливку.

Процесс происходит под слоем жидкого шлака, который служит источником тепла, очищает металл от серы и фосфора, защищает его от кислорода и азота воздуха. Кристаллизация отливки происходит снизу вверх с участием малых объемов жидкого металла, что исключает дендритную ликвацию и образование усадочных раковин.

ЭШЛ находит применение в энергетическом машиностроении, этим способом изготавливают корпуса атомных реакторов, парогенераторов сверхвысоких давлений, коленчатые валы мощных дизелей (судостроение), прокатные валки, штампы и др.

Принципиальная схема электрошлакового литья показана на рис. 56.

Процесс получения отливок при ЭШЛ происходит в следующей последовательности. Из стали, предназначенной для переплава, сначала изготавливают электроды. Затем на медный поддон 3 кладут шайбу (затравку) из той же, что и электроды, стали. На шайбу насыпают электропроводной флюс, электрод опускают до соприкосновения с флюсом, затем в зазор между стенкой кристаллизатора 2 и электродом 1 засыпают рабочий флюс, состоящий из смеси Al_2O_3 , CaO , CaF_2 и подают напряжение. Вначале горит электрическая дуга, рабочий флюс плавится, и образуется шлак с температурой около $2500\text{ }^\circ\text{C}$. Затем дуга гаснет, и рабочий процесс продолжается за счет тепла, выделяющегося в слое расплавленного шлака.

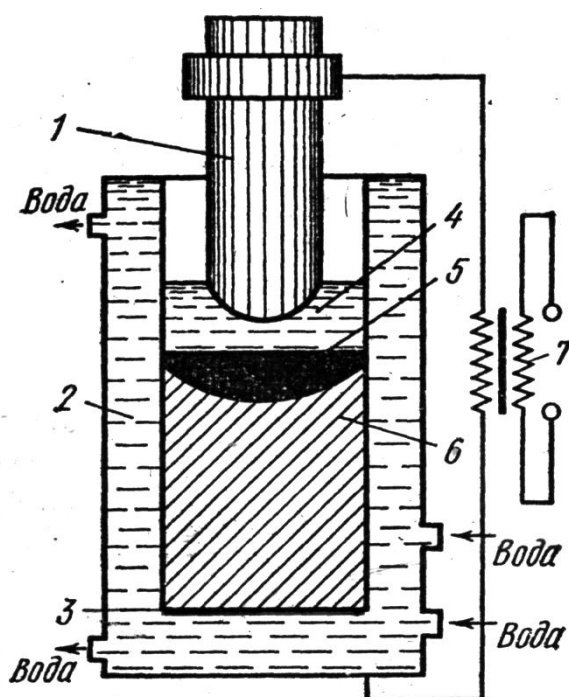


Рис. 56. Схема получения отливок способом электрошлакового литья:
 1 – расходный электрод; 2 – кристаллизатор; 3 – поддон;
 4 – расплавленный шлак; 5 – жидкий металл; 6 – полученный слиток; 7 – трансформатор

Вследствие высокого электрического сопротивления шлака, при прохождении через него электрического тока происходит выделение тепла. Благодаря этому теплу электрод расплавляется, на конце его образуется слой жидкого металла, который в виде капель пронизывает расплав шлака, очищается от вредных примесей (серы), неметаллических включений и растворенных газов. Жидкий металл скапливается под шлаком, образуя ванну 5.

Слой жидкого металла, расположенный вблизи кристаллизатора, затвердевает и постепенно формируется отливка 6. Интенсивный отвод тепла обеспечивает направленную снизу вверх кристаллизацию металла в слитке. В полученных слитках отсутствует пористость, неметаллические и газовые включения, образуется однородная по классическому составу структура.

Центробежное литье

Сущность метода состоит в том, что жидкий металл заливают во вращающуюся с определенной скоростью литейную форму, которая вращается в течение всего времени кристаллизации металла. Залитый металл центробежной силой прижимается к стенкам формы, что обеспечивает получение плотных, с повышенной прочностью отливок, так как газы и шлак, обладающие меньшей плотностью, вытес-

няются во внутренние полости отливки и удаляются последующей механической обработкой.

Металлические формы при центробежном литье называются изложницами, которые изготавливают из стали или чугуна.

Когда наружные поверхности отливок имеют сложную форму (выточки, пояски и т.п.), применяют металлические формы, футерованные изнутри песчано-глинистой или песчано-смольной смесью. Нанесение футеровки осуществляется формовкой по модели или накаткой роликом.

Ось вращения формы может быть горизонтальной, вертикальной или наклонной. Если диаметр отливки значительно меньше ее длины (трубы, гильзы, втулки), то ось вращения формы устанавливают горизонтально. Если диаметр отливки больше, чем ее высота (колеса, шкивы, шестерни), то ось вращения располагают вертикально. В обоих случаях ось отливки совпадает с осью вращения формы, и внутренняя полость получается без стержней, а толщина стенки отливки определяется количеством заливаемого металла. Этот способ используют при изготовлении отливок, имеющих форму тела вращения.

Для регулировки теплового режима и увеличения стойкости металлических форм, на рабочие поверхности после предварительного подогрева (до 200 °С) наносят слой защитного покрытия из мелкого кварцевого песка, измельченного песка, измельченного ферросилиция, алюминиевой пудры, пылевидного графита и др.

Последовательность изготовления отливок на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осями вращения показаны на рис. 57.

После подготовки изложницу 1 закрывают крышкой 2 и заливают расплавом через желоб 4 из ковша 3.

Позиция I соответствует этапу заливки расплавом вращающейся формы, II – формирования и затвердевания отливки, III – извлечения готовой отливки из формы с помощью захватов или толкателей.

Центробежным способом отливают трубы диаметром от 50 до 1500 мм и длиной 4-5 м, железнодорожные колеса и бандажи, гильзы автотракторных двигателей, заготовки для поршневых колец, шестерни, шкивы, орудийные стволы и др.

Центробежное литье является высокопроизводительным способом, хорошо поддающимся механизации и автоматизации.

Этот вид литья позволяет изготовление отливок массой от нескольких граммов до десятков тонн.

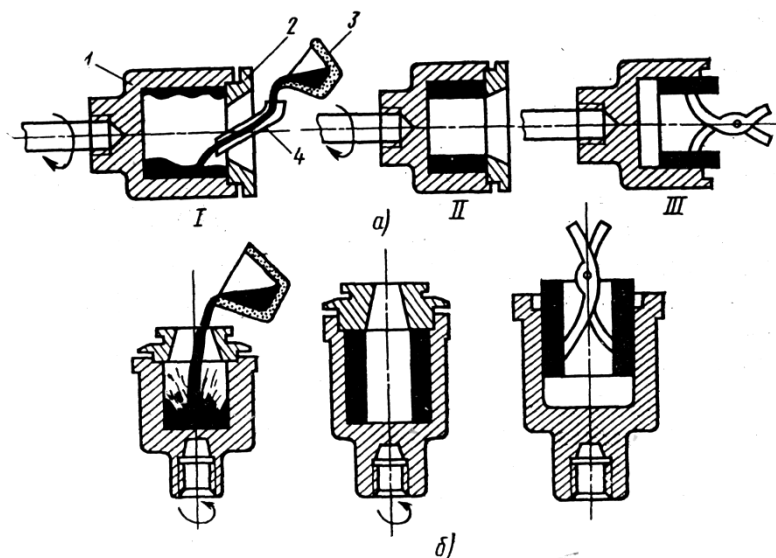


Рис. 57. Схема получения отливок центробежным литьем:
 а – на машинах с горизонтальной осью вращения;
 б – с вертикальной осью вращения

Преимущества центробежного литья заключается в отсутствии литниковой системы; повышенной плотности отливок за счет уменьшения пор, раковин и других дефектов; в высоких механических свойствах отливок. Этот способ литья дает возможность получения отливок из двух и более металлов, располагающихся слоями (вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей).

Недостатками метода являются: большие припуски на механическую обработку вследствие неровностей и загрязнением внутренней поверхности отливки неметаллическими включениями; трудность получения отливок с отверстием точного размера, так как диаметр отверстия зависит от количества заливаемого металла; увеличение степени ликвации сплава по сечению отливки.

Литье по выплавляемым моделям

Процесс изготовления отливок по выплавляемым моделям заключается в последовательности нескольких технологических операций.

Из легкоплавкого модельного состава (50 % парафина и 50 % стеарина) в металлической пресс-форме 1 (рис. 58) изготавливают модели отливок и литниковой системы.

Модельный состав 2 заливают или запрессовывают под давлением 20...30 МПа в собранную пресс-форму. После затвердевания модель извлекают из пресс-формы. Полученные модели собирают в

блоки, для чего их присоединяют к литниковой системе 4 с помощью паяльника 5.

На полученный блок наносят путем окунания суспензию, то есть жидкое облицовочное покрытие 6, состоящее из 30 % гидролизованного этилсиликата и 70 % пылевидного кварца. После этого блок обсыпают мелким сухим кварцевым песком 7 и сушат при комнатной температуре 5-6 часов. Окунание, обсыпку и сушку повторяют несколько раз, пока на моделях не образуется огнеупорная оболочка нужной толщины (2,5...3,0 мм). Затем модель выплавляют из оболочки. Блоки помещают (литниковой воронкой вниз) в термошкаф с температурой 110...120 °С или погружают в горячую воду 8 с температурой 90...95 °С. После выплавления моделей и литниковой системы пустотелую огнеупорную оболочковую форму 9 помещают в металлический ящик 10. В ящик вокруг оболочки до самой воронки засыпают сухой кварцевый песок 11. Подготовленные таким способом формы загружают в нагретую до 850...900 °С электропечь 12 и выдерживают 4-4,5 часа. При этом выгорает парафино-стеариновая смесь, огнеупорная оболочка твердеет, а ее рабочая поверхность становится гладкой. После прокаливания форму заливают расплавленным металлом 13.

После затвердевания и охлаждения металла отливки 14 вынимают из опок и отбивают с них керамическую оболочку.

Этот метод литья имеет свои достоинства и недостатки. Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели, а образование плотной неразъемной литейной формы способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью поверхности, что снижает объем механической обработки. Заливка расплавленного металла в горячие формы позволяет получить тонкостенные и весьма сложные по конфигурации отливки из жаропрочных труднообрабатываемых сплавов и коррозионно-стойких сталей с массой от нескольких граммов до 100 кг.

Однако, из-за длительности технологического процесса (более двух суток), высокой стоимости отливок и одноразового использования формы, применение этого метода ограничивается, главным образом, изготовлением мелких и сложных отливок в серийном и массовом производстве.

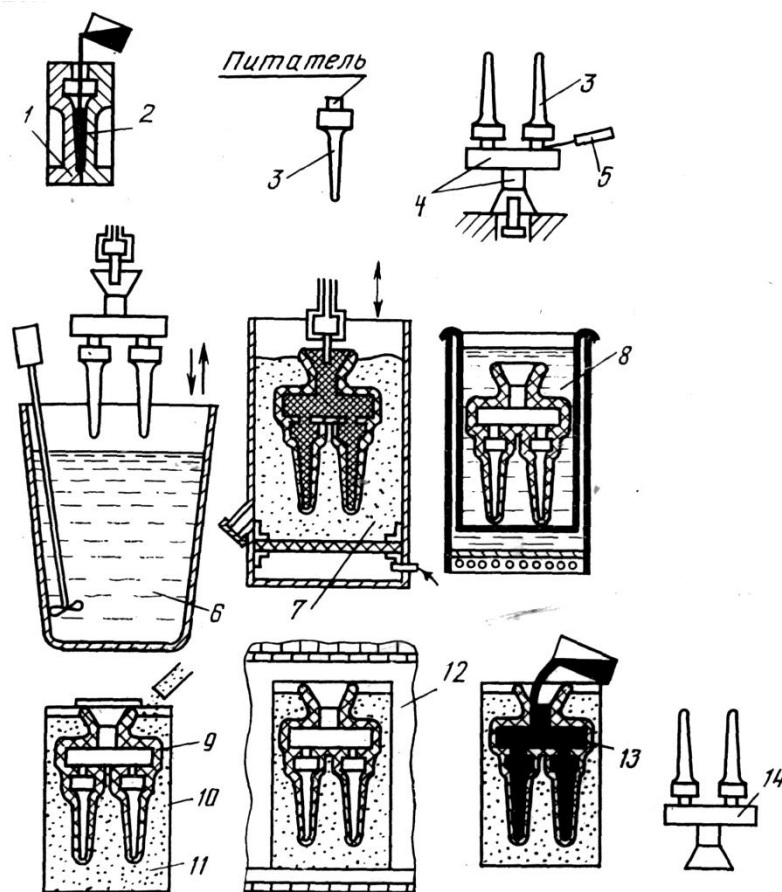


Рис. 58. Схема изготовления отливок по выплавляемым моделям:

- 1 – пресс-форма; 2 – модельный состав; 3 – модель;
- 4 – литниковая система; 5 – паяльник;
- 6 – облицовочное покрытие; 7, 11 – кварцевый песок;
- 8 – горячая вода; 9 – пустотелая оболочковая форма;
- 10 – металлический ящик; 12 – электропечь;
- 13 – расплавленный металл; 14 - отливка

Кроме выплавляемых моделей в литейном производстве используют выжигаемые модели при изготовлении ответственных отливок массой до 3,5 т из чугуна, стали и цветных сплавов в индивидуальном производстве. Для изготовления выжигаемых моделей используют пенополистирол, который в 50...100 раз легче древесины, легко режется горячей проволокой и легко склеивается. Склеиванием можно получить полистироловые выжигаемые модели самой сложной конфигурации. Этот метод отличается большей точностью и экономией металла из-за отсутствия формовочных уклонов. Модели с литниковой системой заформовывают в металлические ящики, и в процессе заливки жидкий металл выжигает их и одновременно заполняет полость формы.

Непрерывное литье

При получении заготовок в металлургии и при изготовлении фасонных отливок различных профилей в литейном производстве широкое применение получило непрерывное литье. Непрерывная разливка стали является одним из высокоэффективных материало- и трудосберегающих процессов в металлургической промышленности на специальных установках для непрерывной разливки стали (УНРС).

В настоящее время разработаны машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), на которых получают различные отливки из железоуглеродистых, медных, алюминиевых и других сплавов. МНЛЗ в зависимости от характера движения формирующейся заготовки делятся на: радиальные и криволинейные (в условиях высокопроизводительных цехов); горизонтальные (отливка заготовок малых сечений, но широкого сортамента); вертикальные (для разливки качественных сталей).

Сущность непрерывного способа (рис. 59) состоит в том, что жидкий металл непрерывно заливают в кристаллизатор, представляющий собой водоохлаждаемую изложницу без дна. Сталь из ковша поступает в разливочное дозирующее (промежуточное) устройство, а из последнего – в кристаллизатор. Вначале в нижнюю часть кристаллизатора вводят затравку, например, металлическую штангу, нижний конец которой находится в тянущих роликах, а верхний образует временное дно кристаллизатора. Затем в водоохлаждаемый кристаллизатор заливается металл и включается механизм вытягивания. Последний при помощи тянущих роликов опускает затравку и образовавшийся слиток вниз.

Заливка металла в кристаллизатор и опускание слитка производятся с предельной скоростью (1,0...2,5 м / мин). Выходя из кристаллизатора, слиток с еще жидкой сердцевиной подвергается вторичному охлаждению с помощью распыленной форсунками воды. Окончательно затвердевший слиток в нижней части установки разрезается передвигающимися синхронно с ним газокислородным резаком на мерные заготовки. После отрезки куски слитка нужной длины, газорезка поднимается в исходное положение, а отрезанная заготовка транспортируется в прокатных цех или на склад.

Благодаря непрерывному питанию и направленной кристаллизации, в слитках, полученных непрерывным литьем, отсутствуют усадочные раковины. Поэтому выход годных заготовок может достигать 96...98 % от массы заливаемого сплава. Поверхность получаемых

слитков отличается хорошим качеством, а металл – плотным и однородным строением.

Непрерывным литьем получают слитки прямоугольного сечения размером от 150x50 до 300x200 мм, квадратного со стороной от 150 до 400 мм, а также круглого в виде толстостенных труб.

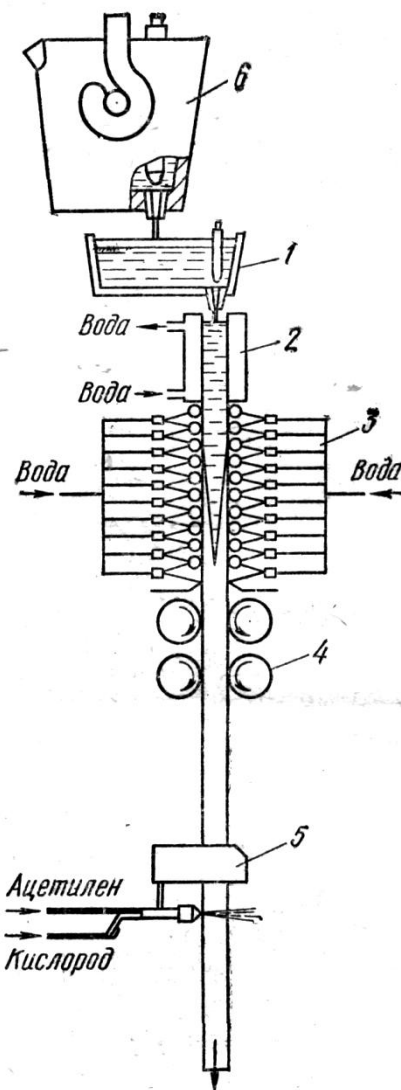


Рис. 59. Схема установки для непрерывной разливки стали:

- 1 – разливочное дозирующее устройство; 2 – медный охлаждаемый проточной водой кристаллизатор; 3 – форсунки для охлаждения слитка распыленной водой; 4 – ролики, тянущие слиток вниз; 5 – газорезка; 6 – стопорный ковш

ТЕМА 13. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Процесс обработки металлов давлением – это придание заготовке требуемой формы, размеров и физико-механических свойств без нарушения её сплошности путём пластической деформации

Деформацией называют изменение размеров и формы тела под действием приложенных сил.

Различают *упругую* (исчезающую) и *пластическую* (остаточную) деформации (*Тема 2.2. Пластическая деформация*).

Получение заготовок или деталей требуемых размеров и формы при обработке давлением достигается пластическим перемещением (сдвигом) части металла. В этом заключается основное отличие и преимущество обработки давлением по сравнению с обработкой резанием, при которой форма изделия получается удалением части металла заготовки.

Поэтому обработка давлением характеризуется малыми отходами металла, она является высокопроизводительным процессом, так как изменение размеров и формы заготовки достигается однократным приложением внешней нагрузки.

Холодная и горячая обработка давлением

Металлы промышленного производства имеют поликристаллическое строение, состоят из большого числа сросшихся кристаллов неправильной формы, называемых кристаллитами или зёрнами. Отличие соседних зерен заключается в различной пространственной ориентации кристаллических решеток.

При обработке давлением литых заготовок происходит пластическая деформация отдельных зёрен и их относительное смещение. Эта деформация сопровождается дроблением зёрен и их удлинением, металл приобретает мелкозернистую, строчечную, волокнистую структуру. Различают деформацию внутрикристаллическую (протекающую внутри зерен) и межкристаллическую (протекающую по границам зерен). При обработке металлов давлением наблюдаются оба вида деформации одновременно. Однако при комнатной температуре преобладает внутрикристаллическая деформация, а при высокой температуре – межкристаллическая, так как при нагреве связи между зёрнами ослабевают.

В зависимости от температурных условий деформирования различают *холодную и горячую обработку металлов давлением*.

В процессе деформации происходит изменение физических, химических и механических свойств материала (*Тема 2.3. Наклеп и рекристаллизация*).

Волокнистая структура, образовавшаяся при холодной обработке, обладает явно выраженными анизотропными свойствами. Установлено, что прочность и ударная вязкость металла, имеющего волокнистое строение выше вдоль волокон, чем поперёк волокон, что используется при изготовлении деталей.

Обработка металлов давлением, выполняемая при температуре ниже $T_{рек}$, называется *холодной*, обработка при температуре выше $T_{рек}$ называется *горячей* обработкой давлением. При горячей обработке в металле протекают одновременно процесс упрочнения и разупрочнения.

Скорость процесса разупрочнения, вызванного рекристаллизацией, обычно превышает скорость процесса упрочнения.

При горячей обработке образуется структура с анизотропными свойствами. Механические свойства при горячей обработке металлов давлением изменяются незначительно.

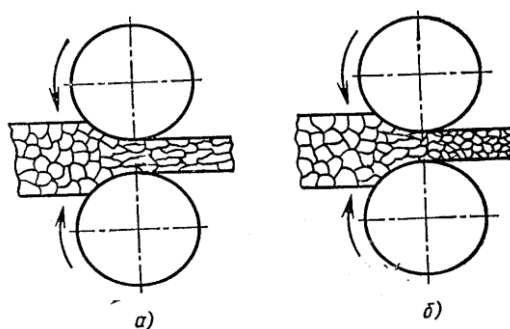


Рис. 60. Схемы изменения микроструктуры металла при обработке давлением:
а – холодной; б – горячей

При горячей обработке происходит дробление зерен, образуется мелкозернистая структура с равноосными зёрнами, плотность металла при этом увеличивается, так как завариваются внутренние поры, раковины, микротрещины, газовые пузыри (рис. 60).

Нагрев металла перед обработкой давлением

Для повышения пластичности и уменьшения сопротивления деформации металлы и сплавы перед обработкой давлением нагревают до определённой температуры. Например, при нагреве выше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопротивление деформированию уменьшается в десятки раз, пла-

стичность увеличивается на десятки процентов, и почти полностью исчезают упругие свойства. Однако для каждого металла существует такой температурный интервал (диапазон температур начала и окончания обработки), в котором обеспечиваются оптимальные условия горячей обработки давлением.

При нагреве металла происходят следующие явления, которые необходимо учитывать при выборе температуры и режима нагрева:

1. *Окисление металла.* При нагревании выше 700 °С происходит интенсивное окисление поверхностного слоя с образованием окалина, состоящей из оксидов Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO .

При достижении температуры 1300...1350 °С окалина плавится, и заготовка горит с образованием снопа ярко-голубых искр.

Потери металла на окалину (угар) при однократном нагреве в пламенной печи составляют 1,5...2,5 % , а при электронагреве 0,4...0,7 %.

В пламенных печах тепло образуется при сгорании жидкого (мазута) или газообразного топлива.

Кроме безвозвратных потерь металла образование окалина в 1,5-2 раза повышает интенсивность изнашивания деформирующего инструмента, так как твёрдость окалина выше твёрдости деформируемого металла.

2. При высоких температурах наряду с окислением металла происходит *обезуглероживание* поверхностного слоя стали, вследствие выгорания углерода. Толщина обезуглероженного слоя составляет обычно 0,2...0,5 мм, достигая иногда 1,5...2,0 мм.

Для уменьшения указанных процессов нагрев заготовок желательно проводить в защитной среде.

Для каждого металла или сплава существует свой оптимальный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, при высоких температурах нагрева стали интенсивно растёт зерно аустенита, пластичность снижается на 25 %, значительно снижаются механические свойства. Это явление называется *перегревом*. Структуру перегретой стали можно исправить последующим отжигом.

При нагреве стали до температуры, близкой к температуре плавления (солидус), происходит интенсивная диффузия в неё кислорода, образование оксидов по границам зёрен и расплавление легкоплавких межзёренных прослоек, что приводит к появлению трещин и потере пластичности. Это явление называется *пережогом*. Температура пережога для углеродистых сталей в зависимости от содержания угле-

рода находится в пределах 1490...1180 °С (для сталей с 0,1 до 1,1 % углерода).

Пережог не устраняется термической обработкой, и металл идёт на переплавку.

Температурный интервал горячей обработки давлением углеродистых сталей можно изобразить графически (рис. 61).

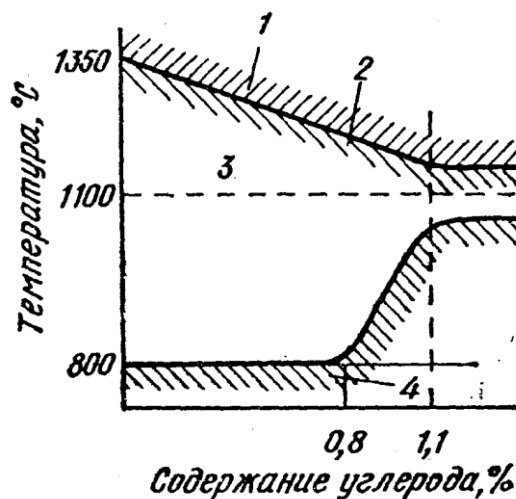


Рис. 61. Оптимальные температуры начала и конца горячей обработки давлением:

1 – зона пережога; 2 – зона перегрева; 3 зона горячей обработки давлением; 4 – зона наклепа

Процессы обработки металлов давлением

В современном производстве применяют следующие виды обработки металлов давлением: прокатку, прессование, волочение, ковку и штамповку (рис. 62).

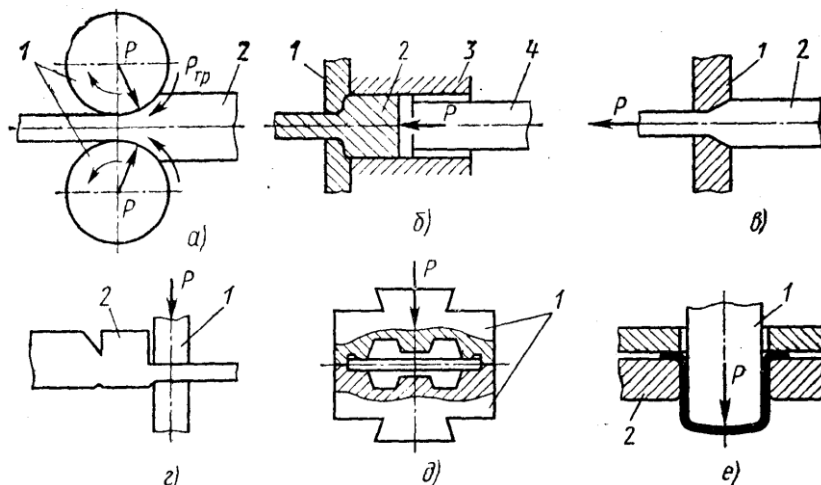


Рис. 62. Схемы основных видов обработки металлов давлением

Прокатка (Рис. 62, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками. Силами трения $R_{тр}$ заготовка втягивается между валками, а силы P , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

Прессование (Рис. 62, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3 через отверстие матрицы 1. Причём форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна перемещению давящего инструмента 4.

Волочение (Рис. 62, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1. Площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму конечного сечения матрицы.

Ковкой (Рис. 62, г) изменяют форму и размеры заготовки 2 путём последовательного воздействия специальным инструментом 1 на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специального инструмента *штампа* (для каждой детали изготавливают свой штамп). Различают *объёмную* (Рис. 62, д) и *листовую* (Рис. 62, е) штамповку. При объёмной штамповке на заготовку воздействуют специальным инструментом – штампом 1, при этом металл заполняет полость штампа, приобретая её форму и размеры. При листовой штамповке получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 матрицы 2.

Рассмотрим подробнее перечисленные выше виды обработки металлов давлением.

Прокатка

Прокатка является одним из наиболее распространенных видов обработки металлов движением. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками.

В зависимости от числа валков и расположения их в рабочих клетях прокатные станы бывают двухвалковые, трёхвалковые (трио), четырёхвалковые (кварто), многовалковые и специальные.

Прокатные станы могут быть одноклетьевыми (с одной рабочей клетью) и многоклетьевыми. Они имеют привод, включающий электродвигатель, и передаточный механизм.

Наиболее совершенные многоклетьевые станы – непрерывные, у которых рабочие клетки располагают последовательно одну за другой. Прокатываемая полоса через каждую клетку проходит только один раз, то есть число рабочих клеток этих станов равно требуемому числу проходов полосы. Расстояние между клетками обычно меньше длины прокатываемой полосы, следовательно, она прокатывается одновременно в нескольких клетках. На непрерывных станах достигается высокая производительность при полном исключении ручного труда.

По назначению прокатные станы распределяются на 3 группы:

- для производства полупродукта;
- станы готовой продукции;
- станы специального назначения.

Первая группа включает *обжимные станы* (блюминги и слябинги) для получения полупродуктов (полуфабрикатов) крупного сечения. Стальные слитки квадратного или прямоугольного сечения массой до 15 т прокатываются на обжимных станах – блюмингах. Получаемые блюмы имеют сечение от 450х450 мм до 150х150 мм.

При производстве листового проката полуфабрикатами являются слябы, имеющие толщину до 350 мм и ширину до 2300 мм.

Форму поперечного сечения прокатанного изделия называют *профилем*. Совокупность форм и размеров профилей называют *сортаментом*. Сортамент прокатываемых профилей стандартом разделяется на 4 группы: сортовой прокат, листовой, трубный и специальные виды проката.

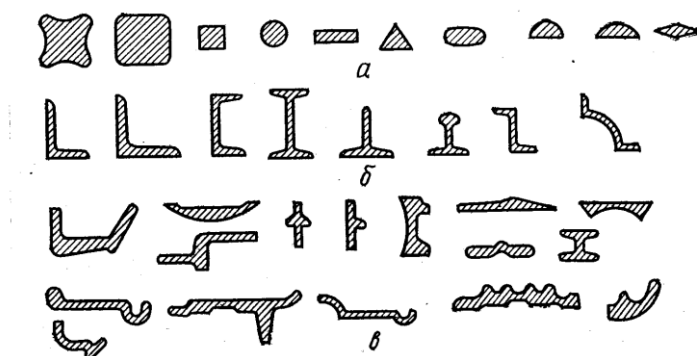


Рис. 63. Сортамент проката:
 а – простого профиля; б – фасонный общего назначения;
 в – специального назначения

Сортовой прокат разделяют на простой геометрической формы (круг, квадрат, шестигранник, прямоугольник) и сложной фасонной формы (уголок, швеллер, тавровая балка, рельс, двутавр и др.) (рис. 63).

Листовой прокат делят на толстолистовой (с толщиной листа > 4 мм) и тонколистовой (с толщиной листа < 4 мм).

Трубный прокат – это бесшовные и сварные трубы. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30...650 мм с толщиной стенки $t = 2...160$ мм (из углеродистых и легированных сталей). Сварные – трубы диаметром 50...2500 мм с толщиной стенки 0,5...16 мм из углеродистых и низколегированных сталей. Сварные трубы большого диаметра изготавливают с применением автоматической дуговой сварки под флюсом.

Специальный прокат – законченной формы (бандажи железнодорожных колёс, шарики для шарикоподшипников, башмаки (траки) гусеничных тракторов и др.).

Прессование

Прессованием называется процесс обработки металлов давлением путём выдавливания его пуансоном через отверстие в матрице. При этом металл принимает форму, соответствующую сечению отверстия в матрице.

Чаще прессование применяют для получения изделий из цветных металлов и сплавов. Прессованные изделия отличаются более точными размерами, чем катаные (после прокатки).

Для получения прессуемых изделий хорошего качества степень обжатия должна составлять 80...95 %.

Прессование является высокопроизводительным и экономичным способом обработки металлов и сплавов, при котором можно получать сплошные и полые профили (рис. 64, а).

Прессование металла происходит в условиях неравномерного всестороннего сжатия. При этой схеме деформированный металл наиболее пластичен. Поэтому прессованием можно обрабатывать как пластичные, так и малопластичные сплавы: медные, алюминиевые, магниевые, титановые, углеродистые и легированные стали и др. К недостаткам процесса можно отнести значительные (иногда до 40 % от массы заготовки) отходы металла и интенсивный износ инструмента, особенно при прессовании сталей и других труднодеформируемых сплавов.

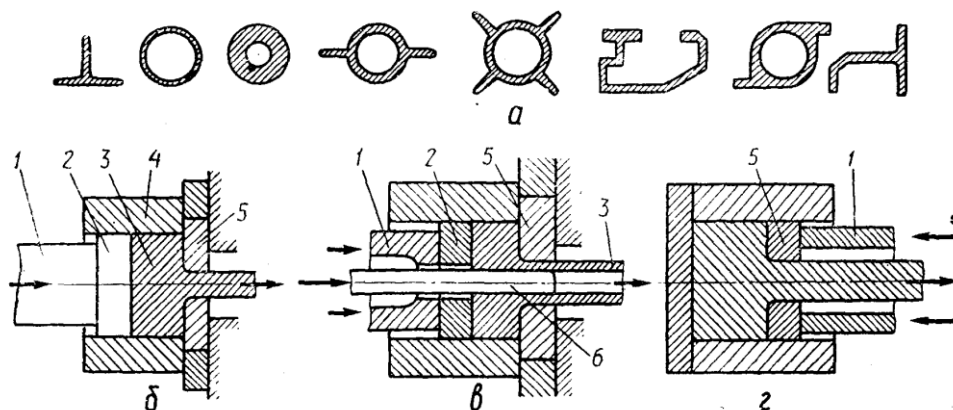


Рис. 64. Примеры прессованных изделий и схемы прессования

Прессованием получают прутки диаметром 5...250 мм, проволоку диаметром 5...10 мм, трубы с наружным диаметром 20...400 мм и толщиной стенки 1,5...12 мм и другие изделия. Благодаря гибкости, легкости переналадки на изготовление другого профиля прессованием, по сравнению с прокатыванием, выгоднее изготавливать малые серии профилей.

Исходной заготовкой для прессования является слиток или круглый прокат. Различают прямое и обратное прессование.

При *прямом прессовании* (рис. 64, б) направление выхода металла через отверстие матрицы 5 совпадает с направлением движения пуансона 1, давление которого на заготовку 3 передается через пресс-шайбу 2. Часть заготовки, которая остается в контейнере 4, называют пресс-остатком. Масса его составляет обычно 8...12 % от массы слитка.

При *прессовании труб* заготовка сначала прошивается иглой 6 (рис. 64, в), проходящей через полый пуансон 1. При дальнейшем перемещении пуансона и пресс-шайбы 2 металл выдавливается в виде трубы 3 через кольцевой зазор между стенками отверстия в матрице 5 и иглой.

При *обратном прессовании* (рис. 64, г) матрица 5 устанавливается в конце полого пуансона 1, и металл вытекает в направлении, обратном перемещению пуансона. Этот метод характеризуется меньшими отходами (масса пресс-остатка составляет 6...10 % от массы заготовки) и меньшим усилием прессования, но из-за сложности оборудования он находит ограниченное применение.

Оборудованием для прессования служат горизонтальные и вертикальные гидравлические прессы с усилием 3...250 МН с рабочим

давлением жидкости до 40 МПа. В последнее время все большее применение (особенно при производстве изделий из труднодеформируемых сплавов) находит гидропрессование – прессование металлов под непосредственным воздействием давления жидкости до 2000 МПа и выше.

Волочение

Сущность процесса волочения состоит в деформации металла путем протягивания его через сужающийся по длине канал круглого, квадратного или более сложного профиля. Волочительный инструмент называется *волоком (матрица фильера)*, изготавливается из инструментальной стали, твердых сплавов или алмаза. Алмаз используется в виде кольцевой вставки.

Коэффициент обжатия за один проход для стали составляет 10...19 %, для цветных металлов и сплавов до 36 %.

Чтобы не было обрывов, усиление на волочение не должно превышать 0,6 предела прочности металла заготовки.

Волочение чаще всего относится к холодной обработке металлов давлением, поэтому после каждого прохода или нескольких проходов проводится термическая обработка для снятия наклепа. Поскольку тянущее усилие при волочении затрачивается не только на деформирование металла, но и на преодоление силы трения металла об волоку, то эти силы трения уменьшаются с применением смазки: касторового масла, олифы, минеральных масел с добавлением талька, порошка графита, мыла и др.

Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, очень разнообразен (рис. 65, а) это проволока диаметром 0,002...5 мм, различные фасонные профили. Волочением калибруют стальные трубы диаметром от капиллярных до 200 мм, стальные прутки диаметром 3...150 мм. При необходимости, благодаря наклепу, волочением можно повысить прочность и твердость металла.

Инструментом для волочения служит волочительная матрица (волока). Рабочая часть матрицы изготавливается из инструментальных сталей, твердых сплавов и технических алмазов. В последнее время успешно используют безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида хрома.

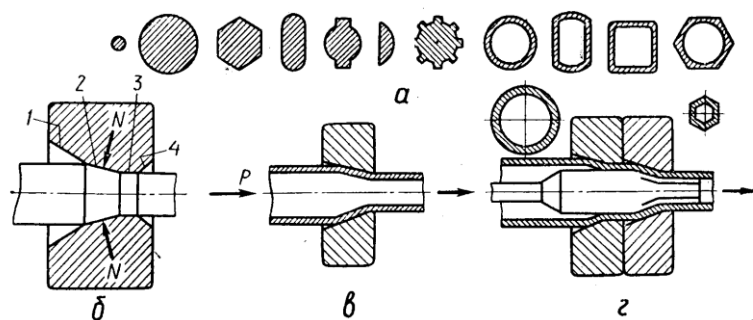


Рис. 65. Схемы различных способов волочения

Волочение производят на волочильных станах, в которых заготовки с помощью тянущего устройства протягиваются через отверстие матрицы. Различают волочильные станы периодического действия с прямолинейным движением тянущего устройства (чаще всего цепные) и станы непрерывного действия (барабанные).

Свободная ковка

Процесс свободного течения металла под воздействием периодических ударов или статических воздействий инструмента называется свободной ковкой. Металл свободно течет в направлениях, не ограничиваемых рабочими поверхностями инструмента.

Кованые заготовки называют поковками. Они подлежат последующей механической обработке.

Ковкой получают поковки массой от 0,1 кг до 300 т. Крупные поковки (массой выше 1,5 т) получают из слитков только ковкой. Меньшие заготовки можно получить штамповкой, но из-за сложности инструмента штамповка применяется только в массовом и крупносерийном производстве. Ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

Свободная ковка разделяется на ручную и машинную.

Ручная ковка, как древнейший способ обработки металлов давлением, сохранилась в настоящее время в мелких ремонтных мастерских.

Свободная машинная ковка осуществляется на молотах и прессах. Молотами называются машины ударного действия, в которых энергия привода перед ударом преобразуется в кинематическую энергию линейного движения рабочих масс с закрепленным на них инструментом, а во время удара – в полезную работу деформирования поковки. Существуют молоты с массой падающих частей от 160 кг до 16 т. По конструкции и типам привода молоты подразделяются

на паровоздушные, пневматические, электромеханические, газовые и высокоскоростные.

Гидравлические прессы отличаются от молотов тем, что они оказывают статическое воздействие на заготовку. Продолжительность деформации доходит до десятков секунд, а скорость деформации составляет 2-3 м / мин.

Гидравлические прессы изготавливают с максимальным усилием 5...150 МН. Они чаще используются для получения крупных поковок, а также при ковке малопластичных высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов.

При изготовлении поковок из слитков масса отходов составляет 25...35 % от массы слитка. Угар составляет 2...3 % от массы слитка или заготовки при каждом нагреве и 1,5...2 % при каждом последующем подогреве. Массу обсечек принимают для простых поковок 5...8

Самую сложную ковку можно получить, выполняя в определенной последовательности основные технологические операцииковки (рис. 66).

К основным преимуществам свободнойковки относятся:

Вытяжка представляет собой операцию, при которой длина поковки увеличивается за счет уменьшения ее поперечного сечения. Вытяжка выполняется ковкой на квадрат, после чего (если нужно) поковке придают цилиндрическую или какую-либо иную форму. Вытяжка производится между бойками молота, причем заготовку кладут поперек бойков, передвигая ее после каждого удара. Вытяжку применяют для изготовления различных тяг, рычагов, валов и т. д.

Осадка представляет собой операцию, обратную вытяжке. При осадке поперечное сечение поковки увеличивается за счет уменьшения ее высоты. Во избежание возможного продольного искривления заготовки при осадке отношение ее высоты к диаметру или меньшей стороне сечения должно быть не более 2,5. Осадку выполняют бойками или осадочными плитами.

Высадка – увеличение поперечного сечения части заготовки, например, высадкой получают головку болта.

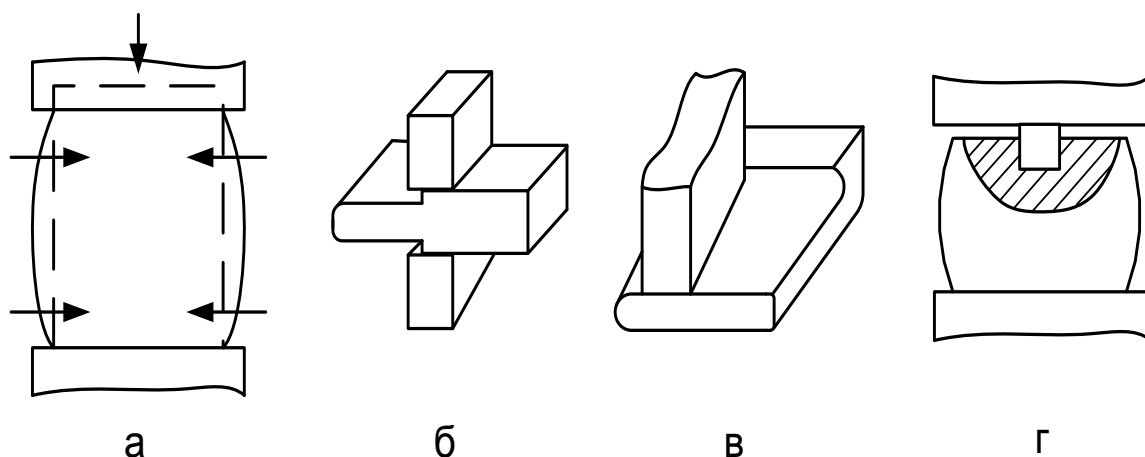


Рис. 66. Основные операции свободнойковки:

а – осадка; б – вытяжка; в – разгонка; г – прошивка

Большая деформация заготовки в направлении ее ширины за счет перпендикулярного расположения оси заготовки относительно ширины бойков называется *разгонкой (уширением)*.

Рубка – операция отделения части заготовки. Имеются два вида рубки: надрубание (наметка) и отрубание. Для рубки используют кузнечные зубила, подсечки, топоры.

Гибка – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Для гибки производят местный нагрев заготовки. В месте изгиба толщина заготовки уменьшается. Гибка производится кувалдами или ручниками, причем заготовка зажимается между бойками молота.

Пробивка и прошивка – операция получения отверстия в заготовке. Прошивкой получают отверстия в тонких заготовках, пробивкой – в более толстых. Эта операция складывается из двух приемов: вначале пробойник вгоняют на половину толщины заготовки, затем после кантовки на 180° окончательно пробивают отверстие. Для пробивки и прошивки используют пробойники и воротки.

Закручивание – операция поворачивания части заготовки относительно другой на определенный угол вокруг общей оси. Операция выполняется воротком или вилкой.

Кузнечная сварка – операция соединения кусков стали, нагретых до пластического состояния, с применением внешнего давления. В связи с развитием новых видов сварки эта операция применяется редко.

Следует отметить преимущества свободнойковки:

1. Получение металла высокого качества и свойств по сравнению с отливками.

2. Возможность получать крупные поковки по массе и габаритам, что другими способами либо недостижимо или экономически нецелесообразно.

3. Для изготовления крупных поковок требуются сравнительно небольшие усилия, так как обработка осуществляется деформированием небольших участков.

4. Применение универсального оборудования и инструмента значительно снижает затраты на изготовление поковок, особенно в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

Однако свободная ковка имеет ряд существенных недостатков:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей штамповкой.

2. Большие допуски и припуски (особенно на крупных поковках), что требует большого объема последующей обработки и вызывает повышенные отходы металлов в стружку.

Поэтому в настоящее время область применения свободнойковки все более сокращается по сравнению с объемной штамповкой. Но в ряде случаев, особенно при единичном и мелкосерийном производстве, а также при изготовлении уникальных по габаритам заготовок (например, в тяжелом машиностроении) свободная ковка оказывается более экономически целесообразным способом получения деформированных заготовок.

Горячая объемная штамповка

Объемная штамповка – процесс изготовления поковок в штампах, при котором течение металла в стороны во время деформирования ограничено поверхностями отдельных частей штампа.

По сравнению со свободной ковкой объемная штамповка имеет следующие преимущества:

1. Высокая производительность (десятки сотни поковок в час), превышающая в 50...60 раз производительностьковки.

2. Высокая точность изделий (припуски и допуски в 3-4 раза меньше, чем при ковке), благодаря чему значительно уменьшается расход металла в стружку.

3. Возможность получения поковок сложной формы и с высоким качеством поверхности.

На одном штампе в зависимости от сложности, материала и массы заготовки, а также от способа штамповки можно получить от 10 до 25 тысяч поковок.

К недостаткам объемной штамповки относятся: сложность и дорогостоящая инструментальная оснастка – штампа; ограниченность массы поковок, так как усилия деформации при штамповке значительно выше, чем при ковке в крупносерийном и массовом производствах.

Объемную штамповку выполняют в штампах, состоящих обычно из двух половин, которые в собранном виде создают одну или несколько внутренних полостей, называемых ручьями. В отличие от свободнойковки течение металла при деформации ограничено внутренними стенками штампа. Изделия, получаемые штамповкой, отличаются высокой точностью размеров, хорошим качеством поверхности и небольшими припусками и допусками.

Штампы изготавливают из сталей марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 3Х2В8Ф и др. Каждый штамп предназначен для получения поковок определенной конфигурации, размера и массы.

Открытыми штампами называют такие, у которых вокруг всего внешнего контура штамповочного ручья есть специальная облойная канавка 4, соединенная тонкой щелью с полостью 3, образующей поковку (рис.67, а). В процессе штамповки через щель в канавку вытесняется избыточная часть металла, образуя по контуру поковки облой. Это приводит к некоторому увеличению отходов металла, но зато упрощает процесс штамповки. Облой с поковки обрезают особыми штампами.

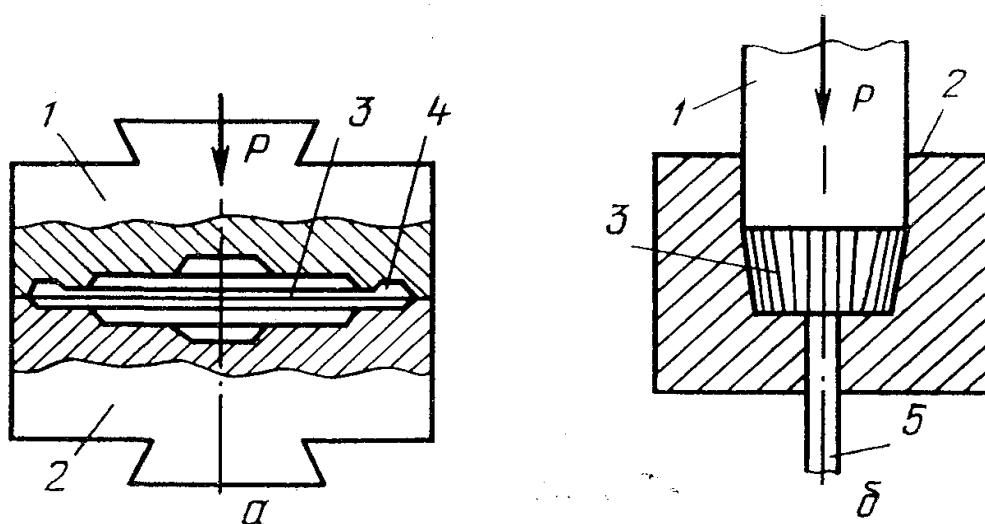


Рис. 67. Схемы открытого (а) и закрытого (б) штампов:

1 – верхняя часть штампа; 2 – нижняя часть штампа;

3 – полость штампа;

4 – облойная канавка; 5 – выталкиватель

Закрытыми штампами называют такие, в которых металл деформируется в замкнутом пространстве Σ без образования облоя (рис.67, б). Расход металла на изготовление поковки сокращается, а процесс получения годной поковки усложняется. Закрытые штампы более перспективны, но из-за сложности их применяют пока редко.

В штампах с одним ручьем изготавливают поковки простой формы, а поковки сложной конфигурации получают в многоручьевых штампах.

Горячей объемной штамповкой получают крупные поковки массой 450...500 кг, а холодной – более мелкие. При горячей объемной штамповке основным исходным материалом служит сортовой прокат из стали, цветных металлов и их сплавов. Технологический процесс горячей объемной штамповки в общем случае состоит из следующих операций: разделка проката на заготовки определенной массы и размеров; загрузка заготовок в печь и нагревание до определенной температуры (900...1200 °С для стали); укладка заготовки на нижнюю половину штампа и штамповка; удаление поковки из штампа; термическая обработка поволоков; обрубка облоев и отделка.

Горячую объемную штамповку выполняют на штамповочных молотах, ковочно-штамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах и другом оборудовании. Получают разнообразные изделия: коленчатые валы, колеса, шатуны, рычаги, шестерни, болты, гайки, втулки и др. В связи со значительной стоимостью штампов штамповку рентабельно применять только в условиях крупносерийного и массового производства.

Холодную объемную штамповку подразделяют на плоскую и объемную калибровку, холодное выдавливание, холодную высадку и чеканку.

Плоскую калибровку применяют для получения точных размеров между отдельными плоскостями, а объемную – для отделки поверхности поковки при одновременном повышении точности всех ее размеров. Калибровку выполняют на шарнирно-рычажных чеканочных прессах. Холодное выдавливание (прямое и обратное) подобно прессованию. Применяют в основном при обработке цветных металлов и сплавов. Холодную высадку широко используют для получения мелких деталей в массовом производстве (гайки, болты, шурупы, заклепки, гвозди и т. п.). Чеканка – получение на поверхности готовой детали выпукло-вогнутого рельефа. Примером может служить чеканка монет, знаков, медалей и т. д.

Листовая штамповка

Листовая штамповка является одним из прогрессивных методов формообразования на прессах при помощи штампов и широко применяется во всех отраслях машиностроения, приборостроительной, электротехнической и металлообрабатывающей промышленности.

Листовой штамповкой изготавливают самые разнообразные плоские и пространственные детали массой от долей грамма и размерами, исчисляемыми долями миллиметра (например, секундная стрелка ручных часов), и детали массой в десятки килограммов и размерами, составляющими несколько метров (облицовка автомобиля, самолета, ракеты).

Листовой штамповкой изготавливают изделия для автомобилей, тракторов, комбайнов, самолетов, сельскохозяйственных машин, холодильников. Особенно велик объем применения листовой штамповки в судостроении (корпусное производство, двери, настилы, переборки). Удельный вес листовой штамповки по расходу материалов в основных отраслях машиностроения и производства товаров народного потребления составляет свыше 60 %. Широкое развитие листовой штамповки объясняется целым рядом ее достоинств, а именно:

1. Высокая производительность процесса и вследствие этого низкая себестоимость штампуемых деталей.

2. Сравнительно с другими способами обработки – резанием – незначительные отходы металла.

3. Взаимозаменяемость деталей ввиду их точности.

4. Возможность получения достаточно простых и жестких, но легких деталей.

5. Широкие возможности механизации и автоматизации процесса.

В зависимости от толщины листа-заготовки штамповку можно условно разделить на тонколистовую (толщиной листа до 4 мм) и толстолистовую (толщина более 4 мм). Листовой металл толщиной свыше 15 мм, как правило, штампуют в горячем виде. Диапазон размеров штампуемых листовых деталей очень широк: от нескольких миллиметров до 6...7 м при толщинах от десятых долей миллиметров до 100 мм и выше.

В листоштамповочном производстве широко применяются как черные металлы (стали, сплавы на основе железа), так и цветные металлы и сплавы на их основе.

К первой группе относятся углеродистые стали (обыкновенного качества, качественные и конструкционные), легированные конструкционные стали (10ГСА, 25ХГСА и др.), стали и сплавы высоколегированные, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Ко второй группе относятся наиболее распространенные в промышленности медь и ее сплавы (М1, МЗ, Л62, ЛС59-1 и др.), никель, алюминий, магний, титан и сплавы на их основе. В листовой штамповке используют также биметаллический и многослойный лист.

Как правило, при листовой штамповке пластическую деформацию получает лишь часть заготовки. Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающей характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Операции листовой штамповки могут быть разбиты на следующие основные группы: разъединительные, формоизменяющие, пресовочные, комбинированные и штамповочные. К разъединительным (разделительным) операциям, связанным с отделением одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, следует отнести отрезку, вырубку (вырезку), пробивку отверстий, надрезку, обрезку и зачистку (рис. 68).

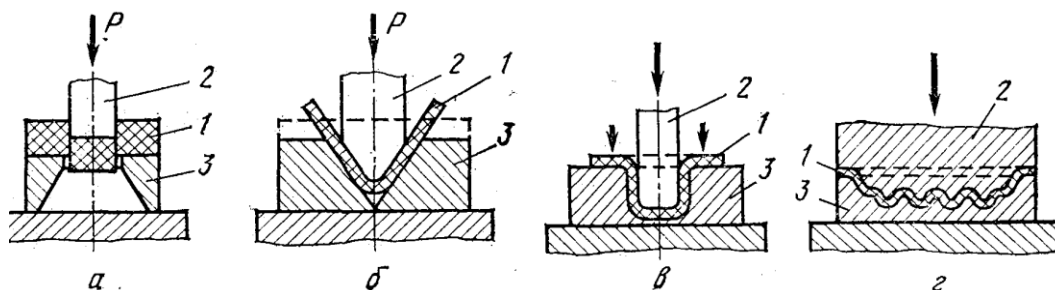


Рис. 68. Схемы основных операций листовой штамповки:
 а – вырубка, б – гибка; в – вытяжка с отбортовкой; г – формовка;
 1 – заготовка и изделие; 2 – пуансон; 3 – штампы (матрица)

Процессы листовой штамповки постоянно совершенствуются и развиваются. Наряду с традиционными методами получают широкое развитие такие, как обтяжка с расщеплением по пуансону, сложная вытяжка, штамповка эластичным инструментом, групповые методы штамповки и др. Разработаны новые конструкции переналаживаемых штампов и другие устройства, позволяющие применять листовую штамповку не только в массовом и крупносерийном производстве, но и в производстве деталей средними и мелкими сериями.

ТЕМА 14. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Среди большого разнообразия производственных способов горячей обработки металлов и сплавов, сварка является одним из наиболее распространённых как в машиностроении, так и сельскохозяйственном ремонтном производстве.

Появление электросварки, без которой немыслимо машиностроение и ремонтное производство, связано с открытием русским профессором физики Василием Владимировичем Петровым в 1802 году явления электрической дуги. В.В.Петров ещё в то время указал на возможность применения электрической дуги для расплавления металлов.

Спустя 80 лет, в 1882 году талантливый русский изобретатель Н.Н. Бенардос применил электрическую дугу для сварки металлов с использованием угольного электрода.

Почти одновременно с Бенардосом над этой проблемой работал другой русский изобретатель инженер-металлург Н. Г. Славянов, который в 1888 году разработал способ дуговой сварки металлическим электродом.

Изобретения Бенардоса и Славянова были запатентованы в России, Англии, Франции, Германии, США, Австрии и других странах. Изобретатели были награждены золотыми медалями Русским техническим обществом. Н.Г.Славянов получил золотую медаль на всемирной технической выставке в Чикаго

Сейчас нет такой отрасли промышленности, машиностроения или строительства, в которой не применяется сварка, а в ряде отраслей она стала ведущим технологическим процессом.

Выдающийся вклад в разработку теоретических основ сварки внесли российские учёные К.В. Любавский, К.К. Хренов, Г.А. Николаев, Е.О. Патон, Н. Н. Рыкалин, Б.Е. Патон и др.

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения деталей машин, конструкций и сооружений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого.

Сварка применяется для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов, металлов с некоторыми неметаллическими материалами, а также пластмасс.

Сварка является экономически выгодным, высокопроизводительным и в значительной степени механизированным технологиче-

ским процессом. Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами и молекулами на поверхности соединяемых заготовок. Межатомные, межионные, межмолекулярные связи образуются в результате совместной кристаллизации (после расплавления) или в результате местной пластической деформации в сочетании с рекристаллизацией или в результате диффузии.

Необходимыми условиями для создания межатомных и межмолекулярных связей являются температура, время контакта и качество поверхности. Поэтому требуется введение определённой энергии для активации состояния поверхности. Эта энергия сообщается в виде теплоты, упругопластической деформации, ионного, электронного и других видов облучения. В результате поверхностные атомы металлов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решётки, а на поверхности пластмасс происходит объединение частей молекулярных цепей.

Существует свыше 60 видов сварки, которые классифицируются по физическим, техническим и технологическим признакам.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический.

К *термическому классу* относятся виды сварки плавлением с использованием тепловой энергии, а именно: дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, индукционная, газовая и др.

К *термомеханическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления: контактная, диффузионная, индукционно-прессовая, газопрессовая, шлакопрессовая, термитно-прессовая и др.

К *механическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.

Из всех перечисленных видов сварки наиболее широкое применение нашли электрическая дуговая сварка плавлением и газовая сварка. Оборудование и особенности технологии этих видов сварки подробно рассмотрены в теоретической части практических работ №№ 10 и 11.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие добавки включают в себя формовочные смеси, кроме песка и глины?
2. Что такое газопроницаемость формовочной смеси?
3. Что такое прочность формовочной смеси?
4. Что такое пластичность формовочной смеси?
5. Что такое податливость формовочной смеси?
6. Каково основное назначение модели отливки?
7. Что называется литейной усадкой?
8. Что такое жидкотекучесть сплавов, и от каких факторов она зависит?
9. Перечислите основные недостатки литья в песчано-глинистые смеси.
10. Назовите основные преимущества кокильного литья.
11. Почему при кокильном литье возникает опасность возникновения трещин?
12. Из каких материалов изготавливают оболочковые формы?
13. Перечислите основные недостатки литья в оболочковые формы?
14. Поясните сущность литья под давлением.
15. Каковы основные преимущества литья под давлением?
16. Как изменяются свойства при наклепе металлов?
17. При каких температурах необходимо проводить обработку давлением?
18. Перечислите дефекты нагрева при обработке давлением.
19. Назовите основные виды прокатки.
20. Назовите основные виды прокатных станов.
21. Какие детали и изделия получают волочением?
22. Из каких материалов изготавливают волокнистые материалы?
23. Чем отличается горячая объемная штамповка отковки?
24. Для чего в открытых штампах предусмотрены облойные канавки?
25. На каком оборудовании выполняется горячая объемная штамповка?
26. Для деталей какого вида и каких материалов применяется холодная объемная штамповка?
27. Какова классификация видов сварки?
28. Назовите типы сварных соединений.
29. Перечислите виды сварных швов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Цель работы: изучить оборудование и оснастку для электрической дуговой сварки, ознакомиться с основами технологии расчета основных параметров режима сварки, приобрести навыки определения качества сварного шва.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Сварочный пост с принудительной вентиляцией.
2. Сварочный трансформатор ТДМ-317.
3. Электродвигатель.
4. Сварочный кабель.
5. Защитный щиток.
6. Образцы сварных соединений.
7. Лупа.

Порядок работы

1. Ознакомиться с имеющимся на кафедре оборудованием электрической дуговой сварки.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Визуально или с помощью лупы определить качество выданных образцов сварных соединений, описать обнаруженные дефекты.
4. Получить у преподавателя индивидуальное задание (табл. 30) и выполнить расчеты по определению диаметра электрода и силы сварочного тока для конкретных условий сварки

Общие положения

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном (общем) нагреве или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

В зависимости от вида энергии, применяемой при сварке, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический. Наибольшее распространение в машиностроении и ремонт-

ном производстве получили термический и термомеханический классы сварок.

К термическому классу относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии электрической дуги, газового пламени, лучевых источников энергии и др.

К термомеханическому классу сварки относятся виды сварки, при которых используются тепловая энергия и давление: контактная, диффузионная, газопрессовая и др.

К механическому классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии: сварка давлением, взрывом, трением, ультразвуковая сварка и др.

Образование сварного соединения сопровождается сложными химическими и физическими процессами. При нагреве в металле происходят структурные и фазовые превращения: растворение вторичных фаз, полиморфные превращения (переход низкотемпературной модификации в высокотемпературную), плавление.

При охлаждении структурные и фазовые превращения идут в обратном порядке: кристаллизация, полиморфные превращения, выпадение вторичных фаз (карбидов и др.). Кроме названных превращений, в металле в низкотемпературной области при сварке происходят структурные изменения, вызывающие разупрочнение основного металла, например, рекристаллизация и др.

Сварное соединение при сварке плавлением (рис 69, а) включает в себя сварной шов 1, то есть участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны; зону оплавления 2, где находятся частично оплавленные зерна на границе шва и основного металла; зону термического влияния 3, то есть участок металла, структура и свойства которого изменились в результате нагрева; основной металл 4, не изменивший свойств при сварке.

Соединение, выполненные сваркой давлением (рис.69, б), сварного шва не имеет и состоит из зоны соединения 2, где образовались межатомные связи свариваемых частей, зоны термомеханического влияния 3, основного металла 4.

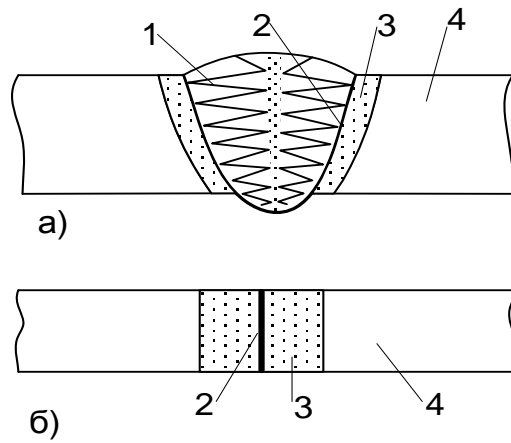


Рис. 69. Схема сварного соединения:

а – при сварке плавлением;

б – при сварке давлением;

1 – сварной шов; 2 – зона оплавления (сцепления);

3 – зона термического (термомеханического) влияния;

4 – основной металл

Сварные соединения могут быть стыковыми, угловыми, нахлесточными и тавровыми (рис. 70).

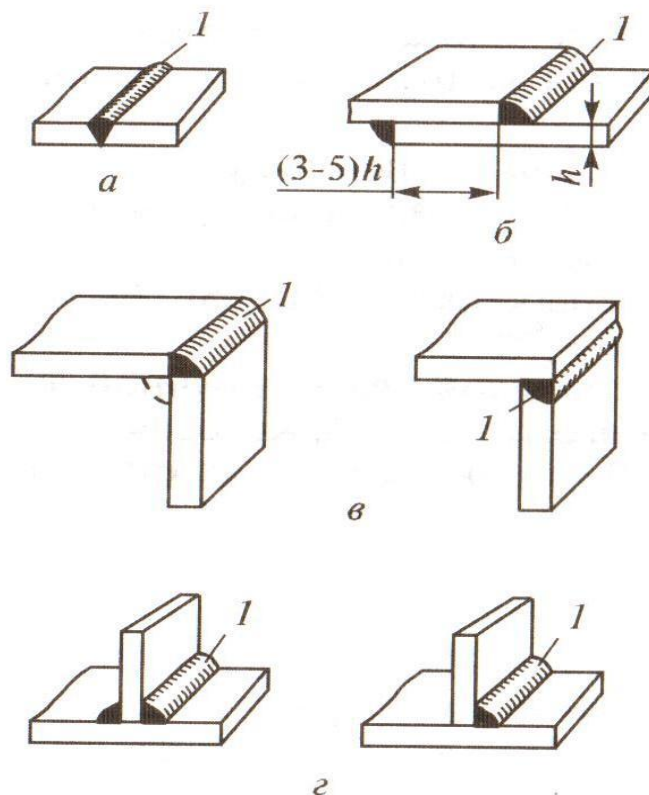


Рис. 70. Виды сварных соединений:

а – стыковое; б – внахлестку; в – угловое; г – тавровое;

1 – сварной шов

При сварке внахлестку свариваемые элементы и изделия накладываются друг на друга с перекрытием, равным 3-5 толщинам пластин. При этом не требуется подготовка кромок. Угловые и тавровые соединения также не всегда требуют подготовки кромок. При стыковой сварке характер подготовки кромок зависит от толщины свариваемых элементов (рис. 71).

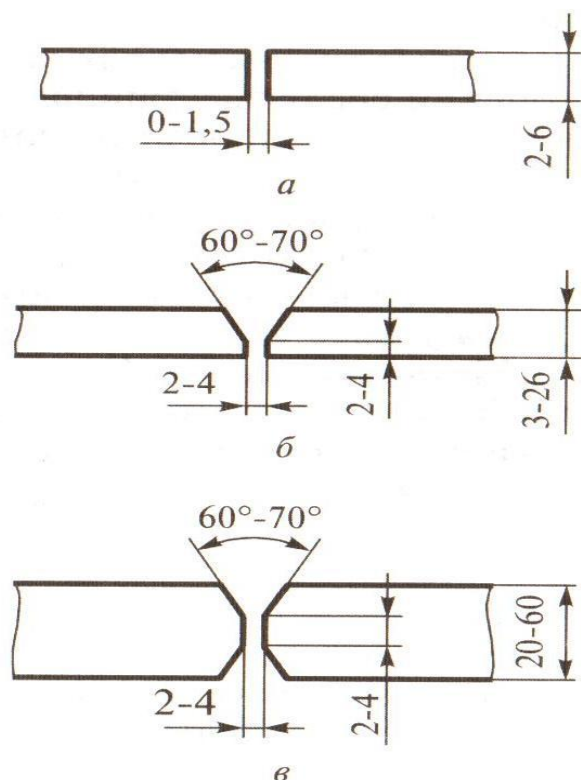


Рис. 71. Способы подготовки кромок для стыковых соединений при дуговой электросварке:
а – без скоса кромок; б – кромки V-образные;
в – кромки X-образные

Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны, называется сварным швом.

Сварные швы классифицируются по следующим признакам:

1. По виду сварного соединения – стыковые, при сварке стыкового соединения, и угловые, при сварке углового, таврового и нахлесточного соединений .
2. По положению в пространстве – нижние, вертикальные, горизонтальные в вертикальной плоскости, потолочные.
3. В зависимости от протяженности – короткие (250...300 мм), средние (350...1000 мм) и длинные (более 1000 мм).

4. По форме наружной поверхности – плоские (нормальные), выпуклые (усиленные) и вогнутые (ослабленные).

5. По методу заполнения сечения шва – однопроходные (однослойные), многослойные и многопроходные.

Кроме того, швы могут быть непрерывными, прерывистыми, односторонними и двухсторонними.

В процессе образования сварного соединения в металле шва и зоне термического влияния могут возникать дефекты, то есть отклонения от установленных норм и требований, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, а также ухудшению внешнего вида изделия. Дефекты сварных соединений различают по причинам возникновения и месту их расположения (рис. 72).

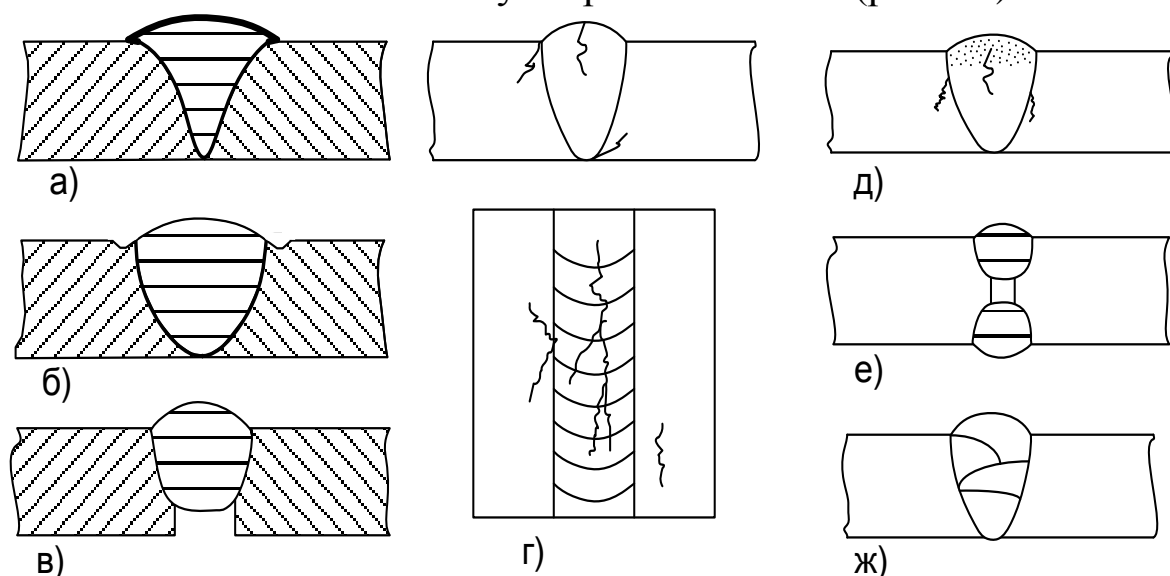


Рис. 72. Виды дефектов сварных соединений:

а – наплыв; б – подрез; в – непровар; г – наружные трещины, поры; д – внутренние трещины и поры; е – внутренний непровар; ж – шлаковые отложения

Методы контроля сварных швов делят на разрушающие и неразрушающие.

К разрушающим методам контроля относятся: механические испытания, металлографические исследования, специальные испытания с целью получения характеристик сварных соединений.

К неразрушающим методам относятся: внешний осмотр; магнитный, электромагнитный, люминесцентный – для обнаружения поверхностных дефектов; радиационный, ультразвуковой, магнитографический – для обнаружения скрытых и внутренних дефектов; кон-

троль на непроницаемость гидравлическим испытанием, сжатым воздухом, вакуумированием и др.

Контроль внешним осмотром подвергаются все сварочные конструкции. Внешний осмотр производят невооруженным глазом или лупой. Размеры швов и дефектов определяют измерительным инструментом, шаблонами.

Классификация и сущность дуговой сварки

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги.

Наиболее распространенными видами дуговой сварки, применяемыми в сельскохозяйственном ремонтном производстве, являются: ручная, под слоем флюса, в среде защитных газов.

Ручная дуговая сварка может выполняться двумя способами: неплавящимся электродом (рис. 73,а – метод Бенардоса Н.Н.) и плавящимся электродом (рис. 73,б – метод Славянова Н.Г.).

В первом случае сварочная дуга 4 возбуждается между угольным или графитовым электродом 3 и изделием 5. Сварочная ванна 1 формируется за счет расплавленных кромок изделия и присадочного материала 2. Этот способ используется в основном при сварке цветных металлов и сплавов, а также при наплавке твердых сплавов.

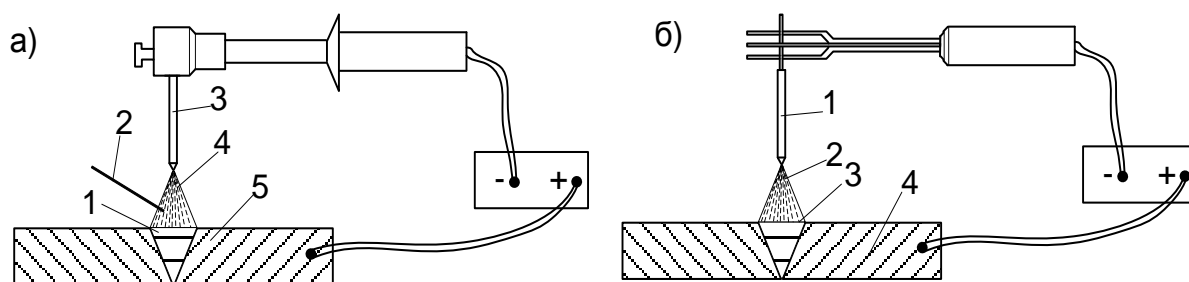


Рис. 73. Схема электрической дуговой сварки:
а – метод Бенардоса Н. Н.; б – метод Славянова Н. Г.

Второй способ является более распространенным. Дуга 2 возбуждается между плавящимся электродом 1 и изделием 4. Сварочная ванна (3) формируется из электродного металла и расплавленных кромок изделия.

Автоматическая сварка под флюсом (рис. 74) – это дуговая сварка, в которой механизированы основные движения (показаны стрелками), выполняемые сварщиком при ручной сварке – подача электрода 1 в зону дуги 6 и перемещение его вдоль свариваемых кромок изделия 5.

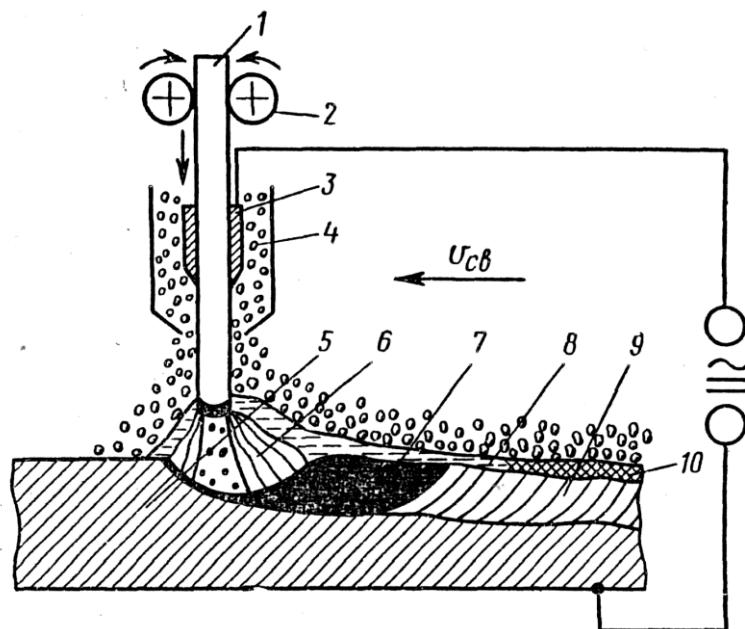


Рис. 74. Схема автоматической сварки под флюсом:
 1 – электродная проволока; 2 – механизм подачи проволоки;
 3 – токопровод; 4 – флюс; 5 – свариваемое изделие;
 6 – сварочная дуга; 7 – сварочная ванна; 8 – шлаковая ванна;
 9 – сварной шов; 10 – шлаковая корка

При полуавтоматической сварке механизирована подача электрода в зону дуги, а перемещение его вдоль шва производится вручную.

Сварочная дуга возбуждается и горит между концом голой (без покрытия) электродной проволоки 1 и изделием 5 под слоем гранулированного флюса 4 толщиной 30...50 мм. Проволока подается в зону сварки с помощью механизма подачи 2, ток к электроду подается через токопровод 3. Сварочная ванна 7 состоит из металла расплавленных кромок свариваемого изделия и металла электродной проволоки. Сварочная дуга 6 и сварочная ванна изолированы от окружающей среды слоем флюса, который, расплавляясь, образует жидкую шлаковую ванну 8. После перемещения сварочной дуги происходит формирование сварного шва 9 вследствие кристаллизации металла сварочной ванны. Температура плавления флюса ниже температуры

плавления металла, поэтому шлаковая ванна затвердевает позже, замедляя охлаждение металла шва и образуя легко удаляемую шлаковую корку 10. Медленное охлаждение сварочной ванны способствует выходу на поверхность металла всех растворенных газов и неметаллических включений, что дает возможность получить чистый, плотный и однородный по химическому составу шов.

Расплавленный флюс не только надежно защищает сварочную ванну от воздействия кислорода и азота воздуха, но и осуществляет металлургическую обработку, то есть раскисляет и легирует металл шва.

При этом виде сварки сварочная дуга горит в изолированном пространстве, наблюдается меньшее выделение вредных газов, отпадает необходимость защиты лица и глаз сварщика.

Дуговая сварка в защитном газе выполняется неплавящимся (вольфрамовым) (рис. 53, а) или плавящимся (рис. 75, б) электродом 3.

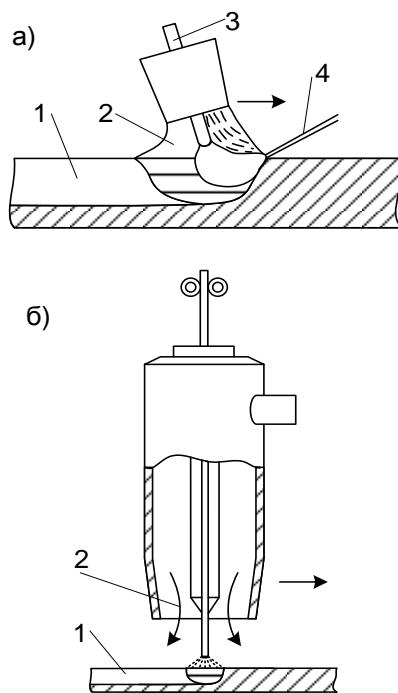


Рис. 75. Схема дуговой сварки в защитном газе:

а – неплавящимся электродом; б – плавящимся электродом;

1 – сварной шов; 2 – защитный газ;

3 – электрод (электродная проволока); 4 – присадочный металл

В первом случае сварной шов формируется за счет металла расплавляемых кромок изделия. При необходимости в зону дуги подается присадочный металл 4. Во втором случае подаваемая в зону дуги электродная проволока 3 расплавляется и участвует в образовании

сварного шва 1. Расплавленный металл защищают от окисления и азотирования струей защитного газа 2, оттесняющей атмосферный воздух из зоны дуги.

В качестве защитных применяют инертные и активные газы (водород, окись углерода или их смесь с азотом). Наибольшее применение получили аргонодуговая сварка и сварка в среде углекислого газа.

Сварочное оборудование

При дуговой электросварке применяют следующие источники дуги: сварочные генераторы и преобразователи постоянного тока, сварочные выпрямители и сварочные трансформаторы. Все источники сварочного тока должны обеспечивать возможность короткого замыкания, надежность зажигания и горения дуги, регулирования силы тока.

Основными источниками питания для сварки на переменном токе являются сварочные трансформаторы. Их подразделяют на две группы. К *первой группе* относят трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой – дросселем. Дроссель может иметь с трансформатором как общий, так и отдельный магнитопровод. Ко *второй группе* относят трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. По способу регулирования индуктивного сопротивления трансформаторы второй группы можно разделить на три основных типа: с магнитными шунтами, с подвижными катушками и с витковым (ступенчатый) регулированием.

На рис. 76 показана, принципиальная схема сварочного трансформатора ТДМ-317 с механическим регулированием.

Этот трансформатор имеет повышенное магнитное рассеивание. На сердечнике 1 внизу размещены неподвижные катушки 2 с первичной обмоткой, вверху – подвижные катушки 3 с вторичной обмоткой. Первичная обмотка включена в силовую сеть, а вторичная – в сварочную цепь. Силу сварочного тока регулируют изменением расстояния L между первичной и вторичной обмотками. При увеличении расстояния L магнитный поток рассеивается, то есть не полностью идет по сердечнику 1, э.д.с. самоиндукции и индуктивное сопротивление увеличиваются и, соответственно, уменьшается ток в сварочной цепи. С увеличением сварочного тока (например, при замыкании) магнитный поток рассеивания возрастает, и во вторичной обмотке трансформатора увеличиваются э.д.с. самоиндукции и индуктивное

сопротивление, что создает резкое падение напряжения (крутопадающую внешнюю характеристику источника питания).

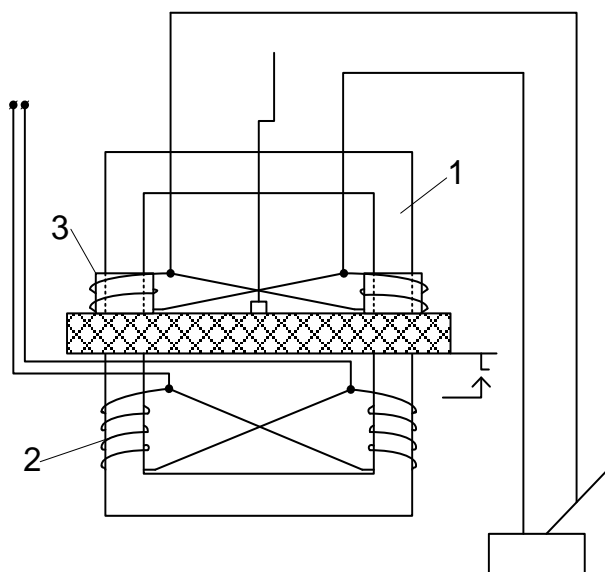


Рис. 76. Схема трансформатора ТДМ-317:
1 – сердечник; 2 – первичная обмотка; 3 – вторичная обмотка

Сварочный аппарат с отдельным дросселем (рис. 77) состоит из понижающего трансформатора (Тр) и дросселя (регулятора тока (Др)). Трансформатор имеет сердечник (магнитопровод) 2, на котором расположены первичная 1 и вторичная 3 обмотки. Последовательно со вторичной обмоткой в сварочную цепь включена обмотка 4 дросселя. Сердечник дросселя состоит из двух частей: неподвижной 5 с обмоткой 4 и подвижной 6. Изменяя зазор a между неподвижной и подвижной частями, изменяют индуктивное сопротивление дросселя и тем самым ток в сварочной цепи.

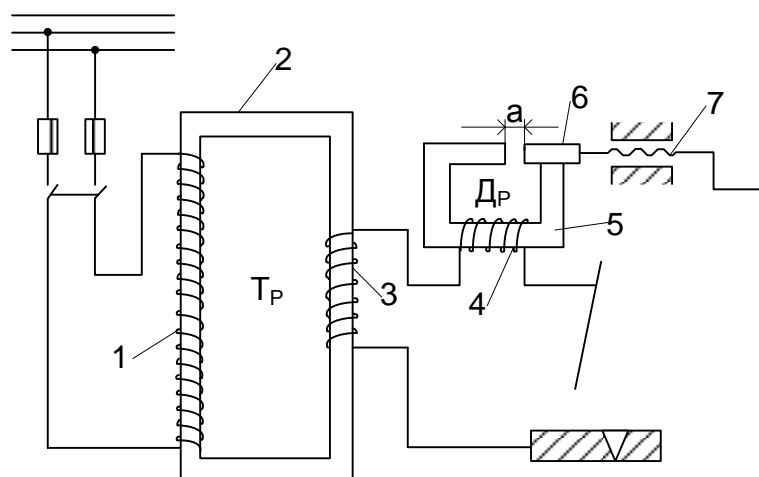


Рис. 77. Схема трансформатора с дросселем:

- 1 – первичная обмотка; 2 – сердечник; 3 – вторичная обмотка;
4 – обмотка дросселя; 5 – неподвижная часть сердечника дросселя;
6 – подвижная часть сердечника дросселя;
7 – регулятор тока

Среди источников постоянного тока наибольшее применение получили селеновые и кремниевые выпрямители, которые обладают рядом преимуществ перед генераторами и преобразователями. Они имеют лучшие энергетические и динамические показатели, более высокий КПД, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации.

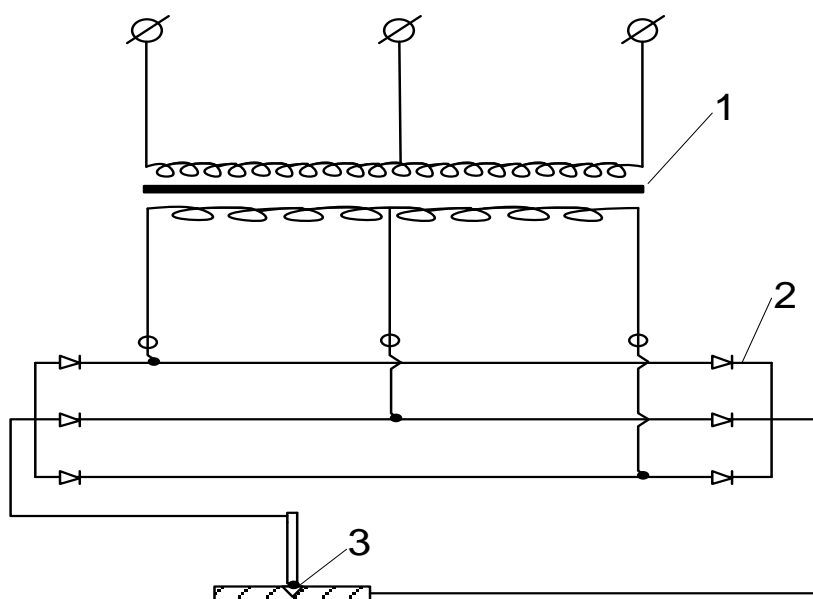


Рис. 78. Полупроводниковый выпрямитель:

- 1 – понижающий трансформатор, 2 – блок полупроводниковых выпрямителей, 3 – сварочная дуга

На рис. 78 приведена принципиальная схема сварочного выпрямителя. Сварочные выпрямители монтируются, как правило, по трехфазной схеме.

Параметры технологического процесса сварки

В процессе сварки электроду сообщаются следующие основные движения:

1. Вдоль оси электрода в сторону сварочной ванны. Скорость этого движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги.

2. Перемещение вдоль оси шва. Скорость этого движения должна быть оптимальной. При малой скорости возможен перегрев и пе-

режог металла, производительность сварки уменьшается. При большой скорости не исключена возможность такого дефекта сварки, как непровар.

3. Поперечные колебательные движения, которые замедляют остывание металла, облегчают выход газов из ванны и способствуют получению высокого качества шва.

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Ориентировочно длину дуги рассчитывают по формуле:

$$l_0 = (0,5 \dots 1,1) d_0, \quad (20)$$

где d_0 – диаметр электрода, мм.

Среднее значение длины дуги можно определить из выражения:

$$l_0 \approx 0,5 (d_0 + 2). \quad (21)$$

Различают дугу короткую – 2...4 мм, среднюю – 4...6 мм и длинную $l = 6$ мм.

Короткая дуга обеспечивает получение высококачественного шва.

Основными параметрами режима сварки являются диаметр электрода d_0 и сварочный ток $I_{св}$.

Диаметр электрода зависит в основном от толщины свариваемых кромок S и вида сварного соединения.

Диаметр электрода можно выбрать по табличным данным из справочников или определить по формуле:

$$d_0 = \frac{1}{2} S + 1. \quad (22)$$

где S – толщина свариваемых кромок, мм.

Если по расчету диаметр электрода получился более 6 мм, то ограничиваются диаметром 6 мм.

При сварке угловых и тавровых соединений при выборе диаметра электрода принимают во внимание размер катета шва $K_{ш}$ (табл. 28):

Таблица 28

Зависимость диаметра электрода от катета шва

$K_{ш}$, мм	3...5	6...8	> 8
d_0 , мм	3...4	4...5	6

Расчет сварочного тока при ручной дуговой сварке производят по диаметру электрода и допустимой плотности тока. Для приближенных расчетов сварочный ток определяют по формуле:

$$I_{CB} = K \cdot d_э, \quad (23)$$

где K – коэффициент плотности тока, принимаемый в зависимости от $d_э$, А/мм, (табл. 29):

Таблица 29

Зависимость коэффициента плотности тока от диаметра электрода

$d_э$, мм	1,6...2	3...4	5...6
K , А/мм	30	45	60

При сварке вертикальных швов $d_э$ не должен превышать 5 мм, I_{CB} снижают на 15...20 %. При сварке потолочных швов $d_э$ не должен превышать 4 мм, I_{CB} снижают на 20...25 %.

Если толщина металла $S \leq 1,5 d_э$, то I_{CB} уменьшают на 10...15 %. Если толщина металла $S \geq 3 d_э$, то I_{CB} увеличивают на 10...15 %.

Сведения об электродах

Электроды классифицируются по следующим признакам: материалу, назначению, толщине покрытия, виду покрытия, свойствам металла шва, роду и полярности тока, допустимому пространственному положению.

По назначению электроды подразделяют на следующие группы:

У – для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Л – для сварки легированных конструкционных сталей;

Т – для сварки легированных теплостойких сталей;

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

Н – для наплавления поверхностных слоев.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода D (мм) к диаметру стержня d (мм):

М – с тонким покрытием $D / d < 1,2$;

С – со средним покрытием $1,2 \leq D / d \leq 1,45$;

Д – с толстым покрытием $1,45 \leq D / d \leq 1,8$;

Г – с особо толстым покрытием $D / d \geq 1,8$.

По виду покрытия:

М – с кислым покрытием. Используются для сварки как на постоянном, так и на переменном токе;

Б – с основным покрытием, для сварки на постоянном токе обратной полярности;

Ц – с целлюлозным покрытием, основные компоненты которого создают газовую защитную среду. Применяются для сварки сталей малой толщины;

Р – с рутиловым покрытием, основной компонент рутил (TiO_2), для сварки на постоянном и переменном токе. Обеспечивают хорошее формирование швов во всех пространственных положениях;

П – прочие виды покрытий;

Ж – покрытие содержит железный порошок более 20 %.

Общее назначение электродных покрытий – обеспечение стабильности горения сварочной дуги и получения металла шва с заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость против коррозии, износостойкость и др.).

Качественное электродное покрытие должно содержать следующие компоненты: ионизирующие, газообразующие, раскисляющие, шлакообразующие, легирующие и связующие.

Промышленность выпускает сотни разнообразных электродов. Для сварки углеродистых и легированных сталей выпускается 9 типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60. Для сварки легированных конструкционных сталей – 5 типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Цифра после буквы Э указывает гарантированный предел прочности металла шва в $кг/мм^2$, буква А указывает, что металл шва имеет повышенную пластичность.

Каждому типу электродов соответствует несколько марок.

Содержание отчета

В отчет необходимо включить: письменные ответы на контрольные вопросы, основные принципиальные схемы видов сварки, источников питания сварочной дуги. Визуально определить качество образцов сварных соединений, описать обнаруженные дефекты. По заданию преподавателя выполнить расчеты по определению диаметра электрода и силы сварочного тока для конкретных условий сварки.

Перечень индивидуальных заданий студентам

№ варианта	Конкретные условия сварки
1	Угловое соединение с катетом шва 6 мм, шов вертикальный
2	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 5 мм
3	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 20 мм
4	Стыковое соединение при толщине металла 15 мм, шов вертикальный
5	Нахлесточное соединение в нижнем положении при толщине металла 6 мм
6	Стыковое соединение с толщиной металла 8 мм, шов потолочный
7	Стыковое соединение с толщиной металла 10 мм, шов вертикальный
8	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 1 мм
9	Стыковое соединение в нижнем положении при толщине металла 3 мм
10	Угловое соединение с катетом шва 8 мм, шов потолочный
11	Стыковое соединение с толщиной металла 10 мм, шов потолочный
12	Нахлесточное соединение с толщиной металла 10 мм, шов вертикальный
13	Стыковое соединение с толщиной металла 2 мм, шов вертикальный
14	Тавровое соединение в нижнем положении с катетом шва 5 мм
15	Стыковое соединение с толщиной металла 1 мм, шов вертикальный
16	Нахлесточное соединение с толщиной металла 8 мм, шов потолочный
17	Стыковое соединение с толщиной металла 3 мм, шов вертикальный
18	Тавровое соединение с катетом шва 10 мм, шов потолочный
19	Угловое соединение с катетом шва 12 мм, шов вертикальный

Контрольные вопросы

1. Что такое сварка?
2. Чем отличается ручная дуговая сварка от полуавтоматической и автоматической?
3. Какие Вы знаете источники переменного тока?
4. Какие Вы знаете источники постоянного тока?
5. Какие физические и химические процессы протекают при образовании сварного соединения?

6. Какие бывают дефекты в сварных соединениях?
7. Что такое сварочная дуга?
8. Каковы основные виды движения электрода в процессе сварки?
9. Назовите признаки классификации сварных швов.
10. Каково назначение электродных покрытий?
11. Какие компоненты должны входить в качественное электродное покрытие?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

ГАЗОВАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучить оборудование и аппаратуру для газовой сварки и резки, научиться выбирать соответствующие оптимальные технологические параметры.

Приборы, материалы и инструменты:

1. Газовый сварочный пост с питанием от баллонов.
2. Газокислородный резак и горелки.
3. Защитный щиток, спецодежда.
4. Шланги для подвода ацетилена и кислорода.
5. Присадочная проволока.
6. Измерительный инструмент, шаблоны.

Порядок работы

1. Ознакомиться с имеющимся на кафедре оборудованием газовой сварки и резки металлов.
2. Описать область применения газовой сварки, ее достоинства и недостатки.
3. Описать область применения кислородной резки металла.
4. Начертить и описать схему газосварочного поста.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Провести опыты по определению оптимальных режимов газовой сварки и резки металлов и сплавов.
7. Результаты опытов занести в таблицы (36, 37).
8. По индивидуальному заданию преподавателя (табл. 38) определить вид горелки и номер наконечника, способ сварки, диаметр и марку присадочной проволоки, технологические особенности сварки (вид пламени, удельную мощность пламени, потребность флюса и др.).

Теоретические сведения

Сущность процесса газовой сварки заключается в том, что свариваемый и присадочный металлы расплавляют в пламени, получающемся при сгорании какого-либо горючего газа в смеси с кислородом, обычно применяют ацетилен. По сравнению с электродуговой сваркой газовая сварка – процесс малопроизводительный. Газовую

сварку применяют при изготовлении тонких стальных изделий толщиной до 5 мм, сварке цветных металлов и их сплавов, исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках, а также при различных ремонтных работах.

Все горючие газы, содержащие углеводород, образуют сварочное пламя, которое имеет три ярко различимые зоны: ядро, восстановительную зону и факел (рис. 79).

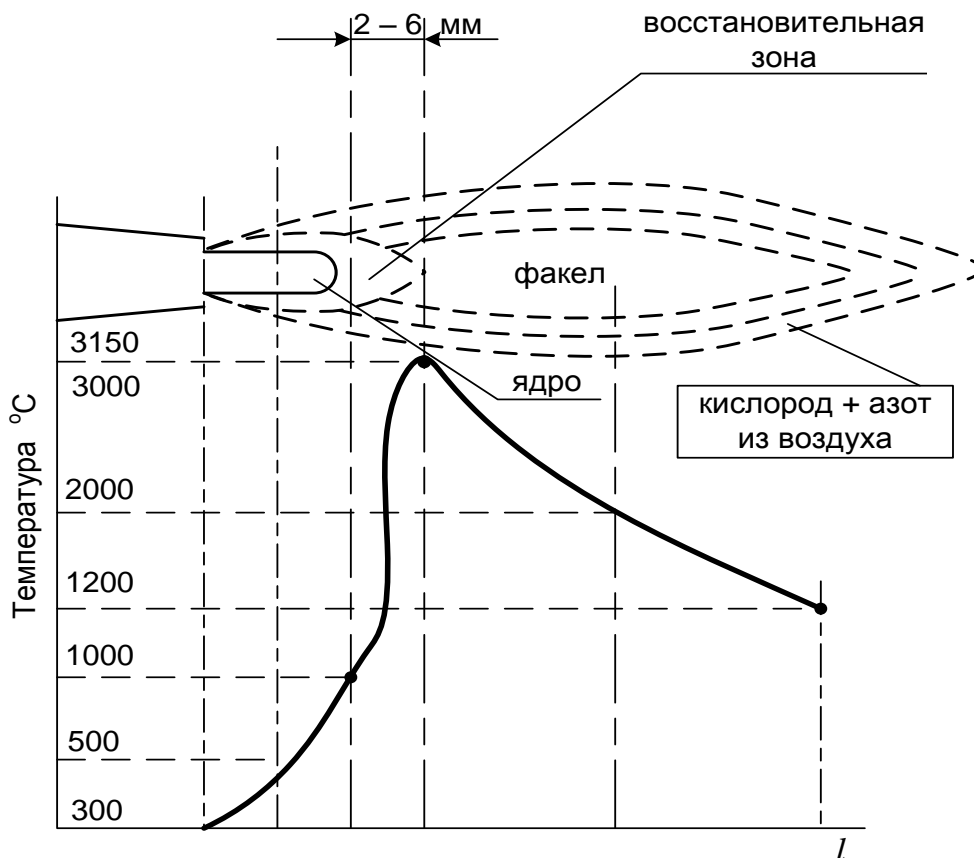


Рис. 79. Схема газового пламени и распределение температур по зонам

Ядро имеет резко очерченную форму (близкую к форме цилиндра), плавно закругляющуюся в конце, с ярко светящейся оболочкой. Размеры ядра зависят от состава горючей смеси, ее расхода и скорости истечения. Диаметр канала мундштука горелки определяет диаметр ядра пламени, а скорость истечения газовой смеси его длину. Температура ядра достигает 1000 °С.

Восстановительная зона располагается за ядром и по своему более темному цвету заметно отличается от него. Зона состоит из продуктов неполного сгорания ацетилена – оксида углерода и водорода. Она называется восстановительной, так как оксид углерода и водород раскисляют расплавленный металл, отнимая кислород от его оксидов.

Этой зоной выполняют сварку и поэтому ее называют рабочей. Восстановительная зона имеет наиболее высокую температуру в точке, отстоящей на 2...6 мм от конца ядра.

Факел располагается за восстановительной зоной и представляет собой зону полного сгорания. Температура этой зоны значительно ниже, чем в восстановительной зоне и колеблется в интервале от 1200 до 2520°C.

В зависимости от соотношения между кислородом и ацетиленом получают три основных вида сварочного пламени: нормальное, окислительное и науглероживающее.

Нормальное пламя получают тогда, когда в горелку на один объем ацетилена подают от 1,1 до 1,3 объема кислорода. Нормальное пламя характеризуется отсутствием свободного кислорода в восстановительной зоне.

Окислительное пламя получается при избытке кислорода, при подаче в горелку на 1 объем ацетилена более 1,3 объема кислорода. При этом ядро приобретает конусообразную форму, значительно сокращается по длине, а пламя приобретает синевато-фиолетовую окраску.

Науглероживающее пламя получается при избытке ацетилена, когда в горелку на один объем ацетилена подается 0,95 и менее объема кислорода. Ядро такого пламени теряет резкость своего очертания, на конце его появляется зеленоватый венчик, по которому судят об избытке ацетилена.

Слегка науглероживающее пламя применяют для сварки чугуна и при наплавке твердыми сплавами.

Тепловые характеристики газового пламени (температура; эффективная тепловая мощность q_1 , кал/с; распределение теплового потока пламени по пятну нагрева q_2 , кал / см² · с) зависят от теплотворной способности горючего газа, чистоты кислорода и соотношения кислорода и ацетилена в газовой смеси.

Температура газового пламени (°C) неодинакова в различных его частях и достигает наибольшего значения на оси пламени вблизи конца ядра в зависимости от сгораемого газа:

Ацетилен	3100...3150
Метан	2100...2200
Пропано-бутановая смесь	2400...2500
Коксовый газ	2000...2100
Водород	2000...2100

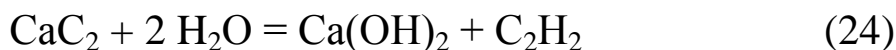
Газовое пламя нагревает металл значительно медленнее и слабее, чем электрическая сварочная дуга, так как наибольший тепловой поток на оси ацетилено-кислородного пламени горелки в 8...12 раз меньше открытой сварочной дуги примерно одинаковой эффективной мощности. Поэтому кроме снижения производительности при газовой сварке имеем обширные зоны нагрева металла, что может привести к короблению поверхности и снижению прочности соединения. Эти и другие присущие газовой сварке недостатки (взрывоопасность, пожароопасность) способствовали поиску альтернативных видов сварки. В последнее время в ремонтном производстве газовая сварка постепенно вытесняется электросваркой в углекислом газе (для сварки тонких стальных изделий) и плазменной сваркой (для сварки тонких изделий из стали и цветных металлов и сплавов).

Газовая резка металлов пока удерживает свои позиции не только в ремонтных мастерских, но и в условиях крупных промышленных предприятий.

Газы

Чаще других горючих газов для газовой сварки применяют ацетилен. Ацетилен представляет собой химическое соединение углерода с водородом (C_2H_2).

Получают ацетилен из карбида кальция (CaC_2) путем воздействия на последний водой. При реакции с водой 1 кг карбида кальция дает 230...280 л газообразного ацетилена. В результате реакции получают газообразный ацетилен C_2H_2 и гашеную известь $Ca(OH)_2$:

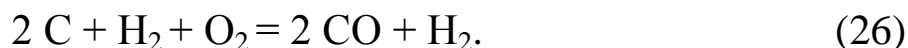


Карбид кальция транспортируют в специальных стальных герметически закрытых баллонах. Масса баллонов с карбидом кальция может быть 50...130 кг. Кроме ацетилена, применяют и другие горючие газы, свойства которых приведены в табл. 31.

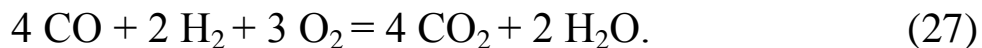
Процесс сгорания ацетилена в кислороде можно условно разделить на две стадии. Сначала под влиянием нагрева происходит распад ацетилена на элементы:



Затем происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода смеси по реакции:



Вторая стадия горения протекает за счет кислорода воздуха:



Процесс горения сопровождается выделением теплоты. Температура пламени при сгорании в смеси с кислородом достигает 3200 °С. Ацетилено-кислородная смесь взрывоопасна при наличии в ней 28... 93 % ацетилена по объему. Транспортируют ацетилен в стальных баллонах под давлением 1,9 МПа.

Кислород применяют трех сортов в зависимости от чистоты. Примеси азота и аргона в техническом кислороде составляют 0,3...0,8 %. Газообразный кислород транспортируют в стальных баллонах под давлением 15 МПа. При соприкосновении с маслами кислород взрывается.

Основные свойства горючих газов, применяемых для сварки и резки металлов

Газ	Плотность, кг/м ³	Низшая теплотворная способность, кДж/м ³	Температура пламени в смеси с кислородом, °С	Коэф. замены С ₂ Н ₂	Кол-во О ₂ на 1 м ³ газа, кг	Пределы взрываемости смеси, %		Область применения	Способы транспортировки и хранения
						с воздухом	с О ₂		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ацетилен	1,09	52800	3100... 3220	1	1...1,3	2,2...81,0	2,3...93,0	Все виды газопламенной обработки	Растворенный в ацетоне в баллонах под давлением до 1,4 МПа
Водород	0,08	10100	2100... 2300	5,2	0,3...0,4	3,3...81,5	2,6...95,0	Для сварки сталей толщиной до 2 мм, чугуна, латуни	Газообразный в баллонах под давлением до 15 МПа
Коксовый газ	0,5	15200	2200	3,2	0,7	-	-	Сварка легкоплавких металлов, пайка, кислородная резка	По газопроводу

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Городской газ	0,84 ... 1,05	17200 ... 21000	2000... 2300	3,0	1,5...1,6	3,8...24,6	10...73	Сварка легкоплавких металлов, пайка	По газопроводу под давлением до 0,3 МПа и в баллонах до 15 МПа
Нефтяной газ	0,87 ... 1,37	41000 ... 56600	2000... 2400	1,2	1,5...1,6	-	-	Сварка легкоплавких металлов, пайка	По газопроводу
Метан	0,67	35600	2400... 2700	1,6	1,5...1,8	4,8...16,7	5,0...59,2	Сварка легкоплавких металлов, пайка	На баллонах под давлением 15 МПа или по трубопроводу
Пропан	1,88	93000	2600	0,6	3,4	2,0...9,5	4,8...2,0	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 МПа
Бутан	2,54	116500	2450	0,45	3,3	1,5...8,5	2...45	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 МПа

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пропан-бутан	1,87	2200	2600	0,6	3,5	-	-	Кислородная резка, сварка, пайка цветных металлов	В жидком виде в баллонах под давлением 1,6 МПа
Бензин	0,73	10500	2440	1,4	1,25	0,65	21...28,4	Кислородная резка стали, сварка, пайка легкоплавких металлов	В жидком виде в цистернах или бачках
Керосин	0,83	10100	2400	1,2	1,7...2,4	2...28	-	Кислородная резка, сварка, пайка легкоплавких металлов	В жидком виде в цистернах или бачках

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Ацетиленовые генераторы

Ацетиленовым генератором называют аппарат, служащий для получения ацетилена разложением карбида кальция водой. Ацетиленовые генераторы, применяемые для сварки и резки металлов согласно ГОСТ 5190-78, классифицируются по следующим признакам:

- по производительности – 1,25; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640 м³/ч;

- по способу применения – передвижные с производительностью 1,25...3,0 м³/ч, стационарные с производительностью 5...640 м³/ч;

- по давлению вырабатываемого газа – низкого давления до 0,02 МПа; среднего давления от 0,02 до 0,15 МПа;

- по способу взаимодействия карбида кальция с водой – генераторы системы «КВ», «ВК», «ВВ».

В генераторах типа «КВ» предусматривается периодическая подача в воду карбида кальция. При этом достигается наибольший выход ацетилена – до 95 % .

В генераторах типа «ВК» осуществляется периодическая подача порций воды в загрузочное устройство с карбидом кальция.

В генераторах системы типа «ВВ» разложение карбида кальция осуществляется при соприкосновении его с водой в зависимости от изменений уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и периодически вытесняемой образовавшимся газом.

Все ацетиленовые генераторы, независимо от их системы, имеют следующие основные части: газообразователь, газосборник, предохранительный затвор, автоматическую регулировку вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления.

В ремонтно-технических предприятиях сельскохозяйственного производства наибольшее распространение получили передвижные генераторы низкого давления.

На рис. 80 представлена принципиальная схема однопостового передвижного морозоустойчивого (до – 25 °С) ацетиленового генератора низкого давления АНВ-1,25. Генератор работает по принципу «ВК» в сочетании с процессом «вытеснения воды». Производительность – 1,25 м³/ч, максимальное давление – 0,01 МПа.

В корпус генератора 1 вварена реторта 7, в которой помещается загрузочная корзина 3 с карбидом кальция.

Корпус генератора перегородкой 10 делится на две части: в верхней части расположен водосборник 11, в нижней – газосборник 9. Обе части соединены циркуляционной трубой 4, через которую вода попадает в нижнюю часть или при работе генератора вытесняется в верхнюю часть.

Генератор заполняется водой до уровня 17 через открытую верхнюю часть. Вода в реторту поступает по газоотводящей трубке 19 через отверстие вентиля 18. Реторта герметично закрывается крышкой и специальным болтом.

Ацетилен, выделяющийся в результате взаимодействия карбида кальция с водой, поступает по газоотводящей трубке 19 в газосборник и вытесняет находящуюся в нем воду через циркуляционную трубу 4 в верхнюю часть генератора. Вода в реторту подается до тех пор, пока она не будет вытеснена из газосборника ниже уровня вентиля 18. По мере выделения ацетилена и возрастания давления ацетилена в газосборнике и реторте, вода начинает вытесняться также из реторты в камеру 8 – вытеснитель. При этом дальнейшее образование газа прекращается.

При отборе газа из газосборника давление ацетилена снижается, вода, вытесненная в камеру 8, возвращается в реторту, и газообразование возобновляется.

При падении давления в генераторе до 2,3...2,7 кПа вода в газосборнике поднимается выше вентиля 18 и начинает поступать в реторту. Поступление воды в реторту прекращается после того, как давление превысит 2,7...2,8 кПа, то есть когда уровень воды в газосборнике снова опустится ниже уровня вентиля 18.

Так, в зависимости от расхода ацетилена из генератора автоматически регулируется процесс его образования.

Газ при отборе поступает из газосборника в карбидный осушитель 16, загруженный карбидом, после чего проходит в водяной затвор 5, а из него по шлангу 15 в горелку или резак.

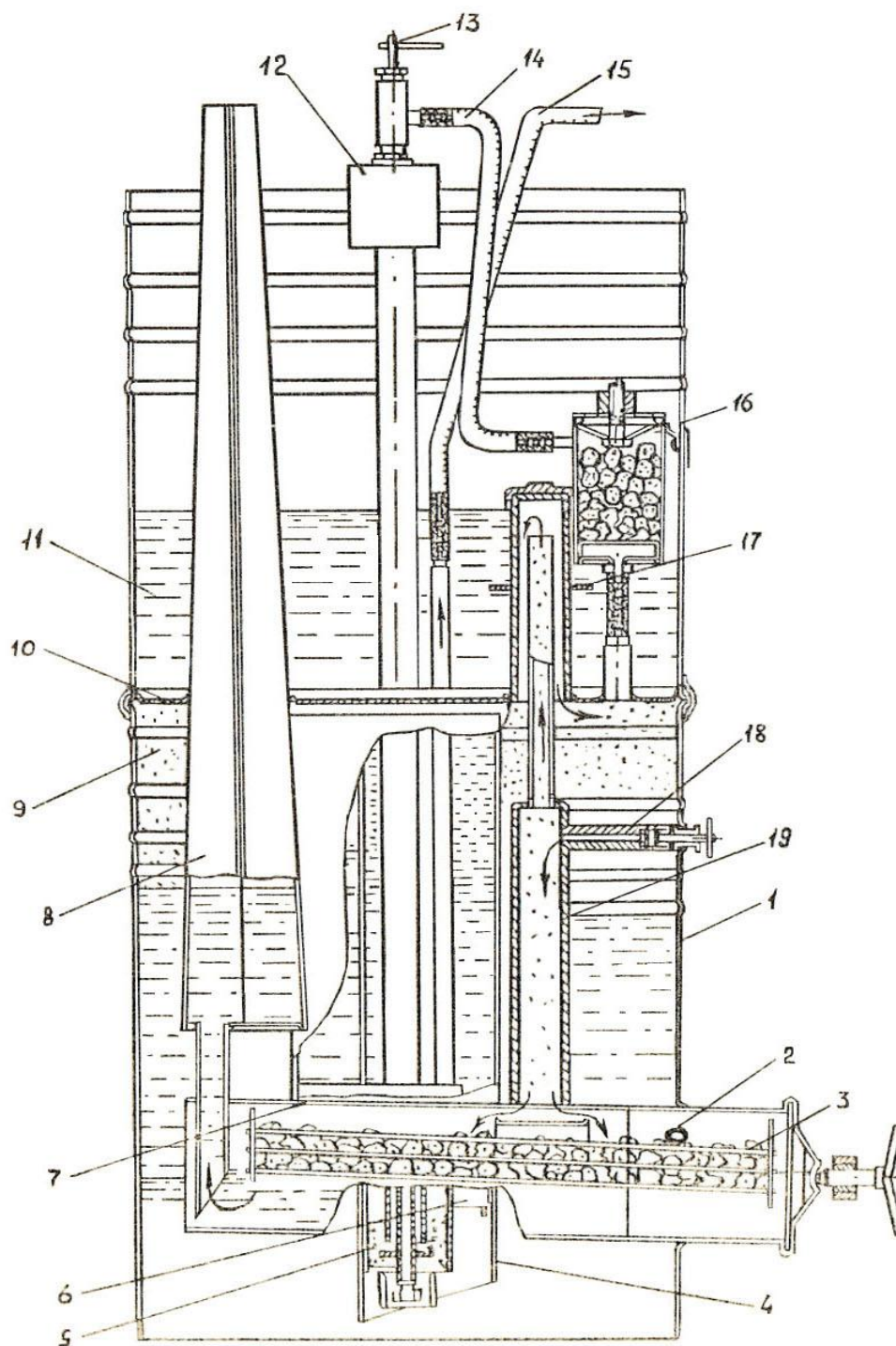


Рис. 80. Схема ацетиленового генератора АНВ – 1,25

Водяной затвор 5 служит для предохранения генератора от проникновения в него взрывной волны при обратном ударе пламени. При низких температурах водяной затвор устанавливают в циркуляционной трубе 4, чтобы предохранить его от замерзания. В теплое время водяной затвор устанавливают снаружи генератора.

При обратном ударе взрывчатая смесь через предохранительную трубку выходит в атмосферу, унося с собой вытесненную воду. Часть воды задерживается в обечайке 12 и стекает обратно в затвор.

Перед пуском генератора необходимо очистить от ила реторту, продуть сжатым воздухом шланги 14 и 15, зарядить осушитель 16 карбидом кальция в количестве 1 кг, заполнить генератор водой до уровня 17. При этом вентиль водяного затвора 13 должен быть открыт, а вентиль 18 – закрыт. Заполнить водой затвор 5 через открытую верхнюю обечайку 12 до уровня контрольного крана 6, после чего закрыть вентиль 13. Открыв вентиль 18, надо убедиться в том, что вода поступает в реторту, после чего закрыть вентиль 18 и контрольный кран 2.

Загрузить в корзину 4 кг карбида кальция, вставить корзину 3 в реторту и закрыть крышку. Пустить порцию воды в реторту, открыв и закрыв вентиль 18, сделать контрольную продувку реторты через кран 2. Закрутить контрольный кран, после чего генератор можно считать готовым к работе.

Питание постов газовой сварки и резки ацетиленом от ацетиленовых генераторов связано с рядом неудобств, поэтому широкое распространение получили газовые баллоны.

Баллоны для газов и редукторы

Для хранения и транспортировки сжатых, сжиженных и растворенных газов, находящихся под давлением, применяют стальные баллоны, которые изготавливают из бесшовных труб углеродистой и легированной сталей. Наибольшее распространение получили баллоны вместимостью 40 дм³. Эти баллоны имеют размеры: наружный диаметр – 219 мм, толщина стенки – 7 мм, высота – 1390 мм. Масса баллона без газа – 67 кг.

В горловине баллона имеется конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль. Для каждого газа разработаны свои конструкции вентиляей, что исключает установку, например, кислородного вентиля на ацетиленовый баллон и наоборот.

Кислородные вентиля изготавливают из латуни, ацетиленовые из стали, применение сплавов меди с содержанием ее более 70 % недопустимо, так как при контакте с ацетиленом возникает взрывоопасная ацетиленовая медь. Ацетиленовый вентиль имеет резьбу от-

личную от других типов вентилях, что исключает возможность установки его на других баллонах.

Каждому газу соответствует свой условный цвет баллона и цвет надписи, кислородные баллоны окрашивают в голубой цвет, надпись делают черной краской; ацетиленовый – соответственно в белый и красной краской; пропановый – в красный и белой краской и др.

Кислород наполняют в баллоны до давления 15 МПа. Баллон вместимостью 40 дм³ при давлении газа 15 МПа содержит кислорода 6 м³.

При окончании отбора газа из баллона необходимо следить, чтобы остаточное давление в нём было не менее 0,05...0,1 МПа.

Ацетиленовые баллоны заполняют пористой массой (древесный уголь, пемза), которую пропитывают ацетоном (220...300 г на дм³ вместимости баллона). Ацетон является хорошим растворителем ацетилена, в одном объеме ацетона растворяется 23 объема ацетилена.

Давление наполненных баллонов при 20 °С не должно превышать 1,9 МПа.

При газовой сварке и резке металлов рабочее давление газов должно быть меньше, чем давление в баллоне или газопроводе. Для понижения давления газа применяют редукторы.

Редуктором называется прибор, служащий для понижения давления газа, при котором он находится в баллоне или магистрали, до величины рабочего давления и для автоматического поддержания этого давления постоянным.

Редукторы, применяемые в сварочной технике, классифицируются по принципу действия (прямого и обратного), по назначению и месту установки, по схемам редуцирования и роду редуцируемого газа.

Редуктор имеет клапан, управляемый гибкой мембраной, на которую с одной стороны действует сила пружины, а с другой – давление газа. Регулированием силы пружины обеспечиваются заданное давление и расход газа.

Редукторы отличаются друг от друга цветом корпуса и соединительными устройствами.

На рис. 81 показана схема газосварочного поста с питанием от баллонов. На сварочном посту баллоны устанавливают в вертикальном положении и закрепляют.

Использование ацетиленовых баллонов вместо генераторов дает ряд преимуществ: простота обслуживания сварочной установки,

безопасность и улучшение условий работы, повышение производительности труда.

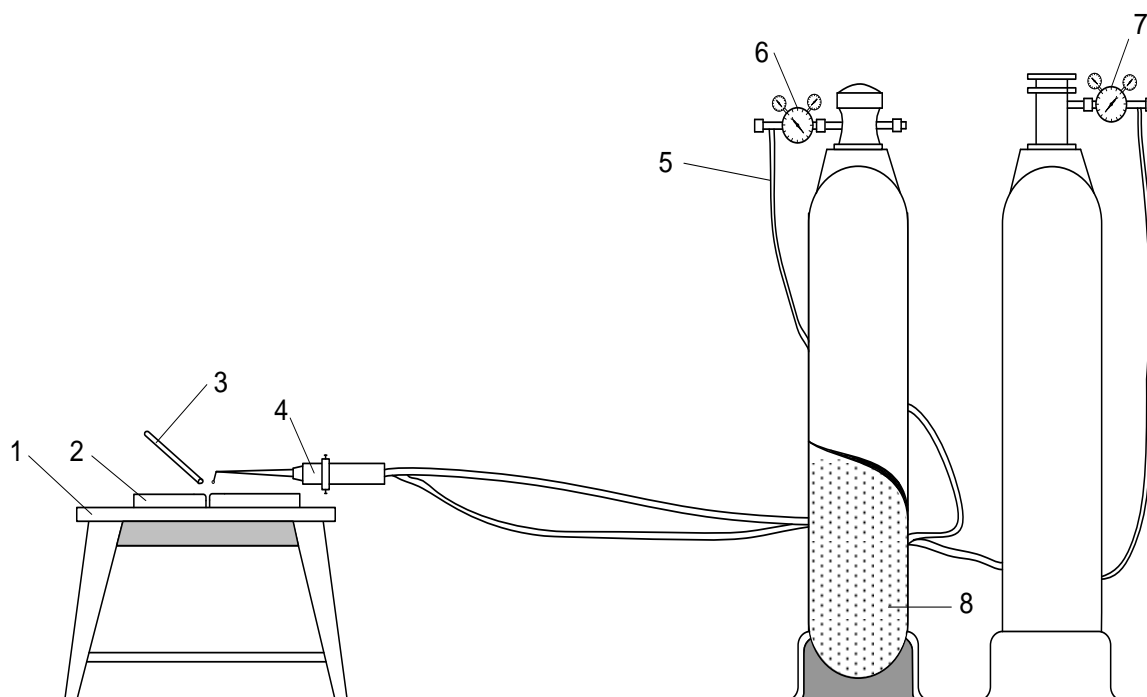


Рис.81. Схема газового поста с питанием от баллонов:
1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3 – присадочный металл;
4 – горелка; 5 – шланг; 6 – ацетиленовый редуктор;
7 – кислородный редуктор; 8 – пористая масса

Сварочные горелки

Сварочная горелка является основным инструментом газосварщика. Сварочной горелкой называется устройство, служащее для смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения сварочного пламени.

Согласно ГОСТ 1077-79 сварочные горелки классифицируются: по способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру – инжекторные и безинжекторные; по роду применяемого газа; по мощности – микромощности, малой, средней и большой мощности; по способу применения – ручные и машинные.

Наибольшее применение имеют инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом. В инжекторных горелках горючий газ подсасывается в смесительную камеру струей кислорода, подаваемого в горелку с большим давлением (0,15...0,5 МПа), чем горючий газ (0,01 МПа). Этот процесс подсоса называется инъекци-

ей. На рис. 82 показаны схемы инжекторной и безинжекторной горелок.

В инжекторной горелке (рис. 82, а) кислород под давлением через штуцер 8 и регулировочный вентиль 7 подается к инжектору 6. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного корпуса, кислород создает значительное разрежение в камере 5, вызывающее подсос ацетилена.

В камере 5 образуется горючая смесь, которая поступает по наконечнику 3 к мундштуку 4, на выходе которого при сгорании образуется сварочное пламя. Горелки имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука. Наконечники крепятся к стволу горелки 1 накидной гайкой 2.

В безинжекторных горелках (рис. 82, б) горючий газ и кислород поступает в смесительную камеру 5 под одинаковым давлением в пределах 0,01...0,1 МПа.

В табл. 32 приведены различные типы горелок, в табл. 33 даны их технические характеристики.

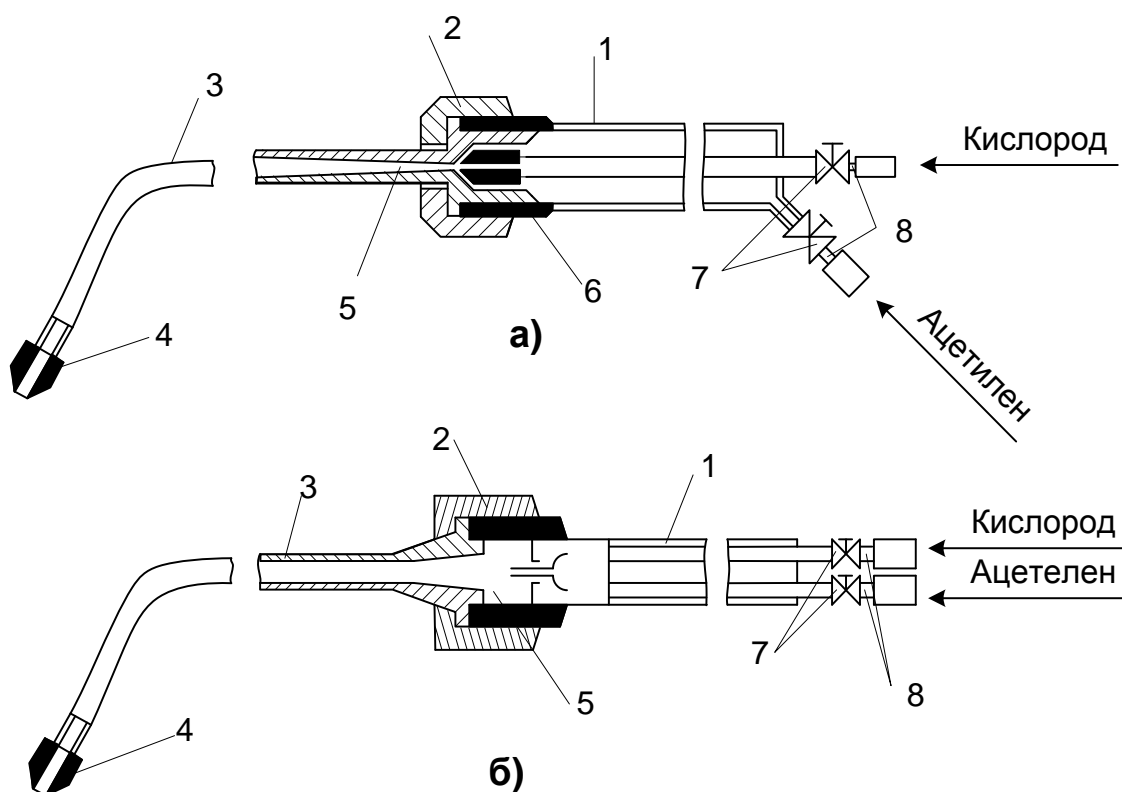


Рис. 82. Схемы ацетиленовых горелок:

а – инжекторные;

б – безинжекторные

Таблица 32

Универсальные ацетиленокислородные горелки по ГОСТ 1077-79

Тип горелки	Модель горелки	Номера наконечников	Масса, кг не более	Внутренний диаметр присоединительного рукава, мм
Г1 (микромощности)	ГС – I	000; 00; 0	0,4	4
Г2 (малой мощности)	Г2 – 04	0; 1; 2; 3; 4	0,7	6
Г3 (средней мощности)	Г3 – 03	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7	1,2	9
Г4 (большой мощности)	ГС – 4	8, 9	2,5	9

Горелки типа Г1 – безинжекторные, остальных типов – инжекторные. Горелка ГС – 4 предназначена для подогрева. Горелка Г2 – 04 по конструкции подобна ранее выпускавшимся горелкам «Звездочка», ГС – 2, «Малютка». Горелка Г3 – 03 заменяла выпускавшиеся горелки средней мощности «Звезда», ГС – 3, «Москва».

Таблица 33

Технические характеристики инжекторных горелок

Параметр	Номер наконечника									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Толщина свариваемой низкоуглеродистой стали, мм	0,2 ... 0,5	0,5 ... 1,0	1...2	2...4	4...7	7... 11	11... 17	17... 30	30... 50	50
Расход ацетилена, л/ч	40 ... 50	65 ... 90	130 ... 180	250 ... 350	400 ... 420	700 ... 950	1130 ... 1500	1800 ... 2500	250 ... 4500 0	4500 ... 7000
Расход кислорода, л/ч	45 ... 55	70 ... 100	140 ... 200	270 ... 380	450 ... 650	750 ... 1000	1200 ... 1650	2000 ... 2800	300 ... 5600	4700 ... 9300

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый. При правом способе (рис. 83, а) процесс сварки ведется слева направо. Горелка 3 перемещается впереди присадочного прутка 2, а пламя 4 направлено на формирующийся шов 5. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварочного шва. Такой способ позволяет получать швы высокого качества.

Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия 1, а позади наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень ее использования. Потолочные швы легче сваривать правым способом, так как в этом случае газовый поток направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны.

При левом способе (рис. 83, б) процесс сварки производится справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки 1 и подогревает их. Этот способ применяют при сварке тонких листов. При левом способе сварки внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и может получить равномерную толщину шва.

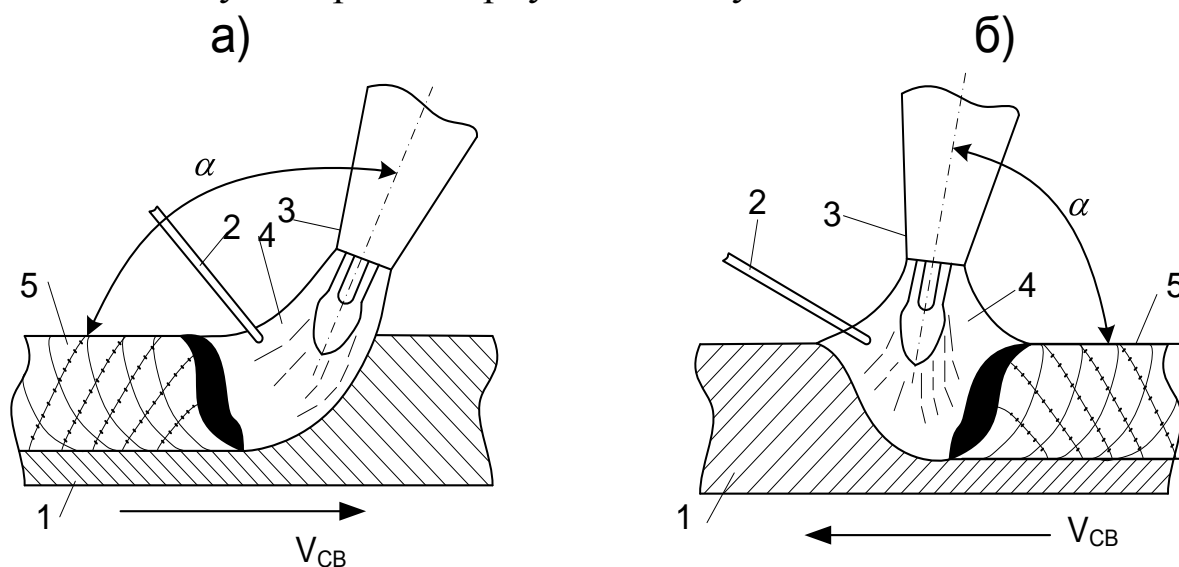


Рис. 83. Схема газовой сварки правым (а) и левым (б) способом:
 1 – свариваемый металл; 2 – присадочная проволока;
 3 – горелка; 4 – газовое пламя; 5 – сварной шов

Качество сварного соединения в значительной степени зависит от правильного выбора режима и техники выполнения сварки.

Важным показателем сварочного пламени является тепловая мощность. Мощность пламени горелки определяется расходом ацетилена в л/ч и регулируется наконечниками горелки. Мощность пламени выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и его свойств.

Удельной мощностью пламени называется часовой расход ацетилена в литрах, приходящийся на 1 мм толщины свариваемого металла. Например, при сварке углеродистых и низколегированных сталей, чугуна, сплавов меди и алюминия удельная мощность пламени составляет 80...150 л/ч·мм, а при сварке меди, обладающей высокой теплопроводностью, удельную мощность выбирают 150...220 л/ч·мм.

Характер пламени также выбирают в зависимости от свариваемого металла. Например, при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов применяют науглероживающее пламя, а при сварке латуни – окислительное.

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются с применением нормального пламени.

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Удельная мощность должна быть в пределах 80...100 л/ч·мм. Рекомендуется левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла.

В табл. 34 приведены основные технологические параметры газовой сварки сталей.

Диаметр присадочной проволоки d , мм при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле:

$$d = S / 2 + 1, \quad (28)$$

где S – толщина металла, мм.

При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла.

При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 7...8 мм.

После газовой сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температурой

800...900°C. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

Технологические параметры газовой сварки сталей

Свариваемые стали	Расход ацетилена, л/ч, на 1 мм толщины свариваемого металла	Сварочная проволока	Особенности технологии
1	2	3	4
Низкоуглеродистые (до 0,25 % С)	Левый способ 100 – 300 Правый способ 120 – 150	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 Св-10ГА	Флюс не требуется. При сварке заменителями ацетилена нужны проволоки Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-15ГЮ
Среднеуглеродистые	Левый способ 70 – 100	Св-18ХС, Св-06НЗ	Флюс не требуется. При толщине стали свыше 3 мм нужен подогрев: общий до 250...350 °С или местный до 650...700°С.
Высокоуглеродистые (0,6 % С и более)	Левый способ 75	Св-18ХС, Св-06НЗ	Качественную сварку получают при толщине стали до 5-6 мм. Необходим общий подогрев до 250...300 °С в сочетании с местным до 650...700 °С. При содержании 0,7 % С и более требуется флюс – бура.
Низколегированные конструкционные типа: 10ХСНД, 15ХСНД 25ХГСА	Левый способ 75 – 100 Правый способ 100 – 130	Св-08, Св-08А, Св-10Г2, Св-18ХГС, Св-8ХМА	Флюс не требуется
Теплоустойчивые стали типа 16М, 15ХМ, 12Х1МФ, 18Х3МВ, 40Х9С2	Левый способ 100	Св-08ХНМ, Св-10НМА, Св-18ХМА, Св-08ХМ	Флюс не требуется

1	2	3	4
Высоколегированные (хромистые и хромо- никелевые)	Левый способ 70	Св-04Х18Н9 Св-06Х18Н9 Св-08Х18Н10В	<p>Необходим флюс. Его разводят в воде и в виде пасты наносят на кромки и обратную сторону шва за 15...20 мин до сварки. Аустенитные хромоникелевые стали сваривают быстро, без подогрева, околошовную зону защищают мокрым асбестом. Сразу после сварки необходимо охлаждение водой или сжатым воздухом. Качество соединений удовлетворительное при толщине стали до 2 мм. Стали типа Х13 сваривают с местным подогревом до 200...250 °С. Тонкий лист сваривают левым способом. Толстый (> 2 мм) только правым. Составы флюсов:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) 80 % плавикового шпата; 20 % ферротитана; б) 50 % буры, 50 % борной кислоты; в) 80 % буры, 20% оксида кремния

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

Кислородная резка основана на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе технически чистого кислорода. Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим основным требованиям:

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает. Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления 1500°C , а воспламеняется в кислороде при температуре $1300\dots 1350^{\circ}\text{C}$. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения. Поэтому резка стали с повышенным содержанием углерода и примесей затрудняется.

2. Температура плавления оксидов должна быть ниже температура плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали процессу резки. Например, при резке алюминия, температура плавления которого 660°C , образуются оксиды с температурой плавления 2050°C . Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки.

3. Образующиеся шлаки должны быть достаточно жидкотекучи и легко выдуваться из разреза.

4. Теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, интенсивно отводится от участка резки, и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно.

5. Количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим. Эта теплота способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки.

Различают два основных вида кислородной резки: разделительную и поверхностную.

Разделительную резку применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части.

Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза:



Теплота от горения металла Q вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие слои и распространяется на всю толщину металла.

Поверхностную резку применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки канавок, удаления поверхностных дефектов и других работ.

Применяют два вида поверхностной резки – строжку и обточку.

При строжке резак совершает возвратно-поступательное движение, как строгальный резец. При обточке резак работает как токарный резец.

Основным оборудованием для кислородной резки являются резаки – ручные и машинные.

Резаки классифицируются по назначению – универсальные и специальные, по виду резки – для разделительной и поверхностной резки, по принципу смешения газов – инжекторные и безинжекторные.

Наибольшее применение получили универсальные инжекторные ручные резаки для разделительной резки (рис. 84). Они отличаются от сварочных горелок наличием отдельной трубки для подачи кислорода и особым устройством головки, состоящей из двух сменных мундштуков (наружного – для подогревающего пламени и внутреннего – для струи чистого кислорода). Ацетилен подается к ниппелю 1, а кислород – к ниппелю 2. От ниппеля 2 кислород идет по двум направлениям. Одна часть кислорода, как в обычных сварочных горелках, поступает в инжектор для образования горючей смеси, которая выходит через кольцевой зазор между внутренним и наружным мундштуком и создает подогревательное пламя. Другая часть кислорода по трубам 3 и 4 поступает в центральное отверстие внутреннего мундштука 5 и образует струю режущего кислорода.

В зависимости от применяемого горючего газа резаки бывают ацетиленовые, бензиновые (пары) с подогревом мундштука и пропановые с несколько большими отверстиями в мундштуке по сравнению с ацетиленовыми.

Основными параметрами режима кислородной резки является: мощность подогревающего пламени, давление и скорость резки (табл. 35).

Режимы ручной резки листового проката

Толщина разрезаемого металла, мм	Номер мундштука		Давление кислорода, МПа	Примерная скорость резки, мм/мин
	наружного	внутреннего		
8...10	1	1	0,3	550...400
10...25	1	2	0,4	400...300
25...50	1	3	0,6	300...250
50...100	1	4	0,8	250...200
100...200	2	5	1,0	200...130
200...300	2	3	1,2	130...60

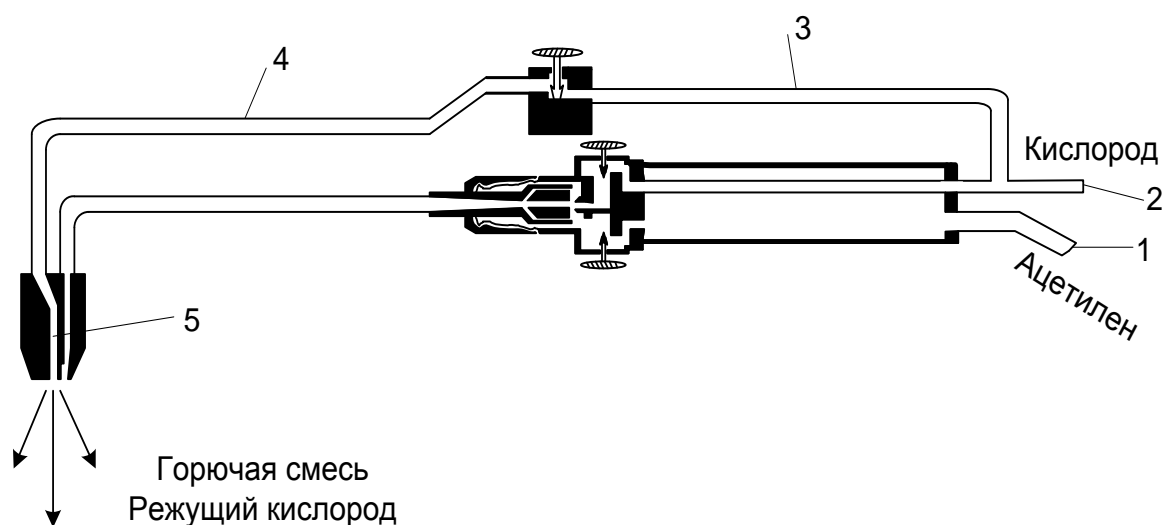


Рис. 84. Схема газокислородного резака:

- 1 – ниппель для подачи ацетилена; 2 – ниппель для подачи кислорода; 3, 4 – трубки для подачи кислорода;
5 – внутренний мундштук

Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла.

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла.

Механические свойства низкоуглеродистой стали при резке почти не изменяются. Стали с повышенным содержанием углерода, марганца, хрома и молибдена закаляются, становятся более твердыми и могут давать трещины в зоне резания.

При содержании в стали хрома до 5 % резка возможна только с предварительным подогревом. Нержавеющие хромистые и хромоникелевые стали, чугуны, цветные металлы и их сплавы не поддаются

ся обычной кислородной резке, так как не удовлетворяют приведенным в начале раздела требованиям.

Для этих металлов применяют кислородно-флюсовую резку, сущность которой заключается в следующем. В зону резания с помощью специальной аппаратуры непрерывно подается порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота, и повышается температура места разреза. Кроме того, продукты сгорания флюса реагируют с тугоплавкими оксидами и дают жидкотекучие шлаки, легко вытекающие из места разреза.

Практические действия студента

1. Подготовить сварочный пост к работе
2. Произвести зажигание сварочной горелки при различных соотношениях газа и кислорода:
 - а) при подаче только газа;
 - б) при минимальной подаче газа и кислорода.
3. При различной подаче газа и кислорода оценить различные виды пламени и отработать с соответствующей регулировкой оптимальный вариант.
4. Сварить две пластинки встык, охладить, зажать одну из пластин в тиски, а другую поворачивать (изгибать) в сторону сварочного шва на угол 45° от вертикали. Число изгибов до полного излома зафиксировать в таблице 36.
5. Произвести зажигание резака и отработать оптимальный вариант.
6. Произвести пробную резку металла, результаты занести в табл. 37.

Таблица 36

Результаты опыта при газовой сварке

№ опыта	Тип горелки	Номер накопительной	Давление кислорода		Давление горючего газа		Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Число циклов (изгибов) до излома
			в баллоне, Мпа	в горелке, Мпа	в баллоне, Мпа	в горелке, Мпа			

Таблица 37

Результаты опыта при кислородной резке

№ опыта	Тип резака	Давление кислорода, МПа		Давление горюч. газа, МПа		Толщина разрезаемого металла, мм	Длина разрезаемого участка, мм	Ширина разреза, мм
		в баллоне	в резаке	в баллоне	в резаке			

Таблица 38

Перечень индивидуальных заданий студентам

№ варианта	Конкретные условия сварки
1	Сталь 10, s = 2 мм
2	Сталь 10, s = 6 мм
3	Сталь 15, s = 3 мм
4	Сталь 15, s = 8 мм
5	Сталь 15, s = 16 мм
6	Сталь 20, s = 4 мм
7	Сталь 20, s = 0,5 мм
8	Сталь 25, s = 20 мм
9	Сталь 45, s = 4 мм
10	Сталь 65, s = 3 мм
11	Сталь 80, s = 6 мм
12	Сталь 25ХГСА, s = 4 мм
13	Сталь 10ХСНД, s = 6 мм
14	Сталь 15ХСНД, s = 3 мм
15	Сталь 20Х13, s = 1 мм
16	Сталь 30Х13, s = 3 мм
17	Чугун СЧ15, s = 4 мм
18	Чугун СЧ20, s = 6 мм
19	Латунь Л60, s = 5 мм

Содержание отчета

1. Описать область применения газовой сварки, ее достоинства и недостатки.
2. Описать область применения кислородной резки металла.
3. Вычертить и описать схему газосварочного поста.
4. Заполнить таблицы результатов опытов (табл. 36, 37).
5. По индивидуальному заданию преподавателя (марка и толщина свариваемого материала) (табл. 38) определить вид горелки и номер наконечника, способ сварки, диаметр и марку присадочной проволоки, технологические особенности сварки (вид пламени, удельную мощность пламени, потребность во флюсе и др.).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы ацетиленовых генераторов по способу взаимодействия CaC_2 с водой.
2. Для каких целей устанавливается водяной затвор в ацетиленовом генераторе?
3. Что называется удельной мощностью пламени газовой горелки?
4. Назовите основные виды сварочного пламени.
5. Как влияет содержание углерода и легирующих примесей на свариваемые стали?
6. Назовите основные способы газовой сварки.
7. Можно ли производить кислородную резку углеродистых и легированных сталей, чугуна, алюминия?
8. Чем отличаются друг от друга резаки ацетиленовый, бензиновый и пропановый?
9. Чем отличается конструкция резака от конструкции газовой горелки?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ К ГЛАВЕ IV

Тема «Литейное производство»

1. Литейная форма, из которой при заливке происходит выделение вредных газов, – это...

- A) водоохлаждаемая
- B) металлическая
- C) оболочковая
- D) песчано-глинистая

2. Метод литья, в котором отсутствует литниковая система, – это...

- A) кокильное литье
- B) литье в оболочковые формы
- C) центробежное литье
- D) электрошлаковое литье

3. Материал отливок, получаемый литьем под давлением, – это...

- A) легированная сталь
- B) углеродистые сталь
- C) цветные металлы и сплавы на их основе
- D) чугун

4. Технологический процесс получения фасонных деталей путем заполнения жидким металлом заранее подготовленных форм – это...

- A) литье
- B) кристаллизация
- C) плавление
- D) формовка

5. Процесс изготовления литейной формы – это...

- A) литье
- B) кристаллизация
- C) плавление
- D) формовка

6. Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки, – это...

- A) модель
- B) стержень
- C) стояк
- D) опока

7. Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внутренние полости, – это...

- A) модель
- B) стержень
- C) подмодельная плита
- D) опока

8. Приспособление, которое служит для изготовления песчаных стержней, – это...

- A) модель
- B) опока
- C) подмодельная плита
- D) стержневой ящик

9. Каналы в форме, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе её кристаллизации, – это...

- A) литниковая система
- B) опока
- C) стержень
- D) модель

10. Самый распространенный способ литейного производства – это литье...

- A) в песчано-глинистые формы
- B) в кокиль
- C) в оболочковые формы
- D) по выплавляемым моделям

11. Металлические рамки, в которых производится формовка в песчано-глинистых смесях, – это...

- A) модель
- B) кокиль
- C) опоки
- D) стержневой ящик

12. Способность металлов и сплавов в расплавленном состоянии воспроизводить рельеф полости формы – это...

- A) жидкотекучесть
- B) кристаллизация
- C) ликвация
- D) усадка

13. Уменьшение линейных и объёмных размеров сплавов при затвердевании и охлаждении – это...

- A) жидкотекучесть
- B) кристаллизация
- C) ликвация
- D) усадка

14. Свойство формовочных и стержневых смесей пропускать пары воды и газы, образующиеся при соприкосновении горячего металла с формой, – это...

- A) газопроницаемость
- B) пластичность
- C) податливость
- D) прочность

15. Способность формовочных и стержневых смесей сохранять форму при воздействии внешних сил – это...

- A) газопроницаемость
- B) пластичность
- C) податливость
- D) прочность

16. Свойство формовочной смеси не препятствовать усадке – это...

- A) газопроницаемость
- B) пластичность
- C) податливость

D) прочность

17. Металлическая форма, многократно используемая для получения отливок, – это...

A) изложница

B) кокиль

C) опока

D) шаблон

18. Метод литья, при котором отливки получают в форме, состоящей из двух песчано-смоляных оболочек, – это...

A) литье в кокиль

B) литье в оболочковые формы

C) литье под давлением

D) центробежное литье

19. Метод литья, при котором жидким металлом принудительно заполняют металлическую пресс-форму под давлением, – это...

A) литье в кокиль

B) литье в оболочковые формы

C) литье под давлением

D) центробежное литье

20. Метод литья, при котором литейная форма выполняет функции плавильного агрегата, – это...

A) кокильное литье

B) литье под давлением

C) центробежное литье

D) электрошлаковое литье

21. Метод литья, при котором расплавленный металл заливают во вращающиеся формы, – это...

A) литье в оболочковые формы

B) литье под давлением

C) кокильное литье

D) центробежное литье

22. Свойство формовочной смеси не сплавляться и не спекаться под действием расплавленного металла – это...

- A) газопроницаемость
- B) огнеупорность
- C) податливость
- D) прочность

23. Свойство литейных сплавов, заключающееся в неоднородности химического состава между отдельными участками отливки и в зернах, – это...

- A) жидкотекучесть
- B) кристаллизация
- C) ликвация
- D) усадка

24. Дополните:

Металлические рамки, в которых производится формовка в песчано-глинистых смесях, называются _____.

25. Дополните:

Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внешний контур будущей отливки, называется _____.

