

1. Предмет «Материаловедение и технология конструкционных материалов». История науки. Значение металлических и неметаллических материалов в современной технике, их рациональное использование.

Русский инженер П. П. Аносов, работая над раскрытием тайны изготовления булатных клинков, в 1831 г. впервые в истории применил микроскоп для изучения строения стали.

Английский петрограф Г. Сорби использовал в 1864 г. аналогичный метод для изучения строения железных метеоритов. Эти работы положили начало микроструктурному анализу металлов, распространенному методу исследования в материаловедении.

Великий русский металлург Д. К. Чернов, открыл в 1868 г. критические точки (температуры) превращений в стали и связал с ними выбор режима термообработки для получения необходимых свойств. Это открытие оказало определяющее влияние на последующее становление и развитие науки о металлах.

Последователь Д. К. Чернова инженер Ф. Осмонд, применил термоду для установления критических точек в сталях методом термического анализа.

К началу 90-х гг. XIX в закончился подготовительный период в развитии материаловедения.

Последние годы XIX в и первые два десятилетия XX в можно назвать периодом классической металлографии, основными методами которой являлись микроструктурный и термический анализы. С помощью этих методов экспериментально была построена диаграмма состояния системы железо-углерод, а затем диаграммы состояния множества других систем.

Сейчас материаловедение и технология конструкционных материалов – это массив знаний, позволяющий оптимально выбрать материал и технологию его обработки для изделий различного назначения.

Все материалы по химической основе делятся на две основные группы — *металлические и неметаллические*. К *металлическим* относятся металлы и их сплавы. Металлы составляют более 2/3 всех известных химических элементов. В свою очередь, металлические материалы делятся на *черные и цветные*. К черным относятся железо и его сплавы (стали и чугуны). Все остальные металлы относятся к цветным.

Наибольшее применение в технике приобрели черные металлы. На основе железа изготавливают более 90% всей металлопродукции. Однако цветные металлы обладают целым рядом ценных физико-химических свойств, которые делают их незаменимыми. Значительное место занимают различные неметаллические материалы — пластмассы, керамика, резина и др. Их производство и применение развивается в настоящее время опережающими темпами по сравнению с металлическими материалами. Но использование их в промышленности невелико (до 10%) и предсказание тридцатилетней давности о том, что неметаллические материалы к концу века существенно потеснят металлические, не оправдалось.

2. Кристаллические и аморфные тела. Типы кристаллических решеток.

Все вещества в твердом состоянии могут иметь кристаллическое или аморфное строение. В аморфном веществе атомы расположены хаотично, а в кристаллическом – в строго определенном порядке. Все металлы в твердом состоянии имеют *кристаллическое строение*.

Для описания кристаллической структуры металлов пользуются понятием кристаллической решетки. *Кристаллическая решетка* — это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой расположены атомы. Наименьшая часть кристалличе-

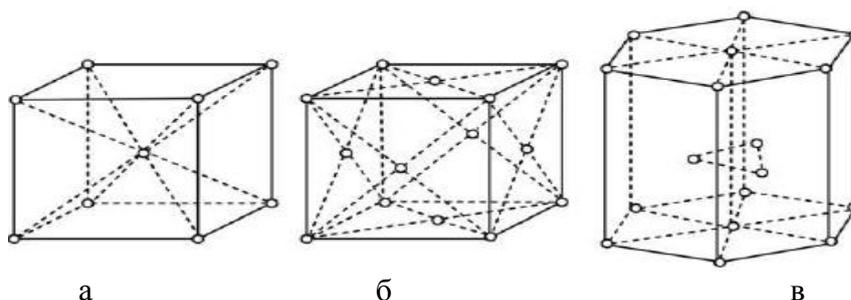
ской решетки, определяющая структуру металла, называется элементарной *кристаллической ячейкой*.

На рис.2 изображены элементарные ячейки для наиболее распространенных кристаллических решеток.

В кубической объемно-центрированной решетке (рис. а) атомы расположены в узлах ячейки и один атом в центре куба. Такую решетку имеют хром, вольфрам, молибден и др.

В кубической гранецентрированной решетке (рис.б) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани. Эту решетку имеют алюминий, медь, никель и другие металлы.

В гексагональной плотноупакованной решетке (рис. в) атомы расположены в вершинах и центрах оснований шестигранной призмы и три атома в середине призмы. Такой тип решетки имеют магний, цинк и некоторые другие металлы.



3. Реальное строение металлов. Дефекты кристаллического строения.

Реальный металлический кристалл всегда имеет дефекты кристаллического строения. Они подразделяются на точечные, линейные и поверхностные.

Точечные дефекты малы во всех трех измерениях. К точечным дефектам относятся вакансии, представляющие собой узлы кристаллической решетки в которых отсутствуют атомы (рис. 3,а), а также замещенные атомы примеси (рис. 3,б) и внедренные атомы (рис. 3,в) которые могут быть как примесными, так и атомами основного металла. Точечные дефекты вызывают местные искажения кристаллической решетки, которые затухают достаточно быстро по мере удаления от дефекта.

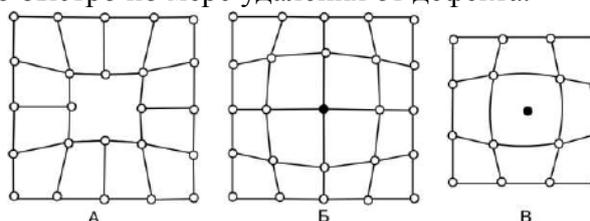


Рис 3.

Линейные дефекты имеют малые размеры в двух измерениях и большую протяженность в третьем. Эти дефекты называют дислокациями. Краевая дислокация (рис. 4) представляет собой искажение кристаллической решетки, вызванное наличием «лишней» атомной полуплоскости.

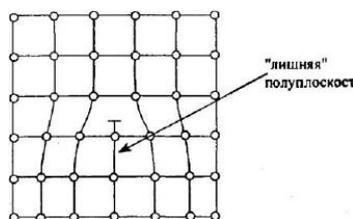


Рис 4

Поверхностные дефекты малы только в одном измерении. К ним относятся, например, границы между отдельными зёрнами или группами зёрен.

4. Кристаллизация металлов. Критические точки, кривые охлаждения. Аллотропия (полиморфизм).

Кристаллизация металлов. Процесс образования в металлах кристаллической решетки называется *кристаллизацией*. Для изучения процесса кристаллизации строят *кривые охлаждения* металлов, которые показывают изменение температуры (t) во времени (τ). На рис.1 приведены кривые охлаждения аморфного и кристаллического веществ. Затвердевание аморфного вещества (рис. 1а) происходит постепенно, без резко выраженной границы между жидким и твердым состоянием. На кривой охлаждения кристаллического вещества (рис. 1,б) имеется горизонтальный участок с температурой ($t_{кр}$), называемой температурой кристаллизации. Наличие этого участка говорит о том, что процесс сопровождается выделением скрытой теплоты кристаллизации. Длина горизонтального участка – это время кристаллизации.

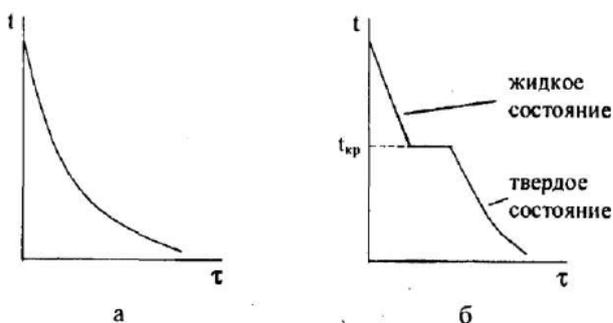


Рис. 1. Кривые охлаждения аморфного и кристаллического тел

Кристаллизация металла происходит постепенно. Она объединяет два процесса, происходящих одновременно: возникновение центров кристаллизации и рост кристаллов. В процессе кристаллизации когда растущий кристалл окружен жидкостью, он имеет правильную геометрическую форму. При столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается.

Полиморфизм. Некоторые металлы в зависимости от температуры могут существовать в различных кристаллических формах. Это явление называется полиморфизм или аллотропия, а различные кристаллические формы одного вещества называются полиморфными модификациями. Процесс перехода от одной кристаллической формы к другой называется полиморфным превращением. Полиморфные превращения протекают при определенной температуре.

5. Методы исследования структуры металлов: макроскопический, микроскопический, рентгеноструктурный анализ. Методы неразрушающего контроля качества.

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

Строение металлов изучают в изломе или специально приготовленных образцах - макрошлифах. Образец вырезают из определённого места слитка, шлифуют, травят в специальных реактивах, которые выявляют макроструктуру.

Макроанализом шлифов выявляют различные пороки в слитках и отливках (усадочные раковины, газовые пузыри, трещины...); вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зёрен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла

(усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; расположение волокон в кованных и штампованных заготовках; трещины, возникающие при обработке давлением или термической обработке, дефекты в сварных швах.

Микроскопический анализ — изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

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

Микроанализ позволяет выявить: *величину, форму и расположение зёрен, дефекты структуры.*

Рентгеноструктурный анализ и рентгеновская дефектоскопия.

Рентгеновские лучи имеют ту же природу, что и световые лучи, т. е. представляют собой электромагнитные колебания, но длина их волн меньше.

Рентгеноструктурный анализ основан на способности атомов в кристаллической решётке отражать рентгеновские лучи. Рентгеноструктурным методом определяют тип кристаллической решётки, а также расстояние между атомами (положительными ионами) в решётке, проводят фазовый анализ.

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

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

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

6. Физические и химические свойства металлов и сплавов.

К **физическим свойствам** материалов относится плотность, температура плавления, электропроводность, теплопроводность, магнитные свойства, коэффициент температурного расширения и др.

Плотность называется отношение массы однородного материала к единице его объёма. Это свойство важно при использовании материалов в авиационной и ракетной технике, где создаваемые конструкции должны быть легкими и прочными.

Температура плавления — это такая температура, при которой металл переходит из твердого состояния в жидкое. Чем ниже температура плавления металла, тем легче протекают процессы его плавления, сварки и тем они дешевле.

Электропроводность называется способность материала хорошо и без потерь на выделение тепла проводить электрический ток. Хорошей электропроводностью обладают металлы и их сплавы, особенно медь и алюминий. Большинство неметаллических материалов не способны проводить электрический ток, что также является важным свойством, используемым в электроизоляционных материалах.

Теплопроводность — это способность материала переносить теплоту от более нагретых частей тел к менее нагретым. Хорошей теплопроводностью характеризуются металлические материалы.

Магнитными свойствами т.е. способностью хорошо намагничиваться обладают только железо, никель, кобальт и их сплавы.

Коэффициенты линейного и объемного расширения характеризуют способность материала расширяться при нагревании. Это свойство важно учитывать при строительстве мостов, прокладке железнодорожных и трамвайных путей и т.д.

Химические свойства характеризуют склонность материалов к взаимодействию с различными веществами и связаны со способностью материалов противостоять вредному действию этих веществ.

Способность металлов и сплавов сопротивляться действию различных агрессивных сред называется *коррозионной стойкостью*, а аналогичная способность неметаллических материалов — *химической стойкостью*.

7. Механические свойства металлов (твердость, прочность, пластичность).

Механические свойства характеризуют способность материалов сопротивляться действию внешних сил. К основным механическим свойствам относятся прочность, твердость, ударная вязкость, упругость, пластичность, хрупкость и др.

Прочность — это способность материала сопротивляться разрушающему воздействию внешних сил.

Твердость — это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела под действием нагрузки.

Вязкостью называется свойство материала сопротивляться разрушению под действием динамических нагрузок.

Упругость — это свойство материалов восстанавливать свои размеры и форму после прекращения действия нагрузки.

Пластичностью называется способность материалов изменять свои размеры и форму под действием внешних сил, не разрушаясь при этом.

Хрупкость — это свойство материалов разрушаться под действием внешних сил без остаточных деформаций.

8. Методы определения твердости металлов (по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу).

Твердость металлов измеряется путем вдавливания в испытуемый образец индентера (твердого наконечника) различной формы.

Метод Бринелля основан на вдавливании в поверхность металла стального закаленного шарика под действием определенной нагрузки. После снятия нагрузки в образце остается отпечаток. Число твердости по Бринеллю НВ определяется отношением нагрузки, действующей на шарик, к площади поверхности полученного отпечатка.

Метод Роквелла основан на вдавливании в испытуемый образец закаленного стального шарика диаметром 1,588 мм (шкала В) или алмазного конуса с углом при вершине 120° (шкалы А и С). Вдавливание производится под действием двух нагрузок — предварительной равной 100 Н и окончательной равной 600, 1000, 1500 Н для шкал А, В и С соответственно. Число твердости по Роквеллу HRA, HRB и HRC определяется по разности глубин вдавливания.

В методе *Виккерса* применяют вдавливание алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136°. Число твердости по Виккерсу HV определяется отношением приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка.

9. Статические испытания на растяжение (характеристики прочности, упругости и пластичности).

При статических испытаниях на растяжение определяют величины, характеризующие прочность, пластичность и упругость материала. Испытания производятся на цилиндрических (или плоских) образцах с определенным соотношением между длиной l_0 и диаметром d_0 . Образец растягивается под действием приложенной силы P (рис. 1,а) до разрушения.

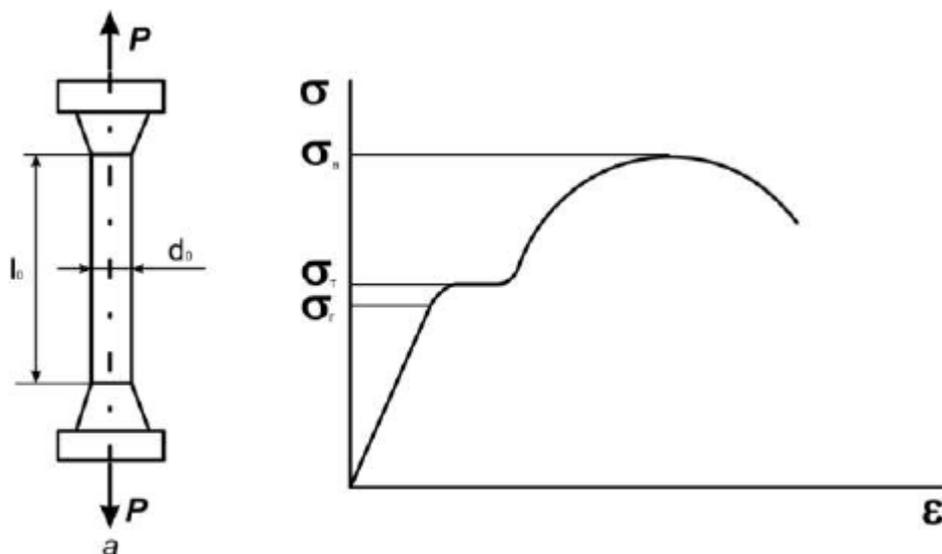


Рис. 1 Статические испытания на растяжение:
а – схема испытания; б – диаграмма растяжения

Предел упругости σ_y — это максимальное напряжение при котором в образце не возникают пластические деформации.

Предел текучести σ_T — это напряжение, соответствующее площадке текучести на диаграмме растяжения (рис. 1,б). Если на диаграмме нет площадки текучести (что наблюдается для хрупких материалов), то определяют условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ — напряжение, вызывающее пластическую деформацию, равную 0,2%.

Предел прочности (или временное сопротивление) σ_n — это напряжение, отвечающее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец при испытании.

Относительное удлинение после разрыва δ — отношение приращения длины образца при растяжении к начальной длине l_0 , %:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

где l_k — длина образца после разрыва.

Относительным сужением после разрыва ψ называется уменьшение площади поперечного сечения образца, отнесенное к начальному сечению образца, %:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100,$$

где F_k — площадь поперечного сечения образца в месте разрыва. Относительное удлинение и относительное сужение характеризуют пластичность материала.

10. Методы определения ударной вязкости металлов.

Ударная вязкость определяется работой A , затраченной на разрушение образца, отнесенной к площади его поперечного сечения F ; Дж/м²:

$$KC = \frac{A}{F}$$

Испытания проводятся ударом специального маятникового копра. Для испытания применяется стандартный надрезанный образец, устанавливаемый на опорах копра. Маятник определенной массы наносит удар по стороне противоположной надрезу.

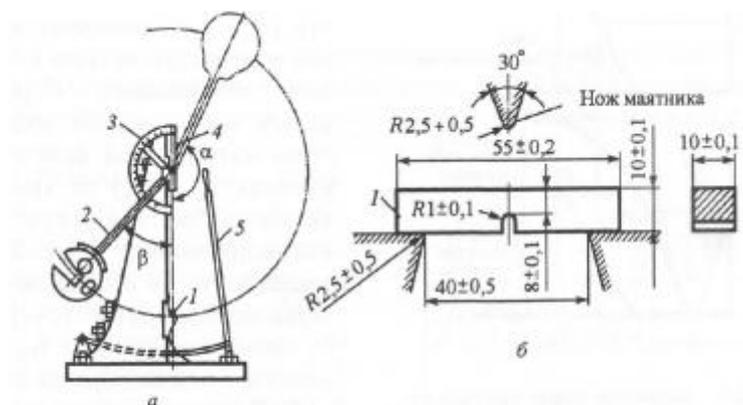


Рис. 2.4. Схема маятникового копра (а) и испытание под удар (б):
1 – образец; 2 – маятник; 3 – шкала; 4 – стрелка шкалы; 5 – тормоз

Основным критерием ударной вязкости является KCU. Она состоит из двух составляющих:

$$KCU = KC_3 + KC_p,$$

где KC_3 — работа зарождения трещины; $KC_p \approx KCT$ — работа распространения трещины.

Чем острее надрез, тем меньше KC_3 . Критерий KCT является критерием трещиностойкости, оценивающим сопротивление материала распространению трещины.

11. Технологические свойства: обрабатываемость резанием, свариваемость, ковкость, прокаливаемость, литейные свойства.

Технологические свойства определяют способность материалов подвергаться различным видам обработки.

Литейные свойства характеризуются способностью металлов и сплавов в расплавленном состоянии хорошо заполнять полость литейной формы и точно воспроизводить ее очертания (жидкотекучестью), величиной уменьшения объема при затвердевании (усадкой), склонностью к образованию трещин и пор, склонностью к поглощению газов в расплавленном состоянии.

Ковкость — это способность металлов и сплавов подвергаться различным видам обработки давлением без разрушения.

Прокаливаемость — способность стали воспринимать закалку. Характеризуется глубиной проникновения закалочного (мартенситного или полумартенситного) слоя в объем закаливаемого изделия.

Свариваемость определяется способностью материалов образовывать прочные сварные соединения.

Обработываемость резанием определяется способностью материалов поддаваться обработке режущим инструментом.

12. Структурные образования при кристаллизации сплавов: твердые растворы. Условия их образования и свойства.

Металлическим сплавом называется материал, полученный сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами, обладающий металлическими свойствами. Вещества, которые образуют сплав называются *компонентами*.

Фазой называют однородную часть сплава, характеризующуюся определенным составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела. Под *структурой* понимают форму размер и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Структурными составляющими называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Виды сплавов по структуре. По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа: механические смеси, химические соединения и твердые растворы.

При образовании *твердого раствора* атомы одного компонента входят в кристаллическую решетку другого:

– *Твердые растворы замещения* образуются в результате частичного замещения атомов кристаллической решетки одного компонента атомами второго.

– *Твердые растворы внедрения* образуются когда атомы растворенного компонента внедряются в кристаллическую решетку компонента - растворителя

Твердый раствор имеет однородную структуру, одну кристаллическую решетку. В отличие от химического соединения твердый раствор существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций. Обозначают твердые растворы строчными буквами греческого алфавита α , δ , β ,

Твердые растворы обладают хорошими прочностными свойствами наряду, пластичны. Составляют основу конструкционных материалов.

13. Структурные образования при кристаллизации сплавов: химические соединения. Условия их образования и свойства.

Металлическим сплавом называется материал, полученный сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами, обладающий металлическими свойствами. Вещества, которые образуют сплав называются *компонентами*.

Фазой называют однородную часть сплава, характеризующуюся определенным составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела. Под *структурой* понимают форму размер и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Структурными составляющими называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Виды сплавов по структуре. По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа: механические смеси, химические соединения и твердые растворы.

Химическое соединение образуется когда компоненты сплава А и В вступают в химическое взаимодействие. При этом при этом соотношение чисел атомов в соединении соответствует его химической формуле A_mB_n . Химические соединения имеют однородную структуру, состоящую из одинаковых по составу и свойствам зерен. Химическое соединение имеет свою кристаллическую решетку, которая отличается от кристаллических решеток компонентов. Поэтому свойства химических соединений кар-

динально отличаются от свойств чистых компонентов. Как правило, это фазы высокой твердости, но хрупкие.

14. Структурные образования при кристаллизации сплавов: механические смеси. Условия их образования и свойства.

Металлическим сплавом называется материал, полученный сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами, обладающий металлическими свойствами. Вещества, которые образуют сплав называются *компонентами*.

Фазой называют однородную часть сплава, характеризующуюся определенным составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела. Под *структурой* понимают форму, размер и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Структурными составляющими называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Виды сплавов по структуре. По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа: механические смеси, химические соединения и твердые растворы.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется, если они не способны к взаимодействию или взаимному растворению. Каждый компонент при том кристаллизуется в свою кристаллическую решетку. Структура механических смесей неоднородная, состоящая из отдельных зерен компонента А и компонента В. Свойства механических смесей зависят от количественного соотношения компонентов: чем больше в сплаве данного компонента, тем ближе к его свойствам свойства смеси.

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

15. Классификация диаграмм состояния сплавов, их практическое значение и принцип построения.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры (рис. 1)

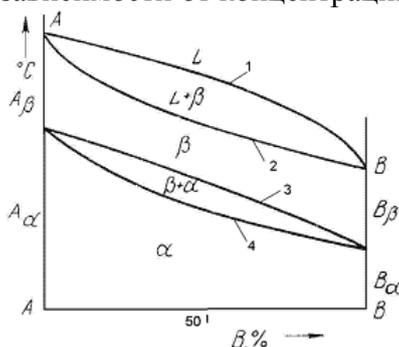


Рис. 1. Диаграмма состояния

Диаграмму состояния строят в координатах температура-концентрация. Линии диаграммы разграничивают области одинаковых фазовых состояний. Вид диаграммы зависит от того, как взаимодействуют между собой компоненты. Для построения диаграммы состояния используют большое количество кривых охлаждения для сплавов различных концентраций. При построении диаграммы критические точки переносятся с кривых охлаждения на диаграмму и соединяются линией. В получившихся на диаграмме областях записывают фазы или структурные составляющие. Линия диаграммы со-

стояния на которой при охлаждении начинается кристаллизация сплава называется линией *ликвидус*, а линия на которой кристаллизация завершается — линией *солидус*.

Выделяют следующие типовые диаграммы состояния сплавов:

- 1) диаграмма состояния сплавов, компоненты которых не растворимы в твердом состоянии и образуют между собой механическую смесь;
- 2) диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют между собой неограниченный твердый раствор;
- 3) диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют ограниченный твердый раствор (случай с эвтектикой);
- 4) диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют ограниченный твердый раствор (случай с перитектикой);
- 5) диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют между собой устойчивое химическое соединение;
- 6) диаграмма состояния сплавов, компоненты образуют неустойчивое химическое соединение.

16. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых не растворимы в твердом состоянии и образуют между собой механическую смесь. Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси (рис.), характеризуется отсутствием растворения компонентов в твердом состоянии. Поэтому в этом сплаве возможно образование трех фаз: жидкого сплава Ж, кристаллов А и кристаллов В. Линия АСВ диаграммы является линией ликвидус: на участке АС при охлаждении начинается кристаллизация компонента А, а на участке СД — компонента В. Линия DCB является линией солидус, на ней завершается кристаллизация А или В и при постоянной температуре происходит кристаллизация эвтектики Э. Сплавы концентрации которых соответствует точке С диаграммы называются эвтектическими, их структура представляет собой чистую эвтектику. Сплавы, расположенные на диаграмме левее эвтектического, называются доэвтектическими, их структура состоит из зерен А и эвтектики. Те сплавы которые на диаграмме расположены правее эвтектического, называются заэвтектическими, их структура представляет собой зерна В, окруженные эвтектикой.

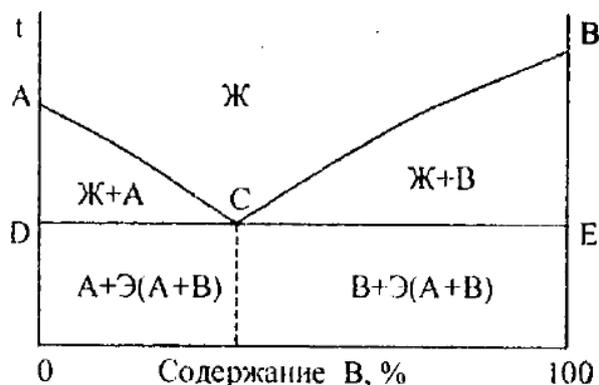


Рис. Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

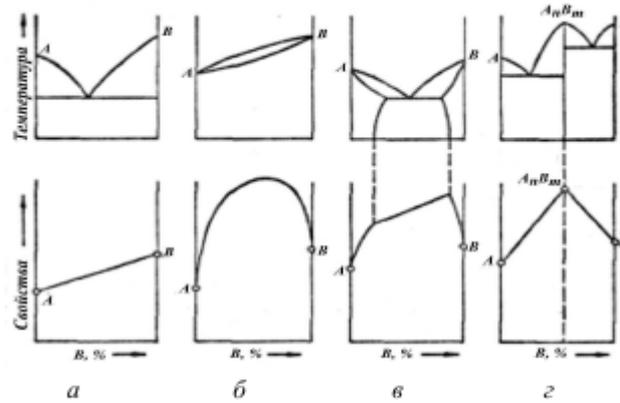


Рис. 61. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

- a* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов;
- б* – случай для двойных сплавов с неограниченной растворимостью;
- в* – случай для двойных сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой;
- г* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов и устойчивого химического соединения

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

17. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют между собой неограниченный твердый раствор. Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии изображена на рис. 3. Для этого сплава возможно образование двух фаз: жидкого сплава и твердого раствора α . На диаграмме имеется всего две линии, верхняя является линией ликвидус, а нижняя — линией солидус.

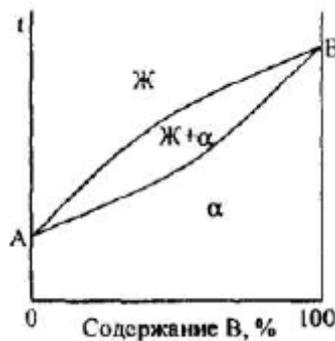


Рис. 3. Диаграмма с неограниченной растворимостью

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

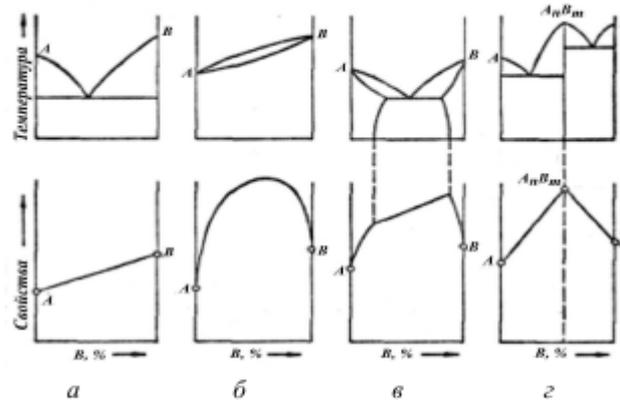


Рис. 61. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

- a* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов;
- б* – случай для двойных сплавов с неограниченной растворимостью;
- в* – случай для двойных сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой;
- г* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов и устойчивого химического соединения

При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, например, электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.

18. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют ограниченный твердый раствор (случай с эвтектикой). Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии показана на рис. 4. В этом сплаве могут существовать три фазы — жидкий сплав, твердый раствор α компонента В в компоненте А и твердый раствор β компонента А в компоненте В. Данная диаграмма содержит в себе элементы двух предыдущих. Линия АСВ является линией ликвидус, линия ADCEB — линией солидус. Здесь также образуется эвтектика, имеются эвтектический, доэвтектический и заэвтектический сплавы. По линиям FD и EG происходит выделение вторичных кристаллов α_{II} и β_{II} (вследствие уменьшения растворимости с понижением температуры). Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы называется вторичной кристаллизацией.

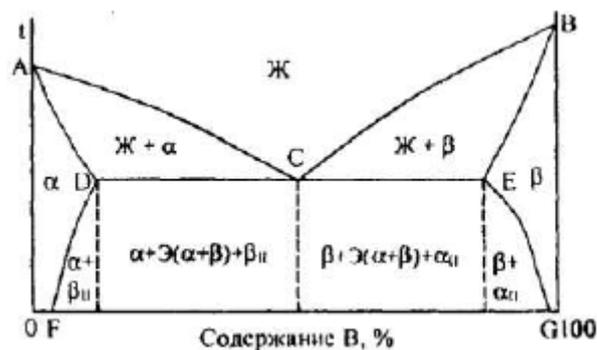


Рис. 4. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

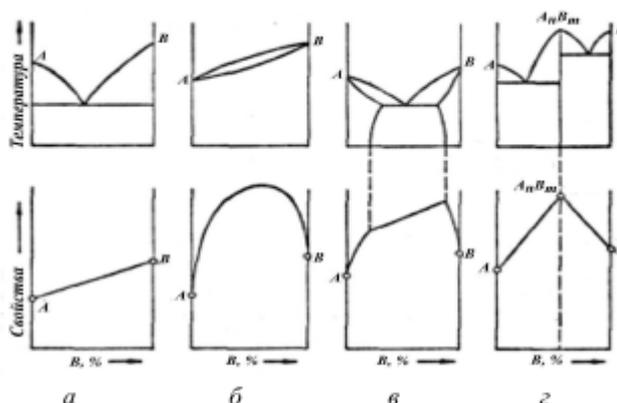


Рис. 61. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

- а* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов;
- б* – случай для двойных сплавов с неограниченной растворимостью;
- в* – случай для двойных сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой;
- г* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов и устойчивого химического соединения

При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, например, электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.

19. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют ограниченный твердый раствор (случай с перитектикой). Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма с перитектикой. При эвтектическом превращении жидкость кристаллизуется с образованием двух твердых фаз. Возможен и другой тип невариантного превращения (трехфазного равновесия), когда жидкость реагирует с ранее выпавшими кристаллами и образует новый вид кристаллов $L + \beta \rightarrow \alpha$.

Реакция подобного типа называется перитектической.

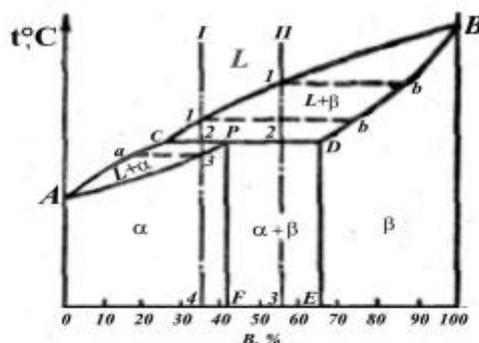


Рис. 70. Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии с перитектикой

Диаграмма с перитектическим превращением показана на рис. 70. На диаграмме показаны три однофазные области: жидкость L и ограниченные твердые растворы β и α .

Линия ABC является линией ликвидус, линия $APDB$ – линией солидус.

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

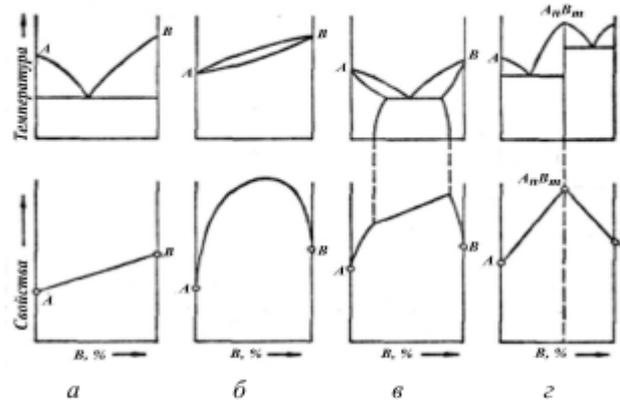


Рис. 61. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

- a* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов;
- б* – случай для двойных сплавов с неограниченной растворимостью;
- в* – случай для двойных сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой;
- г* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов и устойчивого химического соединения

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

20. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют между собой устойчивое химическое соединение. Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма состояния сплавов представлена на рис.

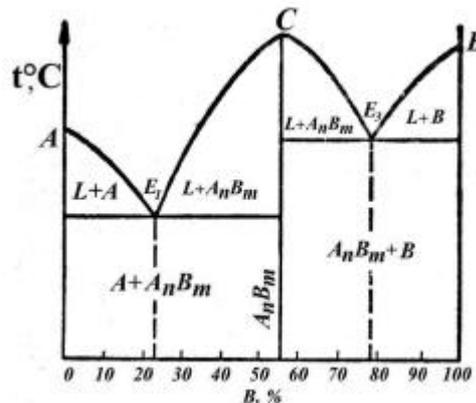


Рис. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

Предположим, что оба компонента образуют одно устойчивое соединение AnB_m , причем и это соединение, и чистые компоненты не образуют в твердом состоянии растворов. Компонентами системы являются вещества A и B , а твердыми фазами – A , AnB_m и B . Из четырех возможных в этой системе фаз могут существовать три: L , A , AnB_m или L , B , AnB_m . Это химическое соединение устойчиво, поэтому оно может быть нагрето без разложения до своей температуры плавления (точка C). Химическое соединение плавится при постоянной температуре.

Диаграмма состояния сложная, состоит из нескольких простых диаграмм. Число компонентов и количество диаграмм зависит от того, сколько химических соединений образуют основные компоненты системы.

Число фаз и вид простых диаграмм определяются характером взаимодействия между компонентами.

Эвт₁ (кр. А + кр. AmBn);

Эвт₂ (кр. В + кр. AmBn).

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

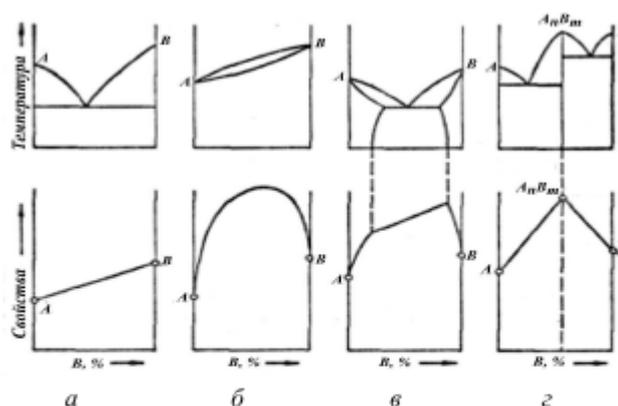


Рис. 61. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

- a* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов;
- б* – случай для двойных сплавов с неограниченной растворимостью;
- в* – случай для двойных сплавов с ограниченной растворимостью и эвтектикой;
- г* – случай для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов и устойчивого химического соединения

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

21. Диаграмма состояния сплавов, компоненты образуют неустойчивое химическое соединение. Связь между свойствами сплавов и диаграммой состояния.

Диаграмма состояния с *неустойчивым химическим соединением*. В отличие от диаграммы с *устойчивым химическим соединением* на рис. 75 приведена диаграмма состояний, где два компонента образуют *неустойчивое химическое соединение*, которое при нагреве до определенной температуры (t_1) разлагается на жидкость и один из компонентов, т. е. не расплавляется полностью.

На линии *DCF* находятся в равновесии три фазы: жидкость концентрации *D*, кристаллы компонента *B* и кристаллы химического соединения *A_nB_m*.

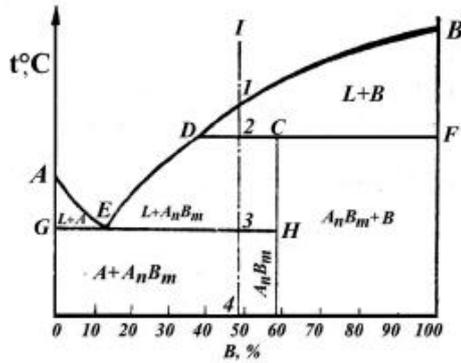


Рис. 75. Диаграмма состояния с неустойчивым химическим соединением

При нагреве неустойчивое химическое соединение A_nB_m распадается на жидкость концентрации D и кристаллы B . При охлаждении, следовательно, произойдет обратная реакция:

Реакция эта подобна перитектической: жидкость реагирует с ранее выпавшими кристаллами, но образует не новый твердый раствор, как в случае перитектической реакции, а химическое соединение.

Процесс кристаллизации сплава I в равновесных условиях будет протекать следующим образом. В точке I начинается кристаллизация, выпадают кристаллы B , и концентрация жидкости изменяется по кривой $I - D$. В точке 2 при постоянной температуре образуется неустойчивое химическое соединение по уравнению, приведенному выше. По окончании реакции в избытке остается жидкость, которая кристаллизуется с выделением соединения A_nB_m до тех пор, пока концентрация жидкости не достигнет точки E . Тогда оставшаяся жидкость кристаллизуется в эвтектику, состоящую из кристаллов A и химического соединения. Следовательно, на кривой будем иметь две площадки: верхнюю, соответствующую образованию неустойчивого химического соединения, и нижнюю, соответствующую образованию эвтектики $A + A_nB_m$.

22. Диаграмма состояния железо-цементит. Кривая охлаждения железа.

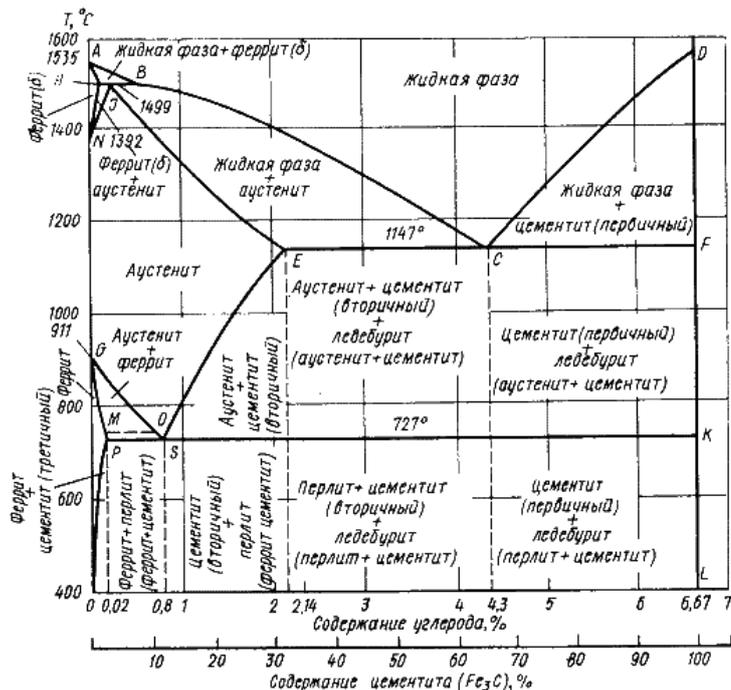


Рис. 9.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Важное значение имеет полиморфизм железа. На рис. 2 изображена кривая охлаждения железа. Полиморфные превращения характеризуются горизонтальными участками на кривой охлаждения, так как при них происходит полная перекристаллизация металла. До 911°C устойчиво Fe- α , имеющее кубическую объемно-центрированную решетку. В интервале 911-1392°C существует Fe- γ с кубической гранецентрированной кристаллической решеткой. При 1392-1539°C вновь устойчиво Fe- α . Часто высокотемпературную модификацию Fe- α обозначают Fe- δ . Остановка на кривой охлаждения при 768°C связана не с полиморфным превращением, а с изменением магнитных свойств. До 768°C железо магнитно, а выше — немагнитно.

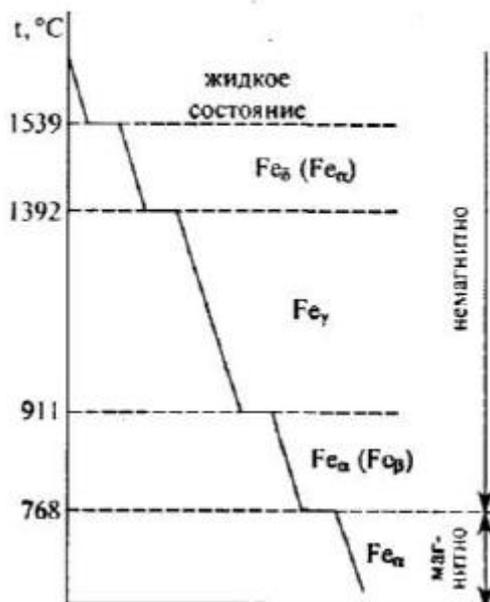


Рис 2

23. Диаграмма состояния железо-цементит. Основные структуры Fe-C.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода, но железо образует с углеродом химическое соединение: цементит – Fe₃C. Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего 6.67% углерода.

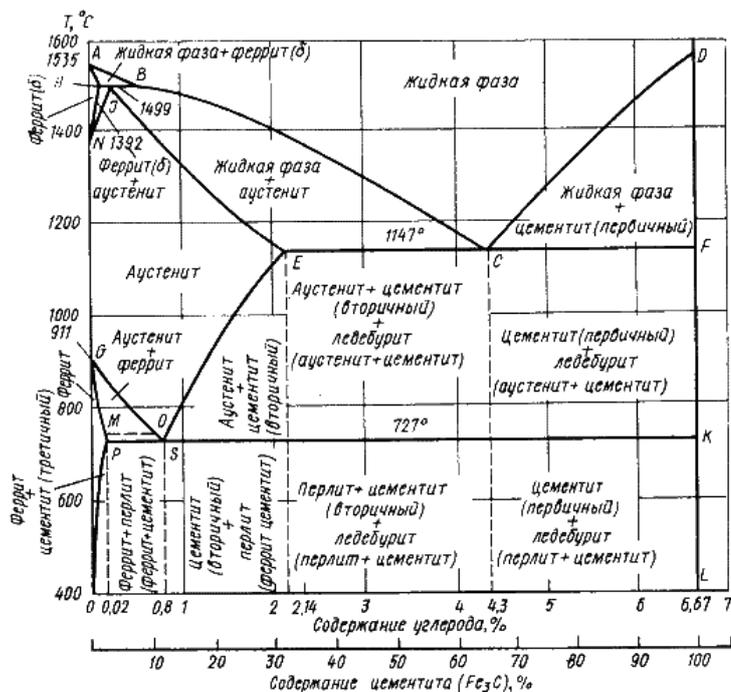


Рис. 9.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод.

1. *Железо* – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления – $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях Fe- α и Fe- γ .

2. *Углерод* относится к неметаллам. В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита (Fe_3C), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. *Жидкая фаза*. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. *Феррит* (Φ) Fe- α (C) – твердый раствор внедрения углерода в α -железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,02 % при температуре 727°C (точка P). Углерод располагается в дефектах решетки.

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 HB, предел прочности – 300 МПа) и пластичен (относительное удлинение – 30%), магнитен до 768°C .

3. *Аустенит* (A) Fe- γ (C) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железо.

Углерод занимает место в центре гранцентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727°C (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147°C (точка E).

Аустенит имеет твердость 200...250 HB, пластичен (относительное удлинение – 30-40%), парамагнитен.

4. *Цементит* (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 HB, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

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

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный ($Ц_I$), цементит вторичный ($Ц_{II}$), цементит третичный ($Ц_{III}$).

24. Диаграмма состояния железо-цементит. Структура доэвтектоидных, эвтектических и заэвтектоидных сталей.

Углеродистыми сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием *аустенита*.

Они обладают высокой пластичностью, особенно в аустенитном состоянии.

Структура сталей формируется в результате перекристаллизации аустенита. Микроструктуры сталей в соответствии с диаграммой железо-цементит представлены на рис. 9.3.

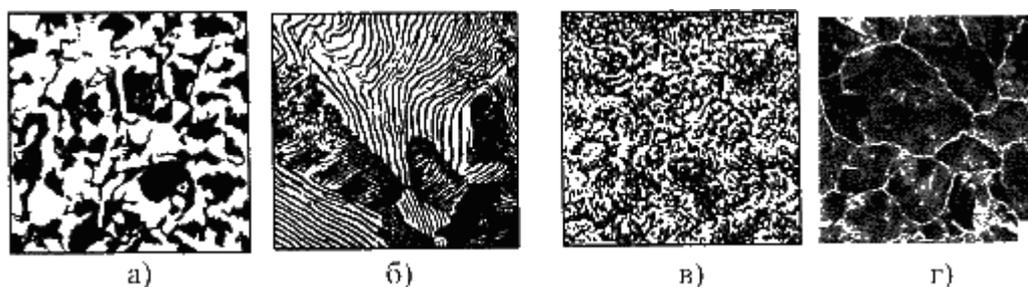


Рис. 9.3. Микроструктуры сталей: а – доэвтектоидная сталь ($\Phi + П$); б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь ($П + Ц_{II}$).

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на доэвтектоидные (<0,8% С), структура феррит + перлит (рис.9.3 а); эвтектоидные (0,8% С), структура перлит (П), перлит может быть пластинчатый или зернистый (рис. 9.3 б и 9.3 в); заэвтектоидные (>0,8% С), структура перлит + цементит вторичный (П + ЦII), цементитная сетка располагается вокруг зерен перлита.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: количество углерода в перлите составляет 0,8 %, в цементите – 6,67 %. Ввиду малой растворимости углерода в феррите, принимается, что в нем углерода нет.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

25. Диаграмма состояния железо-цементит Структура доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами.

Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома – серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами.

Микроструктуры белых чугунов представлены на рис. 9.4.

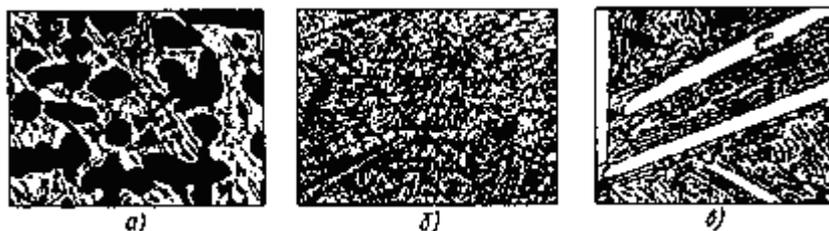


Рис. 9.4. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун ($П + Л + Ц_{II}$); б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун ($Л + Ц_I$)

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перлит + ледеburит + цементит вторичный ($П + Л + Ц_{II}$); эвтектические ($C = 4,3\%$), структура ледеburит (Л) (рис. 9.4 б); заэвтектические ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледеburит + цементит первичный ($Л + Ц_I$) (рис. 9.4 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав *ледеburита*.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

26. Сущность и назначение термической обработки. Основные виды.

Термической обработкой называется совокупность операций теплового воздействия твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения структуры.

Термическая обработка (ТО) заключается в нагреве до определенных температур, в изотермической выдержке и последующем охлаждении с определенной скоростью. Основными параметрами термической обработки являются температура и время. Вид термической обработки, возможности ее применения определяются типом фазовых и структурных превращений, протекающих в сплавах в твердом состоянии. На практике применяются следующие виды термической обработки: **отжиг, нормализация, закалка, отпуск**.

Термическая обработка выполняется:

- для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств изделий за счет упрочнения или получения структур специального назначения;
- для улучшения технологических свойств (обрабатываемости резанием, давлением и др.) за счет разупрочнения; в этом случае она является предварительной или промежуточной операцией, проводимой на заготовках;
- для стабилизации свойств металла, формы и размеров деталей (инструментов).

Отжиг заключается в нагреве сталей до температур выше фазового превращения с последующей выдержкой и медленным охлаждением сплава вместе с печью. В результате отжига п сталь приобретает **высокую пластичность** и **низкую твёрдость**.

Отжигу подвергают отливки, поковки, прокат, заготовки из углеродистой и легированной стали.

Если после нагрева охлаждение происходит не вместе с печью, а на воздухе, то такую операцию называют **нормализацией**. Получаемая структура после нормализации – мелкопластинчатая перлитного класса (перлит, сорбит, троостит).

Закалка – нагрев стали до температур выше фазовых превращений с последующим быстрым охлаждением со скоростью выше критической. Цель закалки – придать стали максимальную **твердость**.

Для устранения избыточных напряжений и повышенной хрупкости сталь после закалки обязательно подвергают отпуску.

Отпуск – нагрев закаленной стали до температур ниже фазовых превращений с последующим охлаждением.

В результате отпуска структура стали переходит к более равновесному состоянию, **твердость снижается, а пластичность повышается**.

С увеличением температуры отпуска повышаются пластические свойства и снижается прочность стали.

Самопроизвольный отпуск закаленных сталей при незначительном нагреве или без него, наблюдающийся с течением времени называют **старением**.

Улучшение. Закалку в сочетании с высоким отпуском называют улучшением. Его назначение – измельчение структуры, повышение механических свойств и повышение обрабатываемости стали резанием.

27. Превращения, протекающие в стали при нагреве и охлаждении. Образование аустенита.

При непрерывном нагреве стали в соответствии с диаграммой железо-цементит выше температуры 727°C (линия PSK) в соответствии с диаграммой железо-цементит образование аустенита происходит в определенном интервале температур и чем быстрее, тем шире этот интервал и больше скорость превращения перлита в аустенит.

В углеродистых сталях образование аустенита и его гомогенизация протекают достаточно быстро — в течение нескольких минут. В легированных сталях для этих процессов требуется больше времени, так как концентрация легирующих элементов в феррите и карбидах различна, и поэтому образующийся аустенит неоднороден не только по углероду, но и по концентрации легирующих элементов, скорость диффузии которых на несколько порядков меньше скорости диффузии углерода.

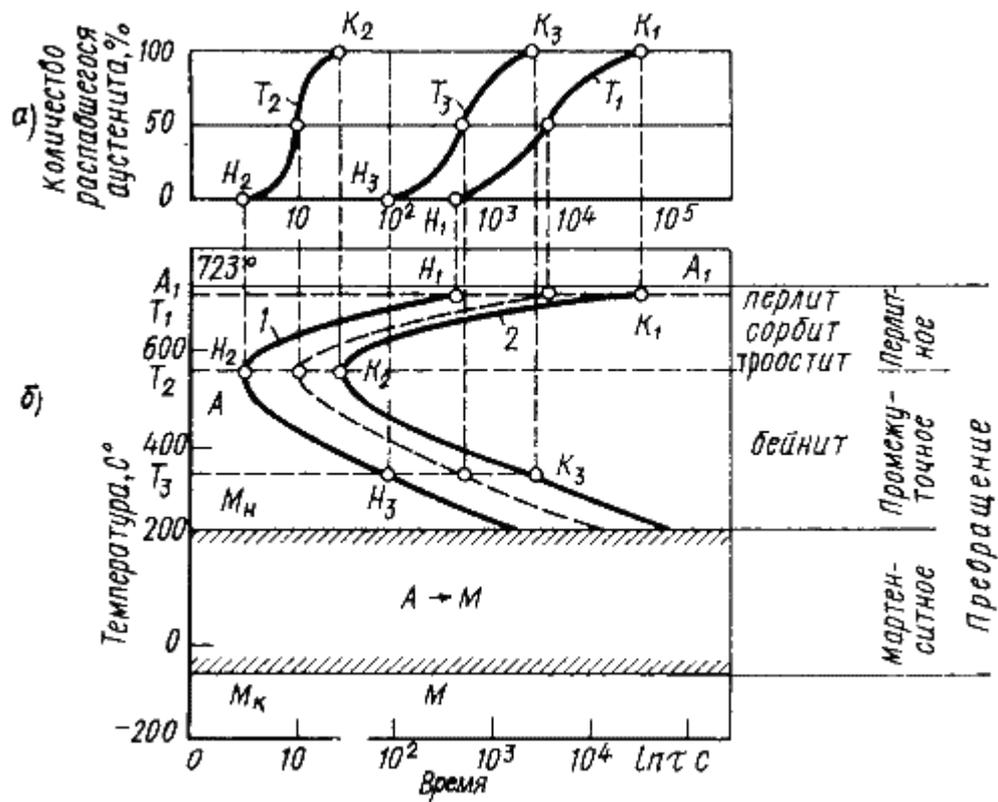
28. Превращения, протекающие в стали при нагреве и охлаждении. Распад аустенита, диаграмма распада аустенита.

Превращение аустенита в перлит заключается в распаде аустенита на феррито-цементитную смесь.

Диаграмму распада аустенита строят по точкам начала ($H_1, H_2 \dots$) и конца ($K_1, K_2 \dots$) распада аустенита, которые переносятся на саму диаграмму. Точки соединяют плавными линиями. Первая кривая – показывает начало распада аустенита. Вторая – конец распада (рис.).

Область, лежащая левее первой кривой, определяет продолжительность инкубационного периода, здесь находится переохлажденный аустенит, не претерпевший распада.

В зависимости от скорости охлаждения из аустенитного состояния в соответствии с диаграммой изотермического превращения аустенита (рис.) могут быть получены различные структуры, а, следовательно, и свойства.



Бейнит (игольчатый троостит) – высокодисперсная смесь феррита и цементита игольчатого строения (рис. 10). Имеет твердость НВ 4500–5500 МПа. Наряду с высокой твердостью обладает некоторой вязкостью.

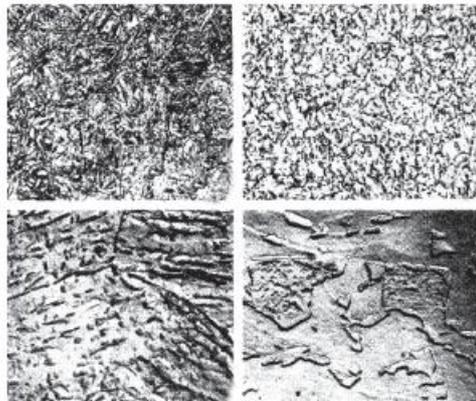


Рис. 10. Структура бейнита: а, б – верхний бейнит; в, г – нижний бейнит (а, в – $\times 500$; б, г – электронный микроскоп $\times 3000$)

Троостит представляет собой высокодисперсную смесь феррита и цементита (рис. 11). Троостит закалки имеет пластинчатое строение и твердость НВ 3500–4500 МПа. Обладает вязкостью с высоким пределом пропорциональности.

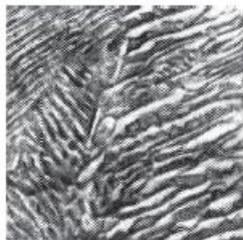


Рис. 11. Троостит ($\times 16000$), распад при $T = 600^\circ\text{C}$

Сорбит – механическая смесь феррита и цементита, но более грубого строения, чем троостит. Частицы цементита в сорбите различимы под микроскопом при увеличении в 500 раз (рис. 12). Для сравнения на рис. 13 приведена микроструктура перлита.

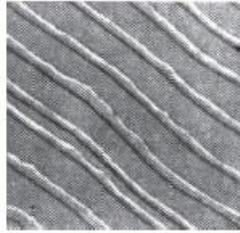


Рис. 12. Сорбит ($\times 7500$), распад при $T = 650^\circ\text{C}$

29. Превращения, протекающие в стали при нагреве и охлаждении. Образование мартенсита.

Мартенсит – это пересыщенный твердый раствор углерода в решетке Fe- α . Процесс идет при закалке, когда сталь охлаждают с такой скоростью, чтобы кривая охлаждения не пересекала C-образные кривые диаграммы изотермического превращения аустенита (рис. 20). Для достижения высокой скорости охлаждения закаливаемые детали погружают в воду (для углеродистых сталей) или минеральные масла (для легированных сталей).



Рис 20. Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

. При таком охлаждении переохлажденный аустенит сохранится нераспавшимся до температур $300\text{--}200^\circ$. Дальнейшее охлаждение такого аустенита не приводит к образованию механической смеси феррита и цементита, так как этот процесс связан с диффузией углерода, а при таких сравнительно низких температурах условия для диффузии неблагоприятны. В аустените, переохлажденном до указанных температур, происходит только превращение Fe_γ в Fe_α , т. е. перегруппировка атомов и образование объемноцентрированного куба вместо гранецентрированного.

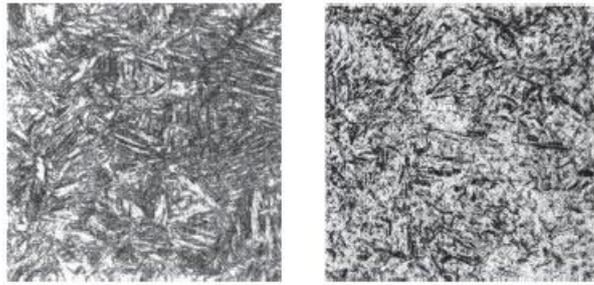


Рис. 8. Структура мартенсита в сталях массового назначения:
а – крупноигльчатый; б – мелкоигльчатый

Мартенсит в стали, содержащей 0,1% С, имеет твердость HRC примерно 30. При 0,7% С твердость мартенсита достигает максимального значения (HRC 64) и при дальнейшем увеличении содержания углерода она существенно не увеличивается.

30. Превращения, протекающие в сталях при нагреве и охлаждении. Распад мартенсита.

Процесс идет при отпуске стали.

Превращения при отпуске хорошо видны на дилатометрической кривой, показывающей изменение длины образца в зависимости от температуры нагрева (рис.).

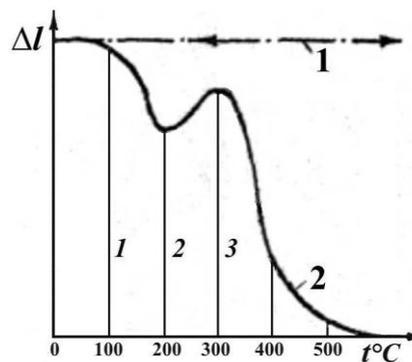


Рис. 1. Дилатометрическая кривая отпуска углеродистой стали: 1 - отожженной; 2 - закаленной. Исходная структура $M_3 + A_{ост}$.

Выделяют три температурных интервала (три превращения).

Нагрев до 200°C - **первое превращение при отпуске** - образуется структура, называемая **отпущенным мартенситом**. Сохраняется высокая твердость.

Второе превращение при отпуске захватывает интервал температур 200–300°C и приводит к увеличению объема, что связано с превращением остаточного аустенита в отпущенный мартенсит.

При температуре 300-400°C в углеродистых сталях происходит **третье превращение** – диффузионное перераспределение углерода, которое происходит путем растворения мелких неустойчивых карбидных частичек в мартенсите, диффузии углерода через α -твердый раствор (мартенсит) к более крупным устойчивым частицам карбида и последующего роста этих обособленных крупных частиц за счет непрерывного притока углерода. Структуру, образующуюся после отпуска при 300-400°C, называют **трооститом отпуска**.

Дальнейший нагрев выше 400°C приводит к коагуляции цементитных частиц и укреплению блоков мозаичной структуры феррита.

При температурах 500-600°C структура феррито-цементитной смеси имеет зернистое строение средней степени дисперсности, которая называется **сорбитом отпуска**.

При температурах 650-700°C феррито-цементитная смесь имеет грубодисперсное зернистое строение и называется **перлитом**.

31. Отжиг стали: сущность, назначение, виды.

Отжигом стали называется вид термической обработки, заключающийся в ее нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.

Цели отжига — снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений. Существуют различные виды отжига: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный, низкий, отжиг на зернистый перлит. Температуры нагрева стали для ряда видов отжига связаны с положением линий диаграммы Fe-Fe₃C. Низкая скорость охлаждения обычно достигается при остывании стали вместе с печью.

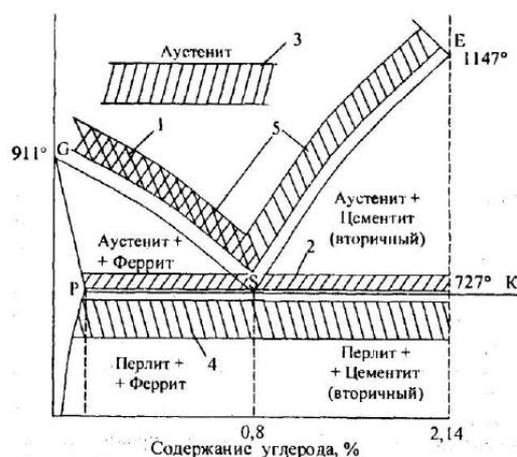


Рис. 19. Области температур нагрева для различных видов отжига:
1 - полный отжиг; 2 - неполный отжиг; 3 - диффузионный отжиг;
4 - рекристаллизационный отжиг; 5 - нормализация

32. Отжиг I рода: диффузионный (гомогенизирующий), рекристаллизационный.

Цели отжига — снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений.

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

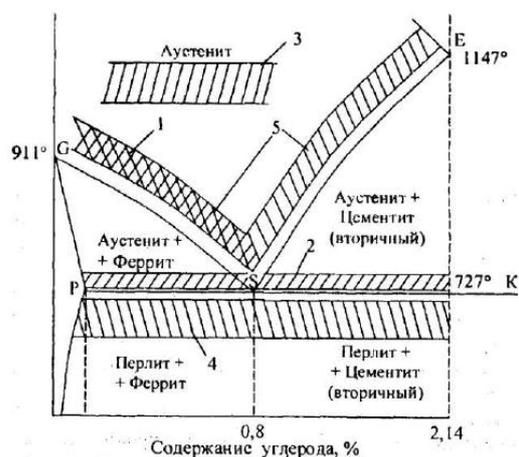


Рис. 19. Области температур нагрева для различных видов отжига:
 1 - полный отжиг; 2 - неполный отжиг; 3 - диффузионный отжиг;
 4 - рекристаллизационный отжиг; 5 - нормализация

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

33. Отжиг II рода: полный, неполный.

Полный отжиг применяется для доэвтектоидных сталей. Нагрев стали для полного отжига осуществляется на 30-50° выше линии GS диаграммы Fe-Fe₃C. При этом происходит полная перекристаллизация стали и уменьшение величины зерна. Исходная структура из крупных зерен феррита и перлита при нагреве превращается в аустенитную, а затем при медленном охлаждении в структуру из мелких зерен феррита и перлита. Повышение температуры нафтава привело бы к росту зерна.

При **полном отжиге** снижается твердость и прочность стали, а пластичность повышается.

При **неполном отжиге** нагрев производится на 30-50°C выше линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C (рис, 19). Он производится, если исходная структура не очень крупнозерниста или не надо изменить расположение ферритной (в доэвтектоидных сталях) или цементитной (в заэвтектоидных сталях) составляющей. При этом происходит лишь частичная перекристаллизация — только перлитной составляющей стали.

Цели отжига — снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений.

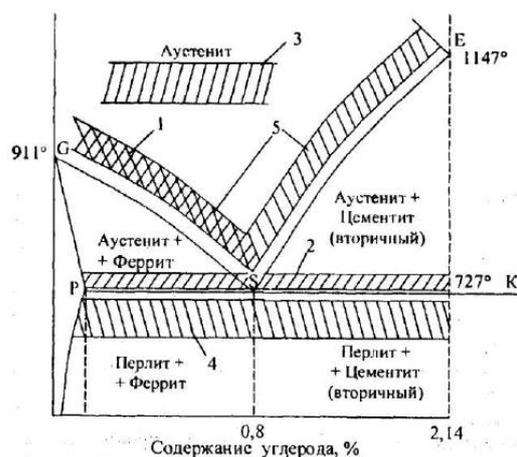


Рис. 19. Области температур нагрева для различных видов отжига:
 1 - полный отжиг; 2 - неполный отжиг; 3 - диффузионный отжиг;
 4 - рекристаллизационный отжиг; 5 - нормализация

34. Структура и механические свойства отожженной стали.

Отжиг способствует получению структуры стали в соответствии с диаграммой железо-углерод. В структуре сталей по мере увеличения содержания углерода возрастает массовая доля цементита и соответственно уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твердости прочности стали, к снижению ее пластичности, изменению физических и технологических свойств. Таким образом, структура сталей зависит от содержания углерода.

Доэвтектоидные стали содержат $C < 0,8\%$ и состоит из феррита (светлые зерна) и перлита (темные зерна). Пропорционально увеличению в них содержания углерода растет доля перлита

Эвтектоидной называется сталь, содержащая $0,8\% C$, структура которой состоит только из перлита.

Заэвтектоидные стали содержат от $0,8$ до $2,14\% C$ и имеют структуру П+Ц2. Темные перлитные участки окружены более или менее сплошной светлой сеткой цементита вторичного

35. Нормализация стали: сущность, назначение, режимы, структура и механические свойства нормализованной стали.

Нормализация состоит из нагрева стали на $30-50^\circ C$ выше линии GSE диаграммы Fe-Fe₃C (рис. 19), выдержки при этой температуре и последующего охлаждения на воздухе. Более быстрое охлаждение по сравнению с обычным отжигом приводит к более мелкозернистой структуре.

Нормализация — более дешевая термическая операция, чем отжиг, так как печи используют только для нагрева и выдержки. Для низкоуглеродистых сталей (до $0,3\% C$) разница в свойствах между нормализованным и отожженным состоянием практически отсутствует и эти стали лучше подвергать нормализации. При большем содержании углерода нормализованная сталь обладает большей твердостью и меньшей вязкостью, чем отожженная. Иногда нормализацию считают самостоятельной разновидностью термической обработки, а не видом отжига.

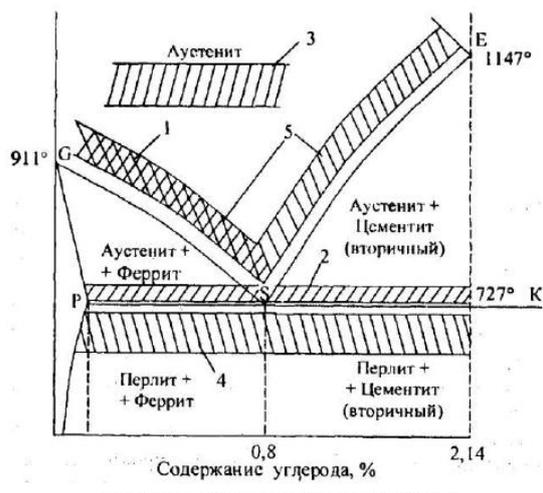


Рис. 19. Области температур нагрева для различных видов отжига:
 1 - полный отжиг; 2 - неполный отжиг; 3 - диффузионный отжиг;
 4 - рекристаллизационный отжиг; 5 - нормализация

36. Закалка стали: сущность, назначение.

Закалка — это вид термической обработки, состоящий в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем быстром охлаждении. В результате закалки повышается твердость и прочность, но снижается вязкость и пластичность. Нагрев стали производится на 30-50°C выше линии GSK диаграммы Fe-Fe₃C. В доэвтектоидных сталях нагрев выше линии GS необходим для того, чтобы после закалки в структуре не было мягких ферритных включений. Для заэвтектоидных сталей применяется нагрев выше линии SK, так как присутствие цементита не снижает твердость стали.

Обычно в результате закалки образуется мартенситная структура. Поэтому охлаждать сталь следует с такой скоростью, чтобы кривая охлаждения не пересекала C - образные кривые диаграммы изотермического превращения аустенита (рис. 20). Для достижения высокой скорости охлаждения закаливаемые детали погружают в воду (для углеродистых сталей) или минеральные масла (для легированных сталей).



Рис. 20. Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

37. Закалка стали: температура нагрева при закалке, скорость охлаждения, охлаждающие среды.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку стали.

Полной закалкой называют закалку с нагревом до температур однофазной аустенитной области.

Неполной закалкой называют закалку с нагревом до межкритических температур (A_{c1} – A_{c3}), при которых сохраняется избыточная фаза – феррит или вторичный цементит.

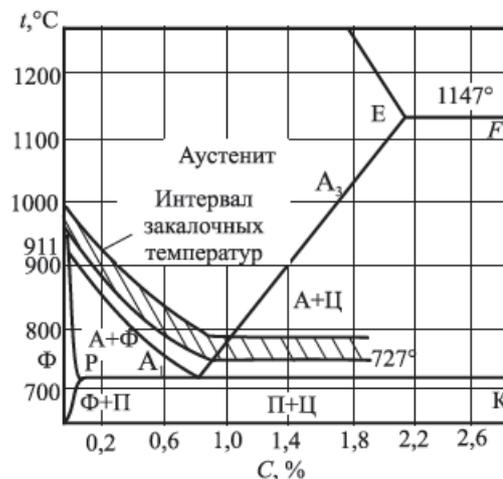


Рис. 1. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали.

В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду при различных температурах, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы.

38. Закалка стали: основные способы закалки.

–**закалка в одном охладителе** (рис. 16, режим 2) – наиболее простой способ. Для закалки мелких деталей сечением до 5 мм из углеродистых сталей и деталей из легированных сталей применяют масло. Для более крупных, но простых по форме деталей из углеродистой стали в качестве закалывающей среды применяют воду или водные растворы солей и щелочей. В качестве закалочных сред при этом способе рекомендуются: в инструментальном производстве 5–15%-ный раствор $NaCl$ в воде; для изделий сложной формы, склонных к короблению и трещинообразованию – 40–50%-ный раствор $NaOH$ в воде. Эти растворы обеспечивают скорость охлаждения при температурах 650–450°C до 1400°/с; при температурах 300–200°C скорость их охлаждения приближается к скорости охлаждения в масле.

–**прерывистая закалка в двух средах**(рис. 16, режим 3) этот метод заключается в предварительном охлаждении детали в быстроохлаждающей среде (например, в воде) до температуры 300°C с последующим охлаждением в более мягкой среде (например, в масле).

При закалке в масле крупных изделий целесообразно производить также прерывистое охлаждение с окончательным охлаждением на воздухе.

–**ступенчатая закалка** (рис. 16, режим 4). При этом способе деталь после нагрева переносят в расплавы солей, имеющие температуру немногим более высокую, чем температура начала мартенситного превращения (точка M_n) для данной стали. После выдержки при данной температуре в течение времени необходимого для выравнивания температуры по всему сечению, деталь вынимают из соляной ванны и охлаждают на воздухе.

– **изотермическая закалка** (рис. 16, режим 5). Отличием этого вида закалки от ступенчатой является длительность выдержки выше точки M_n в нижней части области промежуточного превращения. Время выдержки должно быть достаточным для превращения аустенита в нижний бейнит.

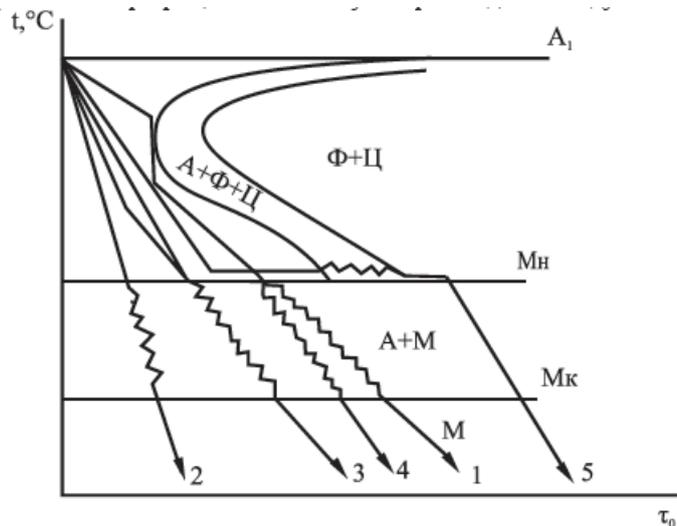


Рис. 16. Схема охлаждения при различных способах закалки:
 1 – идеальный режим охлаждения; 2 – непрерывная закалка в одном охладителе;
 3 – прерывистая закалка в двух средах; 4 – ступенчатая закалка;
 5 – изотермическая закалка

39. Закалка стали: Закаливаемость и прокаливаемость.

Способность стали закаливаться на мартенсит называется **закаливаемостью**. Она характеризуется значением твердости, приобретаемой сталью после закалки и зависит от содержания углерода. Стали с низким содержанием углерода (до 0,3%) практически не закаливаются и закалка для них не применяется.

Прокаливаемость называется глубина проникновения закаленной зоны. Отсутствие сквозной прокаливаемости объясняется тем, что при охлаждении сердцевина остывает медленнее, чем поверхность. Прокаливаемость характеризует критический диаметр D , т. е. максимальный диаметр детали цилиндрического сечения, которая прокаливается насквозь в данном охладителе.

40. Отпуск стали: сущность, назначение, виды, режимы, структура и механические свойства стали после отпуска.

Отпуск стали — это вид термической обработки, следующий за закалкой и заключающийся в нагреве стали до определенной температуры (ниже линии PSK), выдержке и охлаждении.

Цель отпуска — получение более равновесной по сравнению с мартенситом структуры, снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности. Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск проводится при температуре 150-200°C. В результате снимаются внутренние напряжения, происходит некоторое увеличение пластичности и вязкости без заметного снижения твердости. Образуется структура мартенсита отпуска. Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент, а также детали, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

При среднем отпуске производится нагрев до 350-450°C. При этом происходит некоторое снижение твердости при значительном увеличении предела упругости и улучшении сопротивляемости действию ударных нагрузок. Структура стали представляет собой троостит отпуска. Применяется для пружин, рессор, ударного инструмента.

Высокий отпуск проводится при 550-650°C. В результате твердость и прочность снижаются значительно, но сильно возрастают вязкость и пластичность и получается оптимальное для конструкционных сталей сочетание механических свойств. Структура стали — сорбит отпуска с зернистым строением цементита. Применяется для деталей, подвергающихся действию высоких нагрузок. Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется улучшением. Она является основным видом обработки конструкционных сталей

41. Поверхностная закалка стали.

Поверхностная закалка состоит в нагреве поверхностного слоя стальных деталей до аустенитного состояния и быстрого охлаждения с целью получения высокой твердости и прочности в поверхностном слое в сочетании с вязкой сердцевиной. Существуют различные способы нагрева поверхности под закалку — в расплавленных металлах или солях, пламенем газовой горелки, лазерным излучением, током высокой частоты. Последний способ получил наибольшее распространение в промышленности.

При нагреве токами высокой частоты закаливаемую деталь помещают внутри индуктора, представляющего собой медные трубки с циркулирующей внутри для охлаждения водой. Форма индуктора соответствует внешней форме детали. Через индуктор пропускают электрический ток высокой частоты. При этом возникает электромагнитное поле, которое индуцирует вихревые токи, нагревающие поверхность детали.

Благодаря высокой плотности энергии в луче лазера возможен быстрый нагрев очень тонкого слоя металла. Последующий быстрый отвод тепла в объем металла приводит к закалке поверхностного слоя с приданием ему высокой твердости и износостойкости.

42. Термомеханическая обработка стали.

При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка (закалка предварительно деформированной стали в аустенитном состоянии).

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке (рис. 16.1 а).

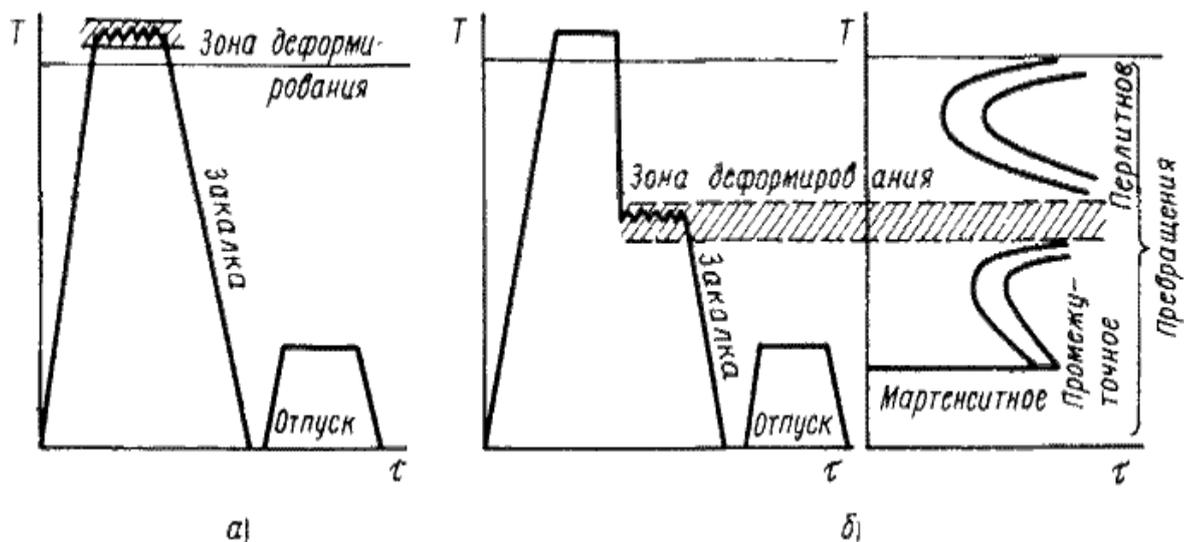


Рис. 16.1. Схема режимов термомеханической обработки стали: а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО); б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).

Последующий отпуск при температуре 100...200°C проводится для сохранения высоких значений прочности.

При низкотемпературной термомеханической обработке сталь нагревают до аустенитного состояния. Затем выдерживают при высокой температуре, производят охлаждение до температуры, выше температуры начала мартенситного превращения (400...600°C), но ниже температуры рекристаллизации, и при этой температуре осуществляют обработку давлением и закалку (рис. 16.1 б).

Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два – четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения.

43. Химико-термическая обработка стали: сущность процесса, назначение.

Химико-термической обработкой называют поверхностное насыщение стали соответствующим элементом (например, углеродом, азотом, алюминием, хромом и др.) путем его диффузии в атомарном состоянии из внешней среды при высокой температуре.

Химико-термическая обработка заключается в нагреве изделия до заданной температуры в твердой, газовой или жидкой среде, легко выделяющей диффундирующий элемент в атомарном состоянии, выдержке при этом температуре и последующем охлаждении. В отличие от термической обработки химико-термическая обработка меняет не только структуру, но и химический состав поверхностных слоев, что позволяет в более широких пределах изменять его свойства.

Достигается значительное повышение твердости и износостойкости поверхности деталей при сохранении вязкой сердцевины.

44. Химико-термическая обработка стали. Цементация.

Цементацией называется процесс насыщения поверхности стальных деталей углеродом.

Диффузия углерода в сталь возможна, если углерод находится в атомарном состоянии, получаемом, например, диссоциацией газов, содержащих углерод (СО, СН₄ и др.). Атомарный углерод адсорбируется поверхностью стали и диффундирует в глубь ее.

Для цементации используют как углеродистые, так и легированные стали с содержанием углерода от 0,1 до 0,3%. Степень насыщения поверхности углеродом — до 0,8–1,1%.

Различают три вида цементации: *твердую, газовую и жидкостную*.

45. Химико-термическая обработка стали. Азотирование.

Азотирование стали – процесс насыщения поверхности металла азотом, широко используется в машиностроении как один из методов поверхностного упрочнения изделия.

Для этого изделия, прошедшие предварительно термическое улучшение и полную механическую обработку, нагревают в потоке аммиака NH₃ при температуре 500—600°C. Аммиак разлагается на азот и водород ($2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{N}$). Получившийся при диссоциации аммиака атомарный азот диффундирует в сталь, образуя твёрдые растворы.

46. Химико-термическая обработка стали. Цианирование (нитроцементация).

Цианированием называется процесс насыщения поверхности стальных изделий одновременно углеродом и азотом.

В машиностроительной промышленности применяют три способа цианирования: жидкостное, газовое, твердое.

В зависимости от температуры процесса различают три вида цианирования: низко-, средне- и высокотемпературное.

Низкотемпературное цианирование производится при 550—570°C и применяется главным образом для повышения твердости, износостойкости и красностойкости инструмента из быстрорежущей стали. Глубина слоя 0,015—0,04 мм.

47. Химико-термическая обработка стали. Диффузионная металлизация.

Поверхностное насыщение стали алюминием, хромом, бором и другими элементами называют *диффузионной металлизацией*.

Изделие, поверхность которого насыщена этими элементами, обладает ценными свойствами, к числу которых относятся высокая жаростойкость, коррозионная стойкость, повышенная износостойкость и твердость.

Поверхностное насыщение стали металлами, а также таким элементом, как кремний, можно проводить при 900—1050°C упаковкой изделия в соответствующие порошкообразные смеси (обычно ферросплавы и 0,5—5% NH₄Cl), погружением в расплавленный металл, если диффундирующий элемент имеет невысокую температуру плавления (например, цинк, алюминий), или насыщением из газовой среды. При газовом методе, чаще применяют летучие хлористые соединения металлов (AlCl₃, CrCl₂, SiCl₄ и т. д.), образующиеся при воздействии хлора (или хлористого водорода) на металлы или их сплавы с железом при высоких температурах. Хлориды взаимодействуют с железом, и выделяющийся в атомарном состоянии металл диффундирует в железо.

Продолжительность процесса обычно 6—12 ч

48. Влияние постоянных примесей на структуру и свойства сталей.

К постоянным примесям относятся Mn, Si, S, P и газы O, N, H. Верхний предел присутствия S, P ограничивается 0,05%, Mn, Si – 0,08%.

Марганец вводят в сталь для раскисления, т.е. для устранения вредного влияния закиси железа $FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$. При введении марганца происходит восстановление железа из закиси, тем самым несколько увеличиваются характеристики пластичности стали.

Кремний вводится для раскисления $2FeO + Si \rightarrow 2Fe + SiO_2$.

Фосфор – вредная примесь, попадает в сталь вместе с рудой. Присутствие фосфора повышает порог хладноломкости стали, т.е. повышает температуру перехода стали в хрупкое состояние.

Сера – как и фосфор вредная примесь, попадает с рудой. Взаимодействуя с железом образует сульфид (FeS), входящий в состав эвтектики плавящейся при $T=988^\circ C$. Наличие легкоплавкой эвтектики приводит к охрупчиванию стали при температурах красного каления ($\approx 800^\circ C$). Это явление называют красноломкость.

Газы. Основные газы, которые попадают в сталь – O, N, H. O и N образуют оксиды и нитриты, которые охрупчивают сталь. Особенно вредно присутствие в стали водорода, который приводит к внутренним надрывам в металле с образованием, т.н. флокенов.

Углерод в стали находится в виде химического соединения- Fe_3C (цементита), а также в виде твердого раствора — углерода $Fe\alpha C$ (феррита). С увеличением содержания углерода твердость и прочность стали увеличиваются, а пластичность и ударная вязкость понижаются.

49. Стали, их классификация: по способу производства, химическому составу, назначению, качеству, степени раскисления, структуре, методу формообразования.

Сталь – сплав Fe с C (до 2,14%) и другими элементами (легированные стали). Сталь всегда содержит постоянные примеси: Mn, Si, S, P и газы (кислород, водород, азот).

Классификация сталей:

По способу производства:

- кислородно-конверторная;
- мартеновская;
- электросталь;
- бессемеровская.

По химическому составу:

- углеродистые (90% от всех сталей);
- легированные (10%).

В зависимости от содержания углерода различают:

- низкоуглеродистую (до 0,25%);
- среднеуглеродистую (0,25–0,6%);
- высокоуглеродистую ($>0,6\%$).

По степени легирования стали делят:

- на низколегированные ($<2,5\%$);
- среднелегированные (2,5–10,0%);
- высоколегированные ($>10,0\%$).

По назначению стали делятся:

- на конструкционные – применяются для изготовления строительных конструкций, деталей машин и механизмов.

– инструментальные – применяются для изготовления режущего, ударно-штампового и измерительного инструмента.

– стали с особыми физическими и химическими свойствами. К ним относят: электрохимические; нержавеющие; кислотостойкие; жаропрочные и др.

По качеству стали подразделяют на:

– на обыкновенного качества – содержание S от 0,035 до 0,06%, P до 0,07%;

– качественные – содержание S до 0,035, P до 0,035%;

– высококачественные (А) – содержание S ≤ 0,02–0,03%, P < 0,025%;

– особовысококачественные (Ш) – содержание S < 0,015%, P < 0,025%.

По степени раскисления (степени удаления кислорода):

– спокойные (сп) – раскисляются Mn, Al, Si;

– полуспокойные (пс) – раскисляются Mn, Al;

– кипящие (кп) – раскисляются Mn.

По способу формообразования:

– деформируемые

– литейные.

50. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества: состав, свойства, применение, маркировка.

Сталь углеродистая обыкновенного качества широко применяется в строительстве, а также в машиностроении. Это самая дешевая и массовая конструкционная сталь, при производстве которой не предъявляют особо высоких требований к составу шихты, процессам плавки и разливки.

Такую сталь изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Сталь с номерами марок 1, 2, 3, 4 по степени раскисления изготавливают кипящей, полуспокойной и спокойной; с номерами 3Г, 5,6 — полуспокойной и спокойной; 5Г — полуспокойной. Не разделяется по степени раскисления лишь сталь марки Ст0.

Цифры во всех группах указывают на то, что предел прочности и предел текучести с увеличением цифры растут, а относительное удлинение (пластичность) падает.

51. Углеродистые конструкционные стали качественные: состав, свойства, применение, маркировка.

Сталь углеродистая качественная конструкционная выплавляется в основных конверторах с продувкой кислородом сверху, в мартеновских и электрических печах с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавки и разливки, чем сталь обыкновенного качества. Поставляется с гарантией химического состава и механических свойств.

Качественная сталь отличается несколько более высокими механическими свойствами, чем сталь обыкновенного качества, так как содержит меньше серы, фосфора и неметаллических включений.

Для углеродистой качественной конструкционной стали цифры от 05 до 85 показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Строчные буквы, добавленные после обозначения, указывают степень раскисления металла: если сталь кипящая - после цифры ставятся буквы кп (08кп), полуспокойная - пс (20пс), спокойная - без индекса.

52. Стали повышенной обрабатываемости резанием (автоматные стали): маркировка, состав, свойства и область применения.

Автоматные стали – низкоуглеродистые стали с повышенным содержанием S, P. Сера и фосфор не только повышают стойкость инструмента, но и способствуют получению обработанной поверхности лучшего качества. Применяются для малоответственных деталей массового производства, хорошо обрабатываются резанием. Имеют повышенную склонность к коррозии.

В маркировке автоматных сталей после первой буквы указывается содержание углерода в сотых долях процента. Пример обозначения: А11 – это автоматная сталь, содержащая 0,11% углерода. Могут быть легированы свинцом, марганцем.

Из автоматных сталей изготавливают как различные метизы с невысокими требованиями к механическим свойствам (с повышенным содержанием серы и фосфора), так и более ответственные детали — валы, шестерни и др. (кальцийсодержащие стали), а легированные хромистые и хромоникелевые стали с присадкой свинца и кальция используются для изготовления нагруженных деталей в автомобильной и тракторной промышленности. Показатели прочности автоматных сталей соответствуют аналогичным конструкционным, но пластичность их из-за повышенного содержания серы и фосфора в 1,5—2 раза ниже.

53. Углеродистые инструментальные стали: маркировка, состав, свойства, применение.

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,7-1,3% углерода. Они маркируются буквой У и цифрой, показывающих содержание углерода в десятых долях процента (У7, У8, У9, У13).

Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная (У7А, У8А, У13А). Предварительная термообработка этих сталей — отжиг на зернистый перлит, окончательная — закалка в воде или растворе соли и низкий отпуск. После этого структура стали представляет собой мартенсит с включениями зернистого цементита. Твердость лежит в интервале НRC 56-64. Для углеродистых инструментальных сталей характерны низкая теплостойкость (до 200°C) и низкая прокаливаемость (до 10-12 мм). Однако вязкая незакаленная сердцевина повышает устойчивость инструмента против поломок при вибрациях и ударах. Кроме того, эти стали достаточно дешевы и в незакаленном состоянии сами хорошо обрабатываются.

Стали У7-У8 применяются для изготовления инструмента, испытывающего ударные нагрузки (зубила, молотки, топоры). Стали У9-У10 применяются для режущего инструмента, работающего при умеренных ударных нагрузках. Стали У12-У13 идут на изготовление инструмента, обладающего высокой твердостью (напильники, хирургический инструмент). Стали У8-У12 применяются также для измерительного инструмента.

54. Влияние легирующих элементов на свойства стали. Классификация легированных сталей.

Легированной называют сталь, содержащую специально введенные в нее с целью изменения строения и свойств легирующие элементы. Легированные стали имеют целый ряд преимуществ перед углеродистыми. Они имеют более высокие механические свойства, прежде всего, прочность. Легированные стали обеспечивают большую прокаливаемость, а также возможность получения структуры мартенсита при закалке в масле, что уменьшает опасность появления трещин и коробления деталей. С помощью легирования можно придать стали различные специальные свойства (коррозионную стойкость,

Влияние легирующих элементов:

Никель сообщает стали коррозионную стойкость, высокую прочность и пластичность, увеличивает прокаливаемость, повышает сопротивление удару.

Вольфрам образует в стали очень твердые соединения - карбиды, резко увеличивающие твердость и красностойкость стали. Вольфрам препятствует росту зерен при нагреве, способствует устранению хрупкости при отпуске.

Ванадий повышает твердость и прочность, измельчает зерно. Увеличивает плотность стали.

Кремний в количестве свыше 1% оказывает особое влияние на свойства стали: содержание 1-1.5% Si увеличивает прочность, причем вязкость сохраняется. При большем содержании кремния увеличиваются электросопротивление и магнитопроницаемость. Кремний увеличивает также упругость, окалийность.

Марганец при содержании свыше 1% увеличивает твердость, износоустойчивость, стойкость против ударных нагрузок, не уменьшая пластичности.

Кобальт повышает жаропрочность, магнитные свойства, увеличивает сопротивление удару.

Молибден увеличивает красностойкость, упругость, предел прочности на растяжение, антикоррозионные свойства и сопротивление окислению при высоких температурах.

Титан повышает прочность и плотность стали, способствует измельчению зерна, улучшает обрабатываемость и сопротивление коррозии.

Ниобий улучшает кислотостойкость и способствует уменьшению коррозии в сварных конструкциях.

Алюминий повышает жаростойкость и окалийность.

Медь увеличивает антикоррозионные свойства.

Церий повышает прочность и пластичность.

Цирконий позволяет получать сталь с заранее заданной зернистостью.

Лантан, церий, неодим уменьшают пористость, способствуют уменьшению содержания серы в стали, улучшают качество поверхности, измельчают зерно.

55. Конструкционные легированные стали: маркировка, состав, свойства, применение.

По степени легирования стали делят на:

- низколегированные (<2,5%);
- среднелегированные (2,5–10,0%);
- высоколегированные (>10,0%).

Основное назначение легирования в низколегированных сталях – увеличение прокаливаемости и уменьшение критической скорости охлаждения при закалке, что снижает внутренние напряжения и, как следствие, коробление, трещины при закалке. Механические свойства, а, следовательно, и их применение определяется содержанием углерода, как и в углеродистых сталях.

Высоколегированные стали – это стали специального назначения (коррозионно-стойкие, жаростойкие и т.д.).

Маркировка. В обозначение легированной стали входят буквы и цифры: буквы указывают наличие в стали легирующих элементов; цифры, стоящие после букв, — примерное содержание соответствующего химического элемента в процентах (если в марке содержится до 1 % элемента, то число не ставится).

Например, сталь 30ХГТ содержит 0,3 % С и по 1 % легирующих химических элементов: Cr, Mn и Ti; сталь 20Х2Н4 содержит 0,20 % С, 2 % Cr и 4 %Ni

Х – хром	Б - ниобий
Н – никель	Д – медь
К – кобальт	Г – марганец
М – молибден	Р – бор
Т – титан	Ю – алюминий

В – вольфрам	Ф – ванадий
А – азот	С - кремний

Если буква **А** стоит в середине марки стали – она означает присутствие в стали азота как легирующего элемента.

Если буква **А** стоит в конце марки – сталь высококачественная. У особо высококачественной стали ставится буква **Ш** в конце марки

56. Коррозионностойкие стали.

Коррозией называется разрушение металла под действием внешней агрессивной среды в результате ее химического или электрохимического воздействия.

Коррозионностойкие (нержавеющие) стали – содержание хрома $\geq 12,5\%$. При этой концентрации наблюдается скачкообразное повышение коррозионной стойкости стали.

Основные группы нержавеющей сталей:

- хромистые;
- хромоникелевые.

Хромистые стали по структуре делятся на классы:

- ферритные;
- мартенситные;
- мартенситно-ферритные.

По содержанию хрома различают следующие подгруппы сталей.

а) хромистые с содержанием хрома – 12–14%. 12Х13 – полуферритная (структура М + Ф). 20Х13; 30Х13; 40Х13 – мартенситные, используются для бытовых целей (ножи, вилки);

б) хромистые с содержанием хрома – 15–17%. Обладают высокой коррозионной стойкостью до температуры 900⁰С. 12Х17; 09Х17 – ферритные, используются в азотной промышленности;

в) хромистые с содержанием хрома – 25–28%. 15Х28; 15Х28Т – ферритные, используются в пищевой промышленности, устойчивы в кислых средах, плохо подвергаются сварке.

Хромоникелевые стали по структуре делятся на три класса:

1) аустенитные – в них сохраняется аустенит при охлаждении до комнатной температуры. Никель расширяет γ -область. 12Х18Н9Т; 17Х18Н9 – используются в химической промышленности.

2) аустенитно-ферритные (структура $\alpha + \gamma$) – имеют высокую прочность 08Х22Н6Т; 12Х21Н5Т;

3) аустенитно-мартенситные. Образуются твердые частички Ni₃Al. 09Х15Н8Ю.

57. Жаропрочные и жаростойкие материалы.

Под жаростойкими сталями понимают стали, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности при высокой температуре (свыше 550⁰С) .

Для повышения жаростойкости сталь чаще всего легируют — *хромом, алюминием, кремнием*. Чем больше содержание хрома, тем более жаропрочной является сталь. Сталь 15Х5 выдерживает до 600⁰С, 40Х9С2 — до 800⁰С, 12Х17 — до 900⁰С и 15Х28 — до 1050⁰С. Жаропрочные материалы способны противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах.

Жаропрочные стали классифицируются по структуре:

– *Перлитные стали* содержат малое количество углерода, легируются хромом молибденом, ванадием (12ХМ, 12Х1МФ). Используют для изготовления труб, паропроводов и др. деталей, длительно работающих при температуре 500-550⁰С.

– **Мартенситные стали** в большом количестве легированы хромом (15X11МФ, 15X12ВНМФ). Они используются для деталей энергетического оборудования, длительно работающего при температуре 600-620°С.

– Особую группу мартенситных сталей составляют **сильхромы**, применяемые для клапанов двигателей внутреннего сгорания. Они дополнительно легированы кремнием (40X9С2, 40X10С2М).

– **Аустенитные стали** легированы большим количеством хрома и никеля а также другими элементами (09X14Н16Б, 09X14Н19В2БР). Из этих сталей изготавливают детали газовых турбин, работающих при температуре 600-700°С.

– Для работы при более высоких температурах (700-900°С) служат сплавы на основе никеля, называемые **нимониками**. Примером нимоника является сплав ХН77ТЮР, содержащий кроме никеля приблизительно 20% Cr, 2,5% Ti, 1% Al. Для работы при температурах свыше 1000°С используют тугоплавкие металлы и их сплавы. Это — хром, ниобий, молибден, тантал, вольфрам. Они используются в атомной энергетике и в космической технике. Температуры 1500-1700°С выдерживают жаропрочные керамические материалы на основе карбида и нитрида кремния.

58. Быстрорежущие стали: маркировка, состав, свойства, область применения.

Быстрорежущие стали предназначены для работы при высоких скоростях резания. Главное их достоинство — высокая теплостойкость (до 650°С). Это достигается за счет большого количества легирующих элементов — вольфрама, хрома, молибдена, ванадия, кобальта. Маркируются быстрорежущие стали буквой Р, число после которой показывает среднее содержание вольфрама в %. Далее идут обозначения и содержание других легирующих элементов. Содержание углерода во всех быстрорежущих сталях приблизительно 1 %, а хрома 4%. Поэтому эти элементы в марке не указываются. Например, Р18, Р9, Р6М5, Р6М5Ф2К8.

Термообработка быстрорежущих сталей заключается закалке от высоких температур (1200-1300°С) и трехкратном отпуске при 550-570°С. Трехкратный отпуск применяется для того, чтобы избавиться от остаточного аустенита, который присутствует после закалки в количестве приблизительно 30% и снижает режущие свойства. После термообработки сталь имеет мартенситную структуру с карбидными включениями. Твердость после термообработки составляет HRC 64-65.

Быстрорежущие стали применяются для инструмента, используемого для обработки металла на металлорежущих станках (резцы, фрезы, сверла). Для экономии дорогих быстрорежущих сталей режущий инструмент часто изготавливается сборным или сварным. Рабочую часть из быстрорежущей стали приваривают к основной части инструмента из конструкционной стали.

59. Твердые сплавы: вольфрамовые (ВК), титановольфрамовые (ТК), титано-тантало-вольфрамовые (ТТК), безвольфрамовые. Их свойства, состав, маркировка, область применения.

Представляют собой спеченные порошковые материалы, основой которых служат карбиды тугоплавких металлов, а связующим — кобальт. Их теплостойкость доходит до 900-1000°С, а твердость HRA 80-97.

Твердые сплавы делятся на три группы.

1) Вольфрамовые изготавливаются на основе карбида вольфрама и кобальта. Маркируются буквами ВК и цифрой показывающей содержание кобальта в % (ВК2, ВК6, ВК10).

2) Титановольфрамовые твердые сплавы содержат дополнительно карбид титана. Они маркируются буквами Т, К и цифрами. После буквы Т указывается содержание карбида титана в %, а после буквы К — кобальта (Т15К10, Т15К6).

3) Титанотанталовольфрамовые содержат дополнительно карбид титана. Маркируются буквами ТТ, после которых указывается суммарное содержание карбидов титана и тантала в % и буквой К, после которой указывается содержание кобальта (ТТ7К12, ТТ10К8).

Твердые сплавы изготавливаются в виде пластин которые припаиваются к державке из углеродистой стали. Применяют твердые сплавы для резцов, сверл, фрез и другого инструмента.

Главный недостаток твердых сплавов — высокая хрупкость.

60. Сверхтвердые инструментальные материалы на основе углерода (алмаза) и на основе плотных модификаций нитрида бора.

В настоящее время выпускается большое количество разнообразного инструмента с использованием алмазов: *шлифовальные круги, инструменты для правки шлифовальных кругов из электрокорунда и карбида кремния, пасты и порошки для доводочных и притирочных операций.*

Значительные по размерам кристаллы алмазов применяются для изготовления *алмазных резцов, фрез, сверл и других режущих инструментов.* Однако прочность алмаза невелика и он легко раскалывается по плоскостям спайности. Поэтому алмаз используется для обработки при относительно малых нагрузках

Алмаз имеет высокий коэффициент теплопроводности, поэтому тепло от зоны резания отводится сравнительно быстро. Алмаз имеет весьма низкий коэффициент линейного расширения и высокий модуль упругости. Следовательно, инструменты с кристаллами алмаза имеют малые деформации, В результате можно получать детали высокой точности и поддерживать эту точность в течение длительного времени. Теплостойкость алмаза невысока около 800 С. Вместе с тем алмаз обладает наиболее высокой абразивной способностью по сравнению с другими абразивными материалами. Так, при заточке и доводке твердого сплава расход алмаза в 100 – 400 раз меньше, чем при обработке карбидом кремния.

В настоящее время освоено промышленное производство *синтетических алмазов* из графита при больших давлениях и высоких температурах.

Кубический нитрид бора КНБ—*эльбор* или *боразон*, который имеет кристаллическую решетку, аналогичную решетке алмаза. Синтезируется КНБ в виде мелких кристаллов. КНБ имеет твердость, близкую к твердости алмаза, такую же прочность и большую теплостойкость и не теряет режущих свойств при нагреве до 1500-1600 °С. Он рекомендуется для изготовления абразивных инструментов, предназначенных для шлифования труднообрабатываемых сталей, особенно быстрорежущих сталей нормальной и повышенной производительности.

61. Классификация, маркировка, структура, свойства и применение чугунов.

Чугуны – сплавы Fe с C (>2,14%) и постоянными примесями Si, Mn, S, P. Чугуны имеют более низкие механические свойства, чем стали, так как образуется более твердая и хрупкая эвтектика, и появляется углерод в свободном состоянии в виде графитовых включений, которые нарушают сплошность металлической матрицы. Прочность и пластичность графита низки.

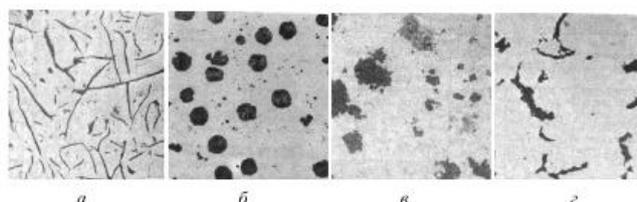


Рис. 54. Форма графита в чугунах:
 а – пластинчатая (обычный серый чугун), ×100; б – шаровидная (высокопрочный чугун), ×200; в – хлопьевидная (ковкий чугун), ×100; з – вермикулярная (серый вермикулярный чугун), ×100

В зависимости от того в каком виде присутствует углерод чугуны делят на:

1. **Белый чугун** (в изломе белый). Весь углерод находится в виде цементита Fe_3C или в виде карбида в легированном чугуне. Имеет высокую твердость $HRC > 70$, но из-за низких механических свойств и хрупкости применение его ограничено. Используется для деталей простой конфигурации. Белый чугун идет на передел. Фазовый состав – цементит + феррит.

2. **Серый чугун** (в изломе серый). Практически весь углерод или его часть находится в свободном состоянии в виде графита. По форме графитных включений выделяют:

1) **Серый чугун**. Имеет углерод в свободном виде в форме пластинчатого графита (рис. 54а). Используется в машиностроении, для строительных конструкций. Серый чугун маркируется буквами и двузначным числом, которое показывает предел прочности при растяжении, например СЧ25 (25 – предел прочности при растяжении, $кгс/мм^2$).

2) **Чугун с вермикулярным** (в виде червеобразных прожилок) графитом (рис. 54 г) называют серым вермикулярным чугуном. Принцип маркировки тот же, например, ЧВГ45.

3) **Ковкий чугун (КЧ)**. Углерод в свободном состоянии находится в виде хлопьевидного графита (рис. 54в). Используется для деталей, которые испытывают большие динамические нагрузки. Марки, например, КЧ37-12 (37 - предел прочности при растяжении, $кгс/мм^2$; 12 – относительное удлинение, %).

4) **Высокопрочный чугун (ВЧ)**. Углерод в свободном состоянии находится в виде шаровидного графита, который в меньшей степени ослабляет металлическую матрицу. Используется в машиностроении для более ответственных деталей. Прочность равна прочности стали, но литейные свойства выше. ВЧ60 (60 – предел прочности при растяжении, $кгс/мм^2$)

По структуре металлической основы серые чугуны делят на (рис. ниже):

- ферритные – Ф + Г;
- ферритно-перлитные;
- перлитные.

Схемы структур чугуна

Металлическая основа	Форма графитных включений			
	пластинчатая	вермикулярная	хлопьевидная	шаровидная
Феррит				
Феррит + перлит				
Перлит				

62. Алюминий и его сплавы.

По производству и применению алюминий занимает второе место в мире после железа.

Алюминий – серебристо-белый легкий металл с температурой плавления 660°C , плотностью $2,71 \text{ г/см}^3$. Алюминий отличается высокой пластичностью и малой прочностью, обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью (благодаря присутствию на поверхности оксида Al_2O_3) и очень высокой теплотой плавления.

Чистый и технический алюминий применяется в виде фольги, как проводниковый материал в электротехнике, для транспортировки и хранения продуктов питания.

В технике используются сплавы алюминия.

Различают 2 основные группы сплавов:

1 группа – деформируемые, получаемые путем прокатки из слитков, прессованием. Они делятся на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой;

2 группа – литейные (получают переплавкой), которые могут упрочняться термообработкой.

Дюралюмины (в переводе твердый алюминий) содержат Al, Cu (основной легирующий компонент), Mg и Si, Fe как постоянные примеси. Дюралюмины маркируются буквой Д и порядковым номером – Д1, Д16, Д20 (6–7% Cu; 0,05% Mg).

Высокопрочные алюминиевые сплавы системы Al – Mg – Zn – Cu – Mn. Маркируются В95, В96. Они более прочные, чем дюралюмины, используются в самолетостроении, для силовых каркасов строительных изделий.

Алюминий ковочный – АК1, АК6, цифра – его номер, Al + Mg + Cu, Mn, Si. Эти сплавы близки по составу к дюралюминию. Подвергаются закалке и старению. Используются дляковки и штамповки. Применяют для двигателей, лопастей винтов, крыльчаток.

Литейные сплавы. Применяются для изготовления малонагруженных корпусов деталей (детали патрубков, барабанов, корпуса тормозов).

Силумины – сплавы Al-Si – наиболее распространенные литейные алюминиевые сплавы, широко применяемые только в литом виде (например, в авто- и авиастроении). Кроме силуминов, в качестве литейных алюминиевых сплавов применяют сплавы алюминия с медью, магнием и цинком.

Жаропрочные алюминиевые сплавы. Некоторые детали работают при температурах порядка 200–300 и даже 350°C (например, поршень, головка цилиндра и т. п.). Эти сплавы легируют такими элементами, как медь, магний, никель, железо, титан.

63. Медь и ее сплавы.

Медь – менее тугоплавка (температура плавления 1083°C), чем железо, но имеет большую плотность ($8,96 \text{ г/см}^3$). Медь характеризуется высокой теплопроводностью и электрической проводимостью, пластичностью и коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, пресной и морской воде, едких щелочах, органических кислотах и других агрессивных средах. Медь высокотехнологичный металл. Она легко прокатывается в тонкие листы и ленту, из нее получают тонкую проволоку, она легко полируется, хорошо паяется и сваривается. В основном применяется в электро-, теплотехнике, приборостроении.

Медные сплавы подразделяют:

– по технологическим свойствам на деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные;

– по способности упрочняться с помощью термической обработки на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой;

Латуни – это сплавы меди с цинком, их маркируют буквой Л. За буквой Л ставится число, показывающее среднее содержание меди. В многокомпонентных латунях после

Л ставятся буквы – символы элементов, а затем числа, указывающие содержание меди и каждого легирующего элемента. Например, Л68 содержит 68% Cu; ЛАН59-3-2 содержит 59% Cu, 3% Al; 2% Ni (остальное Zn). Латунь обладает хорошей пластичностью и высокой коррозионной стойкостью.

Бронзы – сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка. Бронзы обозначают буквами Бр, за которыми ставятся буквы и числа. В марках бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов, а затем числа, указывающие их содержание. Например, БрАЖ9-4 содержит 9% Al, 4% Fe, остальное – Cu.

Бронзы хорошо обрабатываются резанием, паяются, хуже свариваются.

– *Свинцовая бронза* – БрС-30 (30% Pb), используется как антифрикционный материал.

– *Оловянистые бронзы* – сплавы меди с оловом.

– *Алюминиевые бронзы* отличаются высокими механическими, антикоррозионными и антифрикционными свойствами.

– *Бериллиевые бронзы* характеризуются чрезвычайно высокими пределами упругости, временным сопротивлением, твердостью и коррозионной стойкостью в сочетании с повышенными сопротивлениями усталости, ползучести и износу.

– *Кремнистые бронзы* характеризуются хорошими механическими, упругими и антифрикционными свойствами.

– *Сплав нейзильбер* (новое серебро) до 60% Cu, 13–45% Ni, до 20% Zn. Обладает высокой коррозионной стойкостью, имеет красивый декоративный вид. При повышении содержания никеля имеет зеленоватый или синеватый отлив.

– *Мельхиор* – сплав Cu главным образом с 5–30% Ni (твердый раствор). Имеет серебристый цвет, обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, морской среде.

64. Титан и его сплавы.

Титан – серебристо-белый металл с плотностью 4,5 г/см³; температурой плавления 1672°C. Обладает высокой пластичностью, прочностью и высокой коррозионной стойкостью, стоек в пресной и морской воде, во влажном хлоре, в разбавленной H₂SO₄. Высокая коррозионная стойкость в HNO₃ обеспечивается оксидной пленкой TiO₂. Благодаря своим свойствам Ti находит широкое применение в авиации, ракетостроении, в гальванотехнике.

Наибольшее применение находят сплавы Ti с Al, Mo, V, Mn, Cr, Zr, Nb. Например, сплав Ti – Mo (33%) обладает самой высокой коррозионной стойкостью среди сплавов Ti, он стоек в концентрированных HCl и H₂SO₄. Сплавы титана превосходят все другие распространенные материалы по такому важному показателю, как удельная прочность (прочность, приходящаяся на единицу массы).

Титановые сплавы классифицируются по структуре, которую они получают после охлаждения на воздухе:

– α-сплавы: BT5, BT5-1, OT4-1, OT4, BT4, BT18 (7,2–8,2% Al; 0,2–1,0% Mo; 0,1% Si);

– α + β-сплавы: BT8, BT14, BT6 (5,5–7,0% Al; 4,2–6,0% V);

– β-сплавы: BT3-1, BT22, BT15 (2,3–3,6% Al; 6,8–8,0% Mo; 9,5–11,0% Cr).

65. Магний и его сплавы.

Магний – щелочноземельный металл с плотностью 1,7 г/см³; температурой плавления 651°C. Важнейшая область применения металлического магния – производство сплавов на его основе, которые являются самым легким конструкционным материалом. Вследствие высокой химической активности магния выбор металлов, пригодных для легирования магниевых сплавов, сравнительно невелик.

Сплавы магния делятся:

- на литейные (МЛ);
- деформируемые (МА).

Сплавы магния пригодны для работы при криогенных, нормальных и повышенных температурах. Имеют малую плотность, высокую удельную прочность, способны поглощать энергию удара. Применяются в промышленности, для снижения массы изделий и повышения их жесткости.

Их недостаток и ограниченность в применении связан с пониженной коррозионной стойкостью в некоторых средах.

66. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы: баббиты, сплавы на основе алюминия, меди, цинка, железа.

Эти сплавы применяют для вкладышей подшипников скольжения. Они должны иметь достаточную твердость, но не очень высокую, сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений, иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником.

Кроме того, температура плавления этих сплавов не должна быть высокой, и сплавы должны обладать хорошей теплопроводностью и устойчивостью к коррозии.

Оловянные и свинцовые баббиты Оловянные баббиты используют в подшипниках турбин крупных судовых дизелей, турбонасосов, турбокомпрессоров, электрических и других тяжело нагруженных машин. Свинцовые баббиты применяют для менее нагруженных подшипников.

По химическому составу баббиты классифицируют на три группы: оловянные (Б83, Б88), оловянно-свинцовые (БС6, Б16) и свинцовые (БК2, БКА).

Для **оловянных и оловянно-фосфористых бронз** характерны высокие антифрикционные свойства и высокая теплопроводность, что позволяет подшипникам, изготовленным из этих материалов, работать при высоких окружных скоростях и нагрузках.

Цинковые и антифрикционные сплавы. Чаще применяют сплавы ЦАМ 10-5 и ЦАМ 9.5-1.5, содержащие кроме алюминия и меди 0.03-0.06% Mg. В литом виде сплавы применяют для монометаллических вкладышей, втулок и т.д.; сплав ЦАМ 10-5 применяется и для отливки биметаллических изделий со стальным корпусом.

Алюминиевые антифрикционные (подшипниковые) сплавы. Чем больше в сплавы олова, тем выше его антифрикционные свойства. Алюминиевые сплавы обладают хорошими антифрикционными свойствами, высокой теплопроводностью, хорошей коррозионной стойкостью в масляных средах и достаточно хорошими механическими и технологическими свойствами. Их применяют в виде тонкого слоя, нанесенного на стальное основание, т. е. в виде биметаллического материала. В зависимости от химического состава различают две группы сплавов.

Сплавы алюминия с сурьмой, медью и другими элементами. Эти сплавы широко применяют для изготовления вкладышей подшипников коленчатого вала двигателей тракторов и автомобилей.

Сплавы алюминия с оловом и медью хорошо работают в условиях сухого и полужидкого трения и по антифрикционным свойствам близки к баббитам. Их используют для производства подшипников в автомобилестроении, транспортном и общем машиностроении.

67. Аморфные металлы (металлические стекла).

Металлические стекла обладают сочетанием высоких механических, магнитных, антикоррозионных свойств.

Аморфная структура образуется при сверхвысоких скоростях охлаждения – 10⁶ К/с и выше, при этом достигается очень большая степень переохлаждения, при которой параметры кристаллизации равны нулю (скорость охлаждения при получении отливок традиционными методами около 1 К/с). Существует ряд методов достижения таких скоростей:

– высокоскоростное ионно-плазменное и термическое распыление материала с последующей конденсацией паров на охлаждаемую жидким азотом подложку; скорость охлаждения около 1013 К/с;

– оплавление тонких поверхностных слоев деталей лазерным лучом, при этом высокая скорость охлаждения обеспечивается быстрым отводом тепла в глубь лежащие слои металла; скорость охлаждения 107-109 К/с;

– закалка из жидкого состояния; скорость охлаждения 106...1010 К/с.

Закалка из жидкого состояния – основной метод получения металлических стекол.

Применение металлических стекол ограничено температурой кристаллизации, нагрев до которой резко меняет их свойства.

Сортамент выпуска металлических стекол – это тонкие фольги, ленты, нити.

Свое основное применение они нашли в микроэлектронике и радиоэлектронике, где используются фольги и тонкие пленки металлов, нанесенные на полупроводниковые или изолирующие подложки.

68. Сплавы с эффектом памяти формы.

Эффект памяти формы состоит в том, что образец, имеющий определенную форму в аустенитном состоянии при повышенной температуре, деформируют при более низкой температуре мартенситного превращения. После перегрева, сопровождающегося протеканием обратного превращения, исходная характерная форма восстанавливается.

Явление самопроизвольного формовосстановления – *эффект памяти формы* (ЭПФ) – наблюдается как в изотермических условиях, так и при изменении температуры. Величина эффекта различна у разных материалов и в некоторых случаях достигает 30 %. При теплосменах эти металлы могут многократно обратимо деформироваться, несмотря на отсутствие силового воздействия.

Сущность эффекта памяти формы заключается в том, что изделие из такого материала пластически деформируют при температуре выше температуры прямого мартенситного превращения ($t_d > M_n$) с целью придания ему определенной формы, затем охлаждают до температур, обеспечивающих протекание мартенситного превращения ($\leq M_k$) и деформируют в этой температурной области для получения удобной плоскостной формы. При дальнейшем нагреве выше температуры начала обратного мартенситного превращения (A_n) изделие вновь восстанавливает формы, которая была ему первоначально придана при температуре t_d выше M_n .

69. Коррозия металлов: общие сведения, типы и виды коррозии, их сущность, методы защиты металлов от коррозии.

Разрушение металлов под воздействием окружающей среды называют коррозией. *Коррозия металла* представляет собой его разрушение, как результат окисления под действием химических или электрохимических процессов.

Классификация видов коррозии металлов:

1. По виду коррозионного процесса:

- электрохимическая (действие на металл электролита);
- химическая (действие на металл бензина, масла, смолы и т. д.);
- смешанная (атмосферная коррозия).

2. По виду коррозионной среды:

- природная (под действием атмосферы, морской, речной, озёрной воды, почвы);
- промышленная (под действием солей, кислот, щелочей).

3. По характеру коррозионного разрушения:

-равномерная, неравномерную, избирательную, воздействующую на определенную фазу, пятнами, язвенную, точечную, сквозную, ножевую, трещинами, межкристаллитную, подповерхностную и послойную коррозии.

Способы защиты:

Металлические покрытия бывают анодные и катодные. *Анодные* покрытия - покрытие железа цинком. Анодное покрытие защищает основной металл готовых изделий электрохимически. *Катодные* покрытия производят металлами, электродный потенциал которых в данном электролите выше потенциала основного металла. Катодные покрытия создают механическую защиту основного металла. Металлические покрытия наносят гальваническим, термодиффузионным, горячим способами, а также напылением, плакированием, припеканием.

Неметаллические покрытия - к ним относятся покрытия лаками, красками, смазкой, эмалями, а также резиной и эбонитом (гуммирование).

Ингибиторы коррозии - это соединения, которые вводят в небольших количествах в агрессивную среду для предотвращения или уменьшения скорости коррозии. Их используют для защиты металлоконструкций буровых скважин, трубопроводов, теплообменных аппаратов, химического оборудования.

Химическая защита – это создание на поверхности изделий защитных неметаллических пленок за счет окисления поверхностного слоя металла. Сам процесс называют оксидированием, а на железе и стали — воронением. Для воронения сталей заготовки погружают в растворы азотно-кислых солей при температуре 140 °С. Применяют для алюминия, магния и их сплавов для защиты изделий от воздуха и осадков.

Электрохимическая защита разделяется на протекторную и катодную.

Сущность протекторной защиты: вблизи поверхности, подлежащей защите, устанавливают протекторы из металла, имеющего в данном электролите меньший электродный потенциал, чем потенциал основного металла. Протектор будет анодом, а основной металл — катодом. Протектор будет постепенно разрушаться, защищая тем самым основной металл (подводные части судна).

Катодную защиту применяют для подземных металлических сооружений (трубопроводов, кабелей и т. д.), которые присоединяются к отрицательному полюсу источника постоянного тока; положительный полюс заземлен.

70. Порошковая металлургия: производство металлических порошков и деталей из них, свойства и область применения порошковых материалов.

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формуется изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются

1. возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;
2. значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %);
3. возможность получения материалов максимальной чистоты;
4. простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

71. Защитные покрытия и методы их нанесения: газотермические и вакуумные конденсационные.

К защитным покрытиям относятся цинковые, кадмиевые, свинцовые, оловянные и др. покрытия.

Основная область применения цинковых и кадмиевых покрытий — защита изделий из стали и чугуна от атмосферной коррозии.

К защитно-декоративным покрытиям относят покрытия из никеля и хрома, которые, будучи катодными по отношению к железу, не обеспечивают электрохимической защиты от коррозии, как цинк и кадмий. Однако при отсутствии сквозных пор, что достигается нанесением покрытия толщиной 25-30 мкм либо нанесением подслоя, катодные покрытия создают надежную защиту углеродистых сталей от коррозии.

Декоративные свойства никелевых и хромовых покрытий широко используют в различных отраслях промышленности для получения блестящей и полублестящей поверхности.

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) являются двухфазными осадками, состоящими из металлической матрицы и частиц порошка, которые цементируются матрицей. Размер дисперсных частиц, вводимых в электролиты, находится в пределах от 0,01 до 100 мкм. Чаще всего выбираются порошки со средним диаметром частиц 1—3 мкм для получения изотропности физико-механических свойств композиционного покрытия.

В последние годы применение *благородных металлов в качестве декоративных покрытий* снижается, но одновременно расширяется использование их для технических целей в радиоэлектронной, приборостроительной, авиационной промышленности.

72. Композиционные материалы.

Композиционные материалы – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее.

Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку.

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется *матрицей*.

Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется *арматурой*.

Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

73. Пластические массы, их свойства и применение.

Пластическими массами (пластмассами) называются материалы, получаемые на основе природных или синтетических полимеров.

Пластмассы являются важнейшими современными конструкционными материалами. Они обладают рядом ценных свойств: малой плотностью (до 2 г/см³), высокой удельной прочностью, низкой теплопроводностью, химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, звукоизоляционными свойствами. Некоторые пластмассы обладают оптической прозрачностью, фрикционными и антифрикционными свойствами, стойкостью к истиранию и др. Кроме того, пластмассы имеют хорошие технологические свойства: легко формуются, прессуются, обрабатываются резанием, их можно склеивать и сваривать.

Недостатками пластмасс являются низкая теплостойкость, низкая ударная вязкость, склонность к старению для ряда пластмасс.

По поведению при нагреве все пластмассы делятся

- термопластичные
- термореактивные.

Термопластичные при неоднократном нагревании и охлаждении каждый раз размягчаются и затвердевают. Термореактивные при нагревании размягчаются, затем еще до охлаждения затвердевают (вследствие протекания химических реакций) и при повторном нагревании остаются твердыми.

По способу переработки в изделия пластмассы подразделяются

- литьевые
- прессовочные.

Литьевые перерабатываются в изделия методами литьевого прессования и являются термопластичными. Прессовочные перерабатываются в изделия методами горячего прессования и являются термореактивными.

74. Резиновые материалы, их свойства и применение.

Резина представляет собой искусственный материал, получаемый в результате специальной обработки резиновой смеси, основным компонентом которой является каучук.

Каучук — это полимер, отличительной особенностью которого является способность к очень большим обратимым деформациям при небольших нагрузках. Это свойство объясняется строением каучука. Различают *натуральный и синтетический каучук*.

Основное свойство резины — очень высокая эластичность. Резина способна к большим деформациям, которые почти полностью обратимы. Кроме того, резина характеризуется высоким сопротивлением разрыву и истиранию, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, небольшой плотностью, малой сжимаемостью, низкой теплопроводностью.

По назначению резины подразделяются

- резины общего
- специального назначения.

Из резин общего назначения изготавливаются автомобильные шины, транспортные ленты, ремни ременных передач, изоляция кабелей, рукава и шланги, уплотнительные и амортизационные детали, обувь и др. Резины специального назначения подразделяются на теплостойкие, которые могут работать при температуре до 250-350°C; морозостойкие, выдерживающие температуру до -70°C; маслобензостойкие, работающие в среде бензина, других топлив, масел и нефтепродуктов; светоозоностойкие, не разрушающиеся при работе в атмосферных условиях в течении нескольких лет, стойкие к действию сильных окислителей; электроизоляционные, применяемые для изоляции проводов и кабелей; электропроводящие, способные проводить электриче-

ский ток.

75. Древесные материалы, их свойства и применение.

Древесина — это органический материал растительного происхождения, представляющий собой сложную ткань древесных растений. Она составляет основную массу ствола деревьев. Древесина является волокнистым материалом, причем волокна в ней расположены вдоль ствола. Поэтому для нее характерна анизотропия, т.е. ее свойства вдоль и поперек волокон различны.

Достоинствами древесины являются относительно высокая прочность; малая объемная масса и, следовательно, высокая удельная прочность; хорошее сопротивление ударным и вибрационным нагрузкам; малая теплопроводность и, следовательно, хорошие теплоизоляционные свойства; химическая стойкость; хорошая технологичность (легкость обработки и изготовления изделий).

К *недостаткам* древесины следует отнести гигроскопичность, т.е. способность впитывать влагу, и возникающую из-за изменения влажности нестабильность свойств и размеров (усушка и набухание), а также отсутствие огнестойкости, неоднородность строения, склонность к гниению.

Материалы из древесины можно разделить

– лесоматериалы, сохраняющие природную физическую структуру и химический состав древесины;

– древесные материалы, полученные путем специальной обработки исходной древесины (ДВП, ДСтП и др.).

76. Техническая керамика, ее виды и области применения.

Керамика — это неорганический минеральный материал, получаемый из отформованного минерального сырья путем спекания при высоких температурах (1200-2500°C). Структура керамики состоит из кристаллической, стекловидной (аморфной) и газовой фазы. Кристаллическая фаза является основой керамики, ее количество составляет до 100%. Она представляет собой различные химические соединения и твердые растворы. Стекловидная фаза находится в керамике в виде прослоек стекла. Ее количество составляет до 40%. Она снижает качество керамики. Газовая фаза представляет собой газы, находящиеся в порах керамики.

Техническая керамика имеет почти однофазную кристаллическую структуру и изготавливается из чистых оксидов (реже карбидов, боридов или нитридов). Основные оксиды, используемые для производства керамики — Al_2O_3 , ZnO_2 , MgO , CaO , BeO . Техническая керамика используется в качестве огнеупорного, конструкционного и инструментального материала. Она обладает высокой прочностью при сжатии и низкой при растяжении. Главный недостаток керамики, как и стекла — высокая хрупкость.

77. Структура металлургического производства и его продукция.

Металлургическое производство - это область науки, техники и отрасли промышленности, охватывающая различные процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, способствующие улучшению свойств металлов и сплавов.

Оно включает: шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей; горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке; коксохимические заводы, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов; энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов; доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей; заводы для производства ферросплавов; сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные) для производства

стали; прокатные цехи, в которых слитки стали перерабатывают в сортовой прокат: балки, рельсы, прутки, проволоку, лист.

Основная продукция черной металлургии: чугуны передельный, используемый для передела на сталь; чугуны литейный - для производства фасонных чугунных отливок на машиностроительных заводах; железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали; ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием Mn, Si, V, Ti и т.д.) для выплавки легированных сталей; стальные слитки для производства сортового проката, листа, труб и т.д.; стальные слитки для изготовления крупных кованых валов, роторов турбин, дисков и т.д., называемые кузнечными слитками.

Продукция цветной металлургии: слитки цветных металлов для производства сортового проката (уголка, полосы, прутков); слитки (чушки) цветных металлов для изготовления отливок на машиностроительных заводах; лигатуры - сплавы цветных металлов с легирующими элементами, необходимые для производства сложных легированных сплавов для отливок; слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения, электронной техники и других отраслей машиностроения.

78. Производство чугуна. Понятие о чугуна. Исходные материалы для производства чугуна.

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %). Для выплавки **чугуна** в доменных печах используют железные руды, **топливо**, флюсы.

К железным рудам относятся:

- магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60 %;
- красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60 % ,
- бурый железняк (гидраты оксидов железа) с содержанием железа 37...55 %.

Топливом для доменной плавки служит кокс, позволяющий получать необходимую температуру и создавать условия для восстановления железа из руды; в целях экономии часть кокса заменяют природным газом, мазутом, пылевидным топливом.

Флюсом при выплавке чугуна в доменных печах является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO , MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

79. Производство чугуна. Подготовка к плавке исходные материалы для производства чугуна.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна. Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

1. Промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы.
2. Гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются.
3. Магнитная сепарация – измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: **агломерацию** и **окатывание**.

При агломерации шихту (железная руда, известняк и др) спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат.

При окатывании шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

80. Производство чугуна. Доменная печь, ее устройство и работа. Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных*.

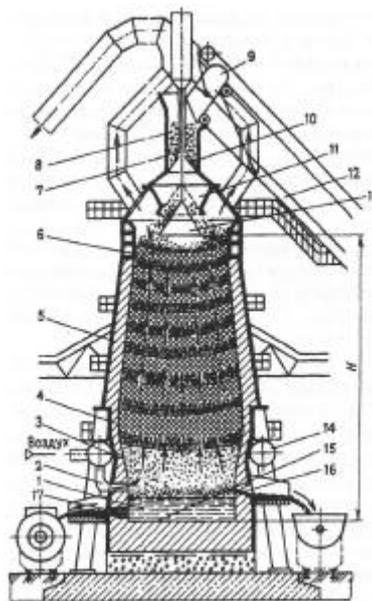


Рис. 1 – Устройство доменной печи

Доменная печь (рис. 1) имеет стальной кожух, выложенный внутри огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает в себя колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15.

Шихту через загрузочное устройство (в верхней части печи) засыпают в печь послойно: шихта-топливо-шихта... При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство в печь подаются новые порции шихты в таком количестве, чтобы весь полезный объем печи был заполнен. Полезная высота H доменной печи достигает 35 м.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух нагревают для повышения температуры в печи и снижения расхода кокса.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды, оксидом углерода, водородом, выделяющимся при сгорании топлива в печи и твердым углеродом. В результате этого расплав стекает, скапливается в нижней части печи и периодически выпускается из печи.

81. Производство чугуна. Основные процессы, протекающие в доменной печи.

Все эти процессы, проходящие в доменной печи, протекают одновременно, но с разной интенсивностью, при различных температурах и на разных уровнях.

Горение топлива. Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорает. В результате горения выделяется теплота и образуется газовый поток, содержащий CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄ и др. При этом в печи несколько выше уровня

фурм развивается температура выше 2000 °С. Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до температуры 300...400°С у колошника.

Восстановление железа в доменной печи. Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре 500...570°С начинается восстановление оксидов железа. В результате взаимодействия оксидов железа с оксидом углерода и твердым углеродом кокса, а также с водородом происходит **восстановление железа**. Восстановление железа происходит в несколько стадий – от высшего оксида к низшему: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$. Восстановление железа заканчивается при 1100 – 1200 °С. В доменной печи железо восстанавливается почти полностью. Потери его шлаком составляют не более 1 %.

Науглероживание железа происходит при взаимодействии с оксидом углерода, коксом, сажистым углеродом. Это приводит к образованию жидкого расплава, который каплями начинает стекать в горн. Эти капли, протекая по кускам кокса, насыщаются углеродом (4 % и более), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1000...1200°С восстанавливаются из руды, а также обогащаются серой, содержащейся в коксе.

Шлакообразование активно происходит в распаре после окончания процессов восстановления железа путем сплавления флюсов. Шлак стекает в горн и скапливается на поверхности жидкого чугуна благодаря меньшей плотности.

82. Производство чугуна. Продукты доменного производства и их использование.

Чугун – основной продукт доменной плавки. В доменных печах получают чугун различного химического состава в зависимости от его назначения.

Передельный чугун выплавляют для передела его в сталь в конвертерах или мартеновских печах.

Литейный чугун используют на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменной печи выплавляют **ферросплавы доменные** – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами, применяемые для раскисления и легирования стали. К ним относятся ферросилиций, ферромарганец и др.

Побочные продукты доменной плавки - **шлак и доменный газ**. Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, шлакоситаллы, а доменный газ после очистки используют как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в доменную печь.

83. Производство стали. Сущность процесса передела чугуна в сталь.

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Основными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне.

В процессе плавки стали происходит взаимодействие между металлической, шлаковой и газовой фазами и футеровкой плавильного агрегата, различными по агрегатному состоянию и химическому составу. В результате этого взаимодействия осуществляется переход химических элементов из одной фазы в другую. Обменные процессы сопровождаются химическими превращениями, главным образом на границе металлической фазы со шлаком. Металлическая фаза состоит из расплава химических элементов, шлаковая – из расплава оксидов и их соединений. Поэтому переход эле-

мента из одной фазы в другую возможен только при протекании химической реакции образования или восстановления оксида.

Процессы выплавки стали осуществляют в несколько этапов:

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. На этом этапе температура металла невысока; интенсивно происходят окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей Si, P, Mn. Наиболее важная задача этого процесса – удаление фосфора (одной из вредных примесей в стали).

Второй этап - "кипение" металлической ванны - начинается по мере ее прогрева до более высоких температур. При этом более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты. Образующийся в металле оксид железа реагирует с углеродом, а пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая кипение ванны. При кипении уменьшается содержание углерода в металле до требуемого. В этот же период создаются условия для удаления серы из металла, которая переходит в шлак.

Третий этап (завершающий) – раскисление стали – заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле

84. Производство стали. Получение стали в кислородных конвертерах.

Кислородно-конвертерный процесс – это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму.

Кислородный конвертер представляет собой сосуд **1** грушевидной формы, изготовленный из стального листа и выложенный изнутри основным огнеупорным кирпичом **2**. Верхняя часть конвертера имеет открытую горловину **4** для загрузки шихтовых материалов и ввода кислородной фурмы **3**.

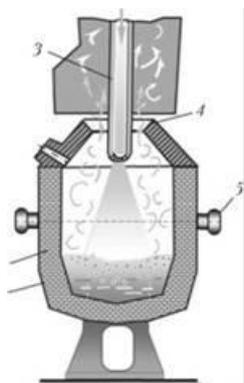


Схема кислородного конвертера

Сущность процесса: исходные материалы (разделанный на куски определенной величины стальной лом, жидкий чугун, известь для наведения шлака) вводят в конвертер через горловину. После ввода исходных шихтовых материалов внутрь конвертера через горловину опускают кислородную фурму и начинают подавать кислород под давлением. В зоне контакта кислородной струи с металлом кислород окисляет все примеси, в результате чего получают сплав требуемого состава.

85. Производство стали. Получение стали в мартеновских печах.

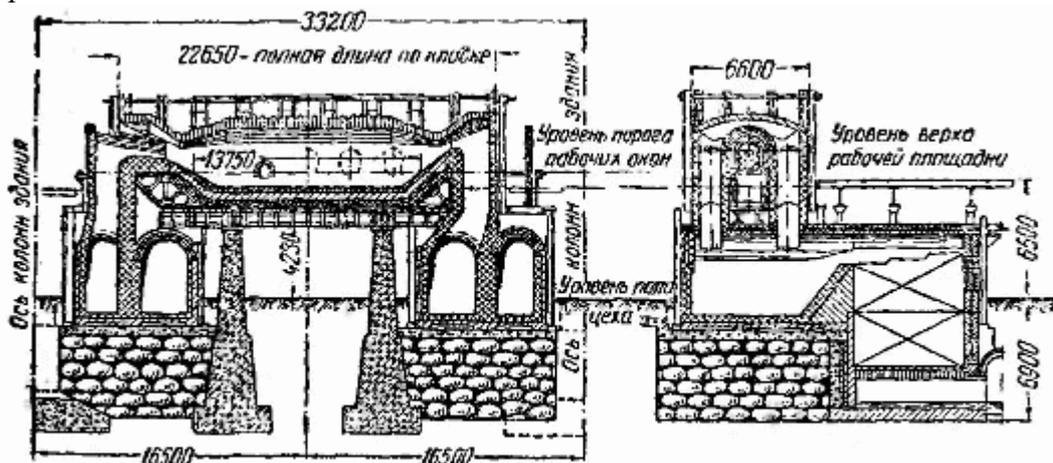
Производство стали в мартеновских печах является также окислительным процессом, однако в этом случае окисление происходит не непосредственно воздухом, проходящим через всю толщу *расплавленного металла*, как это имеет место в процессе кон-

вертирования, а через *шлак*, изолирующий расплавленный металл от непосредственного взаимодействия с кислородом воздуха.

Пламенная мартеновская печь является печью периодического действия, нагреваемой при помощи сжигания газа или мазута.

Газ, а также воздух, необходимый для его сжигания, предварительно подогреваются до температуры 1100° . Смешиваясь у входа в плавильное пространство печи, газы образуют большой факел пламени, способствующий быстрому нагреву самой печи и находящихся в ней *шихтовых материалов*.

Изменяя периодически направления факела горения в печи, можно обеспечить в ней длительное время температуру $1600\text{—}1700^{\circ}$, вполне достаточную для поддержания стали в расплавленном состоянии.



На рисунке изображены — продольный и поперечный разрезы мртеновской печи.

86. Производство стали. Получение стали в электропечах.

Наиболее совершенным способом производства стали является выплавка ее в электроплавильных печах. Основные преимущества этих печей заключаются в следующем:

1. В плавильном пространстве температура достигает 2000° , что способствует удалению вредных примесей: кислорода, серы и фосфора, а также неметаллических включений (сталь, полученная таким способом, по химическому составу лучше мартеновской).

2. Можно выплавлять любые сорта стали с содержанием заданного количества различных элементов и таких, как хром, никель и даже молибден, ванадий, вольфрам, титан и др.

3. Обеспечивается точность и простота регулирования температур.

4. Значительно уменьшается угар металла и легкая окисляемость легирующих элементов.

Выплавку стали производят в дуговых и индукционных электрических печах, а также роторных. Наибольшее распространение имеют дуговые электрические печи.

Ввиду высокой стоимости электроэнергии в электропечах, как правило, выплавляется только высококачественная сталь.

В целях повышения производительности электрических печей и снижения стоимости стали предусмотрено производство электростали с помощью дуплекс-процесса, заключающегося в выплавке металла последовательно в двух плавильных агрегатах: основном конверторе и электропечи или в электропечи и мартеновской печи. Экономическая и технологическая целесообразность расплавления и предварительного удаления вредных примесей в первом агрегате и окончательная переработка металла во втором агрегате очевидны: повышается производительность, улучшается качество стали и уменьшается расход электроэнергии.

87. Производство цветных металлов: Руды для плавки.

Медь в чистом виде в природе встречается редко. **Медные руды** содержат, кроме собственно меди, различные другие элементы. Чаще всего в рудах медь находится в соединении с серой (сульфиды) — медный колчедан CuFeS_2 и медный блеск Cu_2S . Эти виды сернистых соединений меди обычно встречаются вместе. Кроме указанных наиболее распространенных руд, медь добывают из окисленных руд (куприт, малахит и др.). Среднее содержание меди в бедных рудах 0,5—2%. Руды с содержанием меди 3% и более считаются богатыми.

Алюминий в чистом виде в природе не встречается, но является в соединении с другими веществами наиболее распространенным металлом в земной коре. **Алюминиевые руды** — горные породы, с высоким содержанием глинозема Al_2O_3 . К таким породам относятся каолины, бокситы, нефелины и алуниты.

Магний также не встречается в природе в чистом виде, но в виде соединений распространен широко (2,35% веса земной коры). Важнейшие **магниевого руды** — магнезит (карбонат магния MgCO_3) и доломит ($\text{MgCO}_3, \text{CaCO}_3$). Кроме горных пород, источником добывания магния служит морская вода и вода некоторых соленых озер (откуда извлекается хлорид магния — бишофит путем испарения и кристаллизации).

Титановые руды в основном бывают двух видов: рутил (TiO_2) и ильменит (FeTiO_3). Рутиловые руды обогащают до содержания 90—95% TiO_2 , ильменитовые до содержания 40—42% TiO_2 .

88. Производство меди: сущность процесса.

Для получения меди применяют медные руды, а также отходы меди и её сплавы. В рудах содержится 1 – 6% меди.

Известны два способа получения меди из руд:

- гидрометаллургический;
- пирометаллургический.

Гидрометаллургический не нашел своего широкого применения из-за невозможности извлекать попутно с медью драгоценные металлы.

Пирометаллургический способ пригоден для переработки всех руд и включает следующие операции:

Подготовка руд заключается в проведении обогащения и обжига. Обогащение медных руд проводят методом флотации.

Плавку на штейн ведут в отражательных или электрических печах при температуре 1250 – 1300 °С. В плавку поступают обожженные концентраты медных руд, в ходе нагревания которых протекают реакции восстановления оксида меди и высших оксидов железа. Штейн и шлак выпускают по мере их накопления через специальные отверстия.

Конвертирование штейна осуществляется в медеплавильных конвертерах путем продувки его воздухом для окисления сернистого железа, перевода железа в шлак и выделения черновой меди.

Рафинирование (очистка) меди. Для получения меди необходимой чистоты черновую медь подвергают огневому и электролитическому рафинированию. При этом, помимо удаления примесей можно извлекать также благородные металлы.

89. Производство алюминия: сущность процесса.

Алюминий получают электролизом глинозема (Al_2O_3) в расплавленном криолите (Na_3AlF_6) с добавлением фтористых алюминия (AlF_3) и натрия (NaF).

Производство алюминия включает:

- получение безводного, свободного от примесей оксида алюминия (глинозема);
- получение криолита из плавикового шпата;
- электролиз глинозема в расплавленном криолите;

- рафинирование алюминия.

Получение глинозема Глинозем получают из бокситов путем их обработки щелочью. Полученный алюминат натрия NaAlO_2 подвергают гидролизу.

В результате в осадок выпадают кристаллы гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, который отфильтровывают, промывают и прокаливают до получения чистого глинозема (Al_2O_3).

Получение криолита. Для получения криолита сначала из плавикового шпата получают фтористый водород, а затем плавиковую кислоту. В раствор плавиковой кислоты вводят $\text{Al}(\text{OH})_3$, в результате чего образуется фторалюминиевая кислота, которую нейтрализуют содой и получают криолит, выпадающий в осадок. Осадок отфильтровывают и просушивают в сушильных барабанах.

Электролиз глинозема проводят в электролизере, имеющем ванну. В дно ванны смонтированы медные шины, соединенные с отрицательным полюсом источника тока. В ванне находится расплавленный алюминий, служащий катодом, и жидкий криолит. Алюминий собирается на дне ванны под слоем электролита. Его периодически извлекают, используя специальное устройство. Для нормальной работы ванны на её дне оставляют немного алюминия.

Рафинирование (очистка) алюминия Алюминий, полученный электролизом, называют алюминием-сырцом. Примеси удаляют рафинированием путем продувки расплава алюминия хлором.

90. Производство титана: сущность процесса.

Получение металлического титана затрудняется его очень высокой химической активностью при повышенных температурах. Поэтому при производстве титана требуются особые условия, обеспечивающие достаточную чистоту производимого металла.

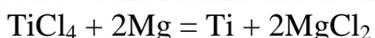
Для получения титана применяют магниетермический способ, который включает операции:

1.Получение титановых концентратов. Титановые руды подвергают обогащению, в результате которого получают концентраты с повышенным содержанием TiO_2 .

2.Производство титанового шлака. Основное назначение этого процесса – отделение оксидов железа от оксида титана.

3.Производство четырёххлористого титана. Для получения металлического титана используют хлорид титана, полученный путём хлорирования титанового шлака. Для этого титановый шлак измельчают, смешивают с углем и каменноугольным пеком, так как процесс хлорирования может проходить успешно только в присутствии восстановителя, и брикетируют при нагреве до $800\text{ }^\circ\text{C}$ без доступа воздуха.

4.Восстановление четырёххлористого титана магнием. Восстановление осуществляется в специальных реакторах при температуре $950 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ в среде аргона. Процесс восстановления титана идёт по реакции:



Металлический титан оседает на стенках, образуя губчатую массу, а хлористый магний в виде расплава выпускают через лётку реактора.

5.Вакуумная сепарация (разделение) реакционной массы Сепарацию проводят с целью отделения титановой губки от магния и хлористого магния. Процесс отделения состоит в том, что реакционную массу нагревают до $900 - 950\text{ }^\circ\text{C}$ в электронагревательной печи, в котором создаётся вакуум. Титановая губка после очистки направляется на плавку.

6.Плавка титановой губки в вакуумнодуговых печах. Вакуум печи предохраняет титан от окисления и способствует очистке его от примесей. Полученные слитки титана переплавляют вторично для удаления дефектов.