**Задание для обучающихся**

**с применением дистанционных образовательных технологий**

**и электронного обучения**

Дата: 20 апреля 2020г.

Группа: Тз-19

Учебная дисциплина: Материаловедение

Тема занятия: Кристаллическое строение металлов. Диаграмма «железо-цементит».

Форма: лекция

**Содержание занятия:**

1. Изучение теоретического материала
2. Контрольные вопросы

**Теоретический материал**

Чугун - сплав железа с углеродом, содержащий более 2,14 до 6,67% углерода (на практике 2,5 – 4,5% углерода).

Сталь – сплав железа с углеродом, содержащий углерода не более 2,14%.

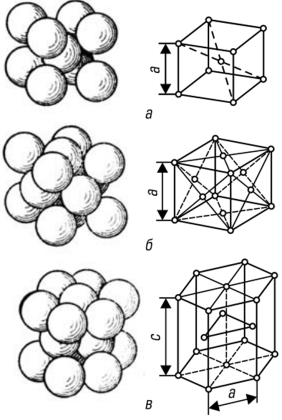
Полезные примеси в сталях и чугунах – кремний и марганец, вредные примеси – сера (вызывает красноломкость) и фосфор (вызывает хладноломкость).

1. **Кристаллическое строение металлов**

Металлы имеют кристаллические решетки различных типов. Чаще всего встречаются: кубическая объемно-центрированная (ОЦК), кубическая гранецентрированная (ГЦК), гексагональная плотноупакованная (ГПУ) кристаллические решетки.

Показанные на рисунке 1 наименьшие объемы кристаллов называются элементарными кристаллическими ячейками, с помощью которых представляют атомное строение металлов.

В элементарной ячейке кубической объемно-центрированной решетки (рисунок 1, *а)* содержится девять атомов: восемь располагаются по узлам ячейки и один атом — в центре. Такой тип решетки имеют литий, калий, рубидий, ванадий, молибден, вольфрам, ниобий, тантал, a-железо и другие металлы.



а — кубическая объемно-центрированная; б—кубическая гранецентрированная;

в — гексагональная плотноупакованная

Рисунок 1- Элементарные кристаллические ячейки

В элементарной ячейке кубической гранецентрированной решетки (рисунок 1,*б)* находится четырнадцать атомов, которые расположены в углах ячейки и в центре каждой грани. Этот тип решетки имеют свинец, никель, серебро, золото, медь, алюминий, платина, кальций, у-железо, церий, а-кальций и др.

В элементарной ячейке гексагональной плотноупакованной решетки (рисунок 1, *в)* содержится семнадцать атомов, которые располо- жены в углах ячейки, центрах шестигранных оснований призмы, и три атома в средней плоскости призмы. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, рений, бериллий, гафний, титан (а-фаза), осмий и др.

Размеры кристаллической решетки характеризуются расстоянием между центрами соседних атомов, находящихся в вершинах элементарных ячеек, называемым параметром или периодом решетки. Кубическую решетку характеризует один параметр — длина ребра куба *а*, а гексагональную — два параметра *а* и *с* или их отношение *с/а.*

Плотность различных кристаллических решеток разная и характеризуется координационным числом *К*, под которым понимают число атомов, находящихся на равном и наименьшем расстоянии отданного атома. Координационное число для кубической объемно-центрированной решетки равно восьми (A'S), и коэффициент заполнения (отношение объема, занятого атомами, к объему всей ячейки) равен 68%. Для гранецентрированной и гексагональной кристаллических решеток координационное число равно двенадцати *(К*2), а коэффициент заполнения — 74%.

Полиморфизмом или аллотропией называют способность металла в твердом состоянии при изменении температуры перестраивать свою кристаллическую решетку. Полиморфные превращения сопровождаются выделением или поглощением теплоты, а также изменением свойств металла. Различные аллотропические состояния называют модификациями. Каждой модификации свойственно оставаться устойчивой лишь в пределах определенного для данного металла интервала температур. Аллотропические формы обозначаются греческими буквами а, р, у и т.д. На кривых охлаждения и нагрева переход из одного состояния в другое характеризуется остановкой (для чистых металлов) или изменением характера кривой (для сплавов). При аллотропических превращениях, кроме изменения свойств (теплопроводности, электропроводности, механических, магнитных и др.), наблюдаются изменения объема металла и растворимости (например, углерода в железе). Аллотропические превращения свойственны многим металлам (железу, олову, титану и др.).

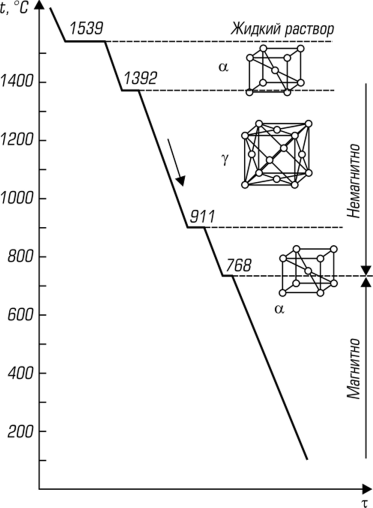


Рисунок 2-  График полиморфных превращений железа

Железо известно в двух полиморфных модификациях — α и γ.