26. Дополните:

Приспособление, при помощи которого в литейной форме воспроизводят внутренние полости, называется _____.

27. Дополните:

Каналы в форме, по которым жидкий металл подходит к полости формы и питает отливку в процессе её кристаллизации, называются _____.

Тема «Обработка металлов давлением»

1. Процесс, приводящий к повышению пластичности при горячей обработке давлением, - это...

- A) высокая степень деформации
- B) наклеп

- C) переменный химический состав
- D) рекристаллизация

2. Нагревательная печь, имеющая одинаковую температуру по всему рабочему пространству, – это ...

- A) вагранка
- B) домна
- C) камерная печь
- D) методическая печь

3. Вид прокатки, при котором получают бесшовные трубы, – это ...

- A) поперечная прокатка
- B) поперечно-винтовая прокатка
- C) продольная прокатка

4. Деформация, при которой после снятия нагрузки атомы возвращаются в исходное положение, и форма тела полностью восстанавливается, - это деформация...

- A) горячая
- B) пластическая
- C) упругая
- D) холодная

5. Деформация, при которой атомы смещаются в новые места устойчивого равновесия, и после снятия нагрузки форма тела не восстанавливается, - это деформация...

- A) необратимая
- B) обратимая
- C) пластическая
- D) упругая

6. Методы холодной обработки давлением – это...

- A) ковка и прессование
- B) волочение и выдавливание
- C) прокатка труб и профилей
- D) прокатка и обратное прессование

7. Свойство, значение которого увеличивается при рекристаллизации, – это...

- A) пластичность
- B) прочность
- C) твердость
- D) ударная хрупкость

8. Процесс, при котором происходит разупрочнение металла, освобождение его от искажений кристаллической решетки и внутренних напряжений, – это...

- A) возврат
- B) наклеп
- C) отжиг
- D) рекристаллизация

9. Упрочнение металла при холодной деформации – это...

- A) возврат
- B) закалка
- C) наклеп
- D) рекристаллизация

10. Фактор, от которого зависит температурный интервал обработки давлением стали, – это ...

- A) вид печи
- B) применяемое топливо
- C) стоимость электроэнергии
- D) химический состав стали

12. Метод горячей обработки металлов давлением – это...

- A) волочение
- B) выдавливание
- C) низкотемпературная термомеханическая обработка
- D) прокатка

13. Инструмент, используемый при прокатке металлов и сплавов, – это...

- A) валок
- B) матрица
- C) пуансон

D) поршень

14. Инструмент, используемый при волочении металлов и сплавов, – это...

- A) валок
- B) матрица
- C) молот
- D) пресс

15. Процесс протягивания металла через отверстие, размер которого меньше сечения исходной заготовки, – это...

- A) волочение
- B) прессование
- C) прокатка
- D) штамповка

16. Неисправимый брак при обработке металлов давлением, вызванный окислением границ зерен аустенита, – это...

- A) наклеп
- B) перегрев
- C) пережог
- D) рекристаллизация

17. Исправимый брак при обработке металлов давлением, вызванный укрупнением границ зерен аустенита, – это...

- A) наклеп
- B) перегрев
- C) пережог
- D) рекристаллизация

18. Процесс выдавливания металла из замкнутого объема через выходное отверстие (очко матрицы) – это...

- A) волочение
- B) прессование
- C) прокатка
- D) штамповка

19. Процесс обработки металлов давлением, при котором металл течет свободно в направлениях, не ограниченных поверхностями штампа, – это ...

- A) волочение
- B) прессование
- C) прокатка
- D) свободная ковка

20. Инструмент машинной свободной ковки, который действует на заготовку динамически, – это...

- A) валок
- B) матрица
- C) молот
- D) пресс

21. Инструмент машинной свободной ковки, который действует на заготовку статически, – это...

- A) валок
- B) матрица
- C) молот
- D) пресс

22. Инструмент, используемый при прессовании, – это...

- A) прессштемпель
- B) пресспапье
- C) прессштамп
- D) молот

23. Материал, из которого изготавливают штампы для горячей штамповки, – это...

- A) алмаз
- B) высокопрочный чугун
- C) инструментальная легированная сталь
- D) инструментальная углеродистая сталь

24. Вид обработки давлением, с помощью которого изготавливают кузова автомобилей, – это:

- A) листовая штамповка
- B) свободная ковка

- C) волочение
- D) прокатка

25. Процесс обжатия металла между вращающимися валками прокатного стана – это:

- A) волочение
- B) прессование
- C) прокатка
- D) штамповка

Тема «Сварочное производство»

1. Сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги, – это...

- A) дуговая сварка
- B) диффузионная
- C) контактная
- D) ультразвуковая

2. Сварка, которая относится к термомеханическому классу, – это...

- A) диффузионная
- B) плазменная
- C) ультразвуковая
- D) электрошлаковая

3. Сварка, которая относится к термическому классу, – это...

- A) диффузионная
- B) взрывом
- C) контактная
- D) плазменная

4. Сварка, которая относится к механическому классу, это...

- A) газовая
- B) индукционная
- C) ультразвуковая
- D) электронно-лучевая

5. Вид соединения, при котором торец одного элемента примыкает к поверхности другого элемента сварной конструкции под некоторым углом (чаще всего под прямым), – это...

- A) нахлесточное
- B) стыковое
- C) тавровое
- D) угловое

6. Вид соединения, которое применяются в сварных конструкциях из листового металла и при стыковке уголков, швеллеров, двутавров и труб, – это...

- A) нахлесточное
- B) стыковое
- C) тавровое
- D) угловое

7. Вид соединения, которое осуществляется взаимным перекрытием кромок свариваемых изделий, – это...

- A) нахлесточное
- B) стыковое
- C) тавровое
- D) угловое

8. Вид соединения, которое широко применяют при дуговой сварке балок, колонн, стоек, каркасов ферм и других конструкций, – это...

- A) нахлесточное
- B) стыковое
- C) тавровое
- D) угловое

9. Вид соединения, которое применяют при сварке различных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей из металла толщиной 1...100 мм, – это...

- A) нахлесточное
- B) стыковое
- C) тавровое
- D) угловое

10. Процесс удаления из жидкой сварочной ванны окислов – это...

- A) легирование
- B) окисление
- C) раскисление
- D) рафинирование

11. Процесс повышения механических свойств сварного шва и пополнения выгоревших при сварке элементов основного металла – это...

- A) легирование
- B) окисление
- C) раскисление
- D) рафинирование

12. Процесс очищения сварного шва от серы и фосфора – это...

- A) легирование
- B) окисление
- C) раскисление
- D) рафинирование

13. Основной недостаток автоматической сварки под флюсом – это...

- A) низкая производительность
- B) ограниченная маневренность
- C) плохое качество сварного шва
- D) повышенный расход электроэнергии

14. Электрод, который применяется в дуговой сварке по Бенардосу, - ...

- A) биметаллический
- B) металлический
- C) комбинированный
- D) угольный

15. Электрод, который применяется в дуговой сварке по Славянову, - ...

- A) биметаллический

- В) металлический
- С) комбинированный
- Д) угольный

16. Устройство, которое регулирует заданное давление и расход газа при газовой сварке, – это...

- А) шланг
- В) горелка
- С) пружина редуктора
- Д) электрод

17. Газ, при сжигании которого в кислороде достигается максимальная температура сварочного пламени, – это...

- А) ацетилен
- В) бензин
- С) бутан
- Д) пропан

18. Сплав, из которого изготавливают вентиль кислородного баллона, – это...

- А) бронза
- В) латунь
- С) дуралюмин
- Д) сталь

19. Сплав, из которого изготавливают вентиль ацетиленового баллона, – это...

- А) бронза
- В) латунь
- С) дуралюмин
- Д) сталь

20. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в нормальном пламени газовой горелки – это...

- А) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена
- В) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода
- С) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода

21. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в науглероживающем пламени газовой горелки – это...

- A) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена
- B) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода
- C) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода

22. Соотношение ацетилена и кислорода в смеси в окислительном пламени газовой горелки – это...

- A) на один объем кислорода приходится один объем ацетилена
- B) на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода
- C) на один объем ацетилена приходится не более 0,95 объема кислорода

23. Вид пламени, который применяется при газовой сварке латуней, – это:

- A) науглероживающее
- B) нормальное
- C) окислительное

24. Свариваемость стали с увеличением содержания углерода...

- A) увеличивается
- B) уменьшается
- C) содержание углерода в стали не влияет на свариваемость стали
- D) сначала растет, потом уменьшается

25. Тип ацетиленовых генераторов, в которых ацетилен получают путем периодической подачи карбида кальция в воду, – это...

- A) ВВ
- B) ВК
- C) КВ
- D) КВВ

26. Тип ацетиленовых генераторов, в которых ацетилен получают путем соприкосновения карбида кальция с водой в зависимости от изменения уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и периодически вытесняемой образовавшимся газом, – это...

- A) ВВ
- B) ВК
- C) КВ
- D) КВВ

27. Разрушающий метод контроля качества сварных швов – это...

- A) внешний осмотр
- B) гидравлическое испытание
- C) металлографическое исследование
- D) ультразвуковое исследование

28. Материал, который обеспечивает защиту сварного шва от вредного влияния окислительной атмосферы путем применения специальных электродов, – это...

- A) защитный газ
- B) обмазка электрода
- C) присадочный материал
- D) флюс

29. Технологический процесс получения неразъемных соединений за счет межатомных и межмолекулярных сил связи – это...

- A) ковка
- B) литье
- C) прокатка
- D) сварка

30. Мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металлов – это...

- A) ионизация
- B) лазерный луч
- C) поляризация
- D) электрическая дуга

31. Процесс соединения деталей нагревом их в месте контакта до пластического или жидкого состояния с применением сильного сжатия – это...

- A) контактная сварка
- B) сварка взрывом
- C) сварка трением
- D) холоднопрессовая сварка

32. Соединение металлических деталей в твердом состоянии с помощью расплавленного присадочного сплава (металла) – это...

- A) диффузионная сварка
- B) пайка
- C) сварка
- D) ультразвуковая сварка

33. Сталь, которая обладает наилучшей свариваемостью, – это...

- A) высоколегированная
- B) низкоуглеродистая
- C) среднеуглеродистая
- D) высокоуглеродистая

34. Величина диаметра электрода при ручной дуговой сварке зависит от ...

- A) источника питания
- B) скорости перемещения электрода
- C) толщины свариваемого металла
- D) химического состава свариваемого металла

35. Род тока, которым следует проводить дуговую сварку тонколистовых изделий, – это...

- A) переменный
- B) постоянный
- C) постоянный обратной полярности
- D) постоянный прямой полярности

36. Род тока, которым следует проводить дуговую сварку высоколегированных сталей, – это...

- A) переменный
- B) постоянный
- C) постоянный обратной полярности
- D) постоянный прямой полярности

37. Примесь в стали, которая способствует образованию в сварном шве горячих трещин, – это...

- A) кремний
- B) марганец
- C) сера
- D) фосфор

38. Примесь в стали, которая снижает пластичность и способствует неоднородности металла сварного шва, – это...

- A) кремний
- B) марганец
- C) сера
- D) фосфор

39. Источник питания сварочной дуги постоянным током с независимым приводом – это...

- A) выпрямитель
- B) генератор
- C) преобразователь
- D) трансформатор

40. Источник питания сварочной дуги постоянным током с электрическим приводом – это...

- A) выпрямитель
- B) генератор
- C) преобразователь
- D) трансформатор

41. Источник питания сварочной дуги переменным током – это...

- A) выпрямитель
- B) генератор
- C) преобразователь
- D) трансформатор

42. Вид сварки, при которой механизированы процессы подачи электродной проволоки, перемещения изделия вдоль свариваемого стыка и насыпка флюса, – это...

- A) автоматическая сварка под слоем флюса
- B) полуавтоматическая сварка под слоем флюса
- C) ручная дуговая сварка
- D) электрошлаковая сварка

43. Устройство, которое служит для понижения высокого давления газа, поступающего из баллона до рабочего, и для поддержания этого давления постоянным в процессе сварки, – это...

- A) вентиль
- B) генератор
- C) манометр
- D) редуктор

44. Цвет, в который окрашивают кислородные баллоны, – это...

- A) белый
- B) голубой
- C) красный
- D) черный

45. Цвет, в который окрашивают ацетиленовые баллоны, – это...

- A) белый
- B) голубой
- C) красный
- D) черный

46. Вид пламени, который применяется при газовой сварке бронз, алюминия, низкоуглеродистых сталей, это...

- A) науглероживающее
- B) нормальное
- C) окислительное

47. Вид пламени, который применяется при газовой сварке чугунов, это...

- A) науглероживающее
- B) нормальное
- C) окислительное

48. Сплав, который поддается кислородной резке, - это...

- A) нержавеющей сталь
- B) низкоуглеродистая сталь
- C) сплав цветных металлов
- D) чугун

49. Устройство в ацетиленовых генераторах, которое служит для предохранения генератора от проникновения в него взрывной волны при обратном ударе пламени, – это...

- A) водяной затвор
- B) газосборник
- C) карбидный осушитель
- D) реторта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью изучения предлагаемого учебного пособия является приобретение и усвоение студентами, обучающимися по специальности 5.40.05.03 «Судебная экспертиза» (специализация «Инженерно – технические экспертизы») юридического института Красноярского государственного аграрного университета знаний о свойствах и строении, методах обработки основных конструкционных материалов, применяемых в различных отраслях машиностроения.

Содержание дисциплины «Материалы и технологии в машиностроении» охватывает круг вопросов, связанных с эффективным проведением инженерно-технической экспертизы в области разнообразных инженерных объектов, произведенных из различных конструкционных материалов с применением современных машиностроительных технологий.

Учебное пособие обобщает результаты многолетней методической работы сотрудников кафедры общепрофессиональных дисциплин Красноярского государственного аграрного университета.

В работе сконцентрирован обширный материал различных источников, систематизирован и акцентирован для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования вышеуказанной специальности.

При написании пособия использованы сведения из проведенного автором литературного обзора по металлургическому производству в Красноярском крае, результаты исследований надежности зерноуборочных комбайнов (коллекция изломов и изношенных деталей, микрошлифы образцов, наплавленных порошковой проволокой, фотографии микроструктур конструкционных материалов и др.).

Учебное пособие содержит методические указания по выполнению одиннадцати практических работ по разделам «Материаловедение» и «Технология конструкционных материалов». Проведению работ предшествует изучение теоретических сведений, кратко представленных по каждой теме.

Каждая глава пособия содержит необходимые контрольные тесты для самопроверки знаний.

Использование студентами материалов, изложенных в работе, позволит им не только овладеть профессионально-специализированными компетенциями, но и целенаправленно подго-

товиться к успешной сдаче экзамена по дисциплине «Материалы и технологии в машиностроении».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин. – М.: Машиностроение, 1993. – 448 с.
3. Мозберг, Р.К. Материаловедение: учеб. пособие для вузов / Р.К. Мозберг. – М.: Высш. школа, 1991. – 448 с.
4. Кондратьев, Е.Т. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для вузов / Е.Т. Кондратьев. – М.: Колос, 1992. – 320 с.
5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисова. – М.: Высш. школа, 2006. – 638 с.
6. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: изд-во МГТУ, 2003. – 648 с.
7. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – М.: Высш. школа, 2007. – 533 с.
8. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / В.С. Чередниченко.- 5-е изд., стер. – М.: Издательство «Омега-Л», 2009 – 752 с.
9. Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение: учебник / Л.В. Журавлева. – М.: Академия, 2000. – 312 с.
10. Жуков, А.П. Основы металловедения и теории коррозии: учебник для средн. спец. учеб. заведений / А.П. Жуков, А.И. Малахов – М.: Высш. школа, 1991. – 168 с.
11. Некрасов, С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов / С.С. Некрасов, А.М. Пономаренко, Г.К. Потапов и др.; под ред. С.С. Некрасова. – М.: Колос, 1983. – 236 с.
12. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосников, С.А. Вяткин и др.; под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
13. Беспалов В.Ф. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В.Ф. Беспалов, Н.М. Романченко. – Красноярск: изд-во ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 2014 – 321 с.

14. Романченко Н.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии: учебное пособие / Н.М. Романченко. – Красноярск: изд-во ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 2016 – 187 с.

15. Ильин В.Н. Материаловедение и технология материалов. Учебное пособие / В.Н. Ильин, Грабарев С.П., Полянин В.Д., Ефимов А.Е. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 72 с.

16. Почкутов С.И. Методические основы педагогического тестирования: учеб. пособие / С.И. Почкутов, Е.Е. Савченко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 60 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава I. Основы строения и свойств материалов. Фазовые пре- вращения.....	5
Тема 1. Структура материалов.....	5
1.1. Классификация металлов.....	5
1.2. Кристаллическое строение металлов.....	6
1.3. Анизотропия свойств кристаллов.....	11
1.4. Методы изучения строения металлов.....	12
Тема 2. Основные свойства материалов.....	13
2.1. Свойства металлов и спла- вов.....	13
2.2. Пластическая деформация.....	16
2.3. Наклеп и рекристаллизация.....	18
Тема 3. Процесс кристаллизации и фазовые превращения в сплавах. Основные типы диаграмм состояния	20
3.1. Кристаллизация металлов.....	20
3.2. Превращения в твердом состоянии. Аллотропия.....	25
3.3. Составляющие структуры сплавов.....	27
3.4. Правило фаз.....	29
3.5. Диаграммы состояния двойных сплавов.....	30
Тема 4. Диаграмма состояния сплавов системы желе- зо-углерод.....	36
Практическая работа № 1. Определение твердости металлов и сплавов методом Бринелля.....	43
Практическая работа № 2. Определение твердости металлов и сплавов методом Роквелла.....	52
Практическая работа № 3. Макроскопический анализ металлов и сплавов.....	59
Практическая работа № 4. Микроскопический анализ металлов и сплавов.....	64
Тестовые задания к главе I.....	74
Глава II. Конструкционные и инструментальные материалы и сплавы.....	88
Тема 5. Углеродистые стали.....	88
5.1. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей.....	88

5.2. Классификация углеродистых сталей.....	89
5.3. Углеродистые стали обыкновенного качества.....	91
5.4. Углеродистые качественные стали.....	92
5.5. Обрабатываемость резанием. Автоматные стали.....	93
Тема 6. Чугуны.....	95
6.1. Белые чугуны.....	96
6.2. Серые чугуны.....	96
6.3. Высокопрочные чугуны.....	99
6.4. Ковкие чугуны.....	99
.....6.5. Специальные чугуны.....	101
Тема 7. Легированные стали и сплавы.....	101
7.1. Классификация и маркировка легированных ста-	
лей.....	103
7.2. Конструкционные стали.....	105
7.3. Инструментальные и штамповочные стали и спла-	
вы.....	108
7.4. Стали с особыми свойствами.....	113
Тема 8. Цветные металлы и сплавы.....	120
8.1. Алюминий и его сплавы.....	120
8.2. Медь и ее сплавы.....	125
8.3. Титан и его сплавы.....	128
8.4. Антифрикционные сплавы.....	129
Тема 9. Электротехнические, неметаллические и композицион-	
ные материалы.....	130
9.1. Электротехнические материалы.....	130
9.2. Пластические массы.....	137
9.3. Резина.....	154
9.4. Стекло.....	156
9.5. Композиционные материалы.....	160
9.6. Вспомогательные материалы.....	162
Практическая работа № 5. Изучение микроструктуры и свойств	
углеродистых сталей в равновесном состоянии.....	169
Практическая работа № 6. Изучение микроструктуры и свойств	
чугунов.....	173
Практическая работа № 7. Основные исходные материалы и	
продукты металлургического производства.....	180
Тестовые задания к главе II.....	197

Глава III. Основы термической и химико-термической обработки.....	220
Тема 10. Теория и технология термической обработки стали	220
10.1. Термическая обработка стали.....	221
10.2. Отжиг и нормализация.....	222
10.3. Закалка.....	224
10.4. Отпуск.....	227
Тема 11. Химико-термическая обработка.....	220
11.1. Цементация стали.....	229
11.2. Азотирование стали.....	230
11.3. Цианирование стали.....	231
11.4. Диффузионная металлизация.....	232
Практическая работа № 8. Термическая обработка углеродистых сталей.....	228
Практическая работа № 9. Отпуск закаленной стали.....	244
Тестовые задания к главе III.....	250
Глава IV. Основы технологии конструкционных материалов.....	258
Тема 12. Основы литейного производства.....	258
12.1. Литье в песчано-глинистые формы.....	259
12.2. Специальные методы литья.....	263
Тема 13. Обработка металлов давлением.....	276
Тема 14. Сварочное производство.....	293
Практическая работа № 10. Технология и оборудование электрической дуговой сварки.....	296
Практическая работа № 11. Газовая сварка и резка металлов	312
Тестовые задания к главе IV.....	339
Заключение.....	358
Список литературы.....	360