На рисунке 2 приведена кривая охлаждения, характеризующая его аллотропические превращения. В интервале температур 911—1392 °С железо имеет кубическую гранецентрированную решетку γ-железа (Fe ), α от 0 до 911 °С и от 1392 до 1539 °С — объемно- центрированную решетку α-железа (Fea). Выше 768 °С железо немагнитно, а ниже — обладает магнитными свойствами.

**2.Диаграмма «железо - цементит»**

**Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.** Начало изучению железоуглеродистых сплавов и процессов термической обработ­ки было положено опубликованной в 1868 г. ра­ботой Д. К. Чернова «Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных ору­диях и собственные исследования Д. К. Чернова по этому же предмету». Д. К. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и дал первое представление о диаграмме железо—цементит. В дальнейшем изучению же­лезоуглеродистых сплавов и построению диаграмм железо — углерод были посвяящены работы Ф. Осмонда, Ле-Шателье (Франция), P. Аустена (Англия), А. А. Байкова и Н.Т. Гудцова Россия), Розенбаума (Голландия), П. Геренса (Германия) и др.

Основными компонентами, от которых зави­сит структура и свойства железоуглеродистых сплавов, являются железо и углерод. Чистое же­лезо — металл серебристо-белого цвета; темпе­ратура плавления 1539°С. Железо имеет две по­лиморфные модификации: а и у- Модификация а существует при температурах ниже 911°С и вы­ше 1392°С; y-железо — при 911—1392°С.

В зависимости от температуры и концентра­ции углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие структурные составляющие.

1. **Феррит**(Ф)— твердый раствор внедре­ния углерода в a-железе. Растворимость углеро­да в α-железе при комнатной температуре до 0,005%; наибольшая растворимость — 0,02% при 727°С. Феррит имеет незначительную твердость (НВ 80—100) и прочность (σв = 250 МПа), но высокую пластичность (δ = 50%; ψ = 80%).

2. **Аустенит**(А) — твердый раствор внед­рения углерода в γ-железе. В железоуглеродис­тых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная раствори­мость углерода в γ-железе 2,14% при температу­ре 1147°С и 0,8% — при 727°С. Эта температу­ра является нижней границей устойчивого суще­ствования аустенита в железоуглеродистых спла­вах. Аустенит имеет твердость НВ 160—200 и весьма пластичен (δ = 40—50%).

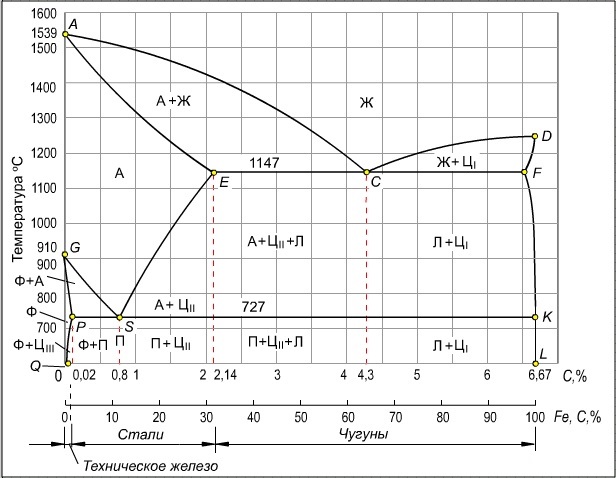
3. **Цементит** (Ц) — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe3C). В це­ментите содержится 6,67% углерода. Температу­ра плавления цементита около 1600°С. Он очень тверд (НВ~800), хрупок и практически не об­ладает пластичностью.

4. **Перлит** (П) — механическая смесь (эвтектоид, т. е. подобный эвтектике, но образую­щийся из твердой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. Перлит может быть пластинчатым и зернистым, что зависит от формы цементита (пластинки или зерна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности σв = 800 МПа; относительное удлинение δ=15%; твердость НВ 160. Перлит образуется следующим образом. Пластинка, цементита начинает расти или от границы зерна аустенита, или центром кристаллизации является неметаллическое вклю­чение. При этом соседние области объедняются углеродом и в них образуется феррит. Этот про­цесс приводит к образованию зерна перлита, со­стоящего из параллельных пластинок цементита и феррита. Чем грубее и крупнее выделения цементита, тем хуже механические свойства перлита.

5. **Ледебурит** (Л) — механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода. Ледебурит образуется при за­твердевании жидкого расплава при 1147°С. Леде­бурит имеет твердость НВ 600—700 и большую хрупкость. Поскольку при температуре 727°С аустенит превращается в перлит, то это превращение охватывает и аустенит, входящий в состав ледебурита. Вследствие этого при температуре ниже 727°С ледебурит представляет собой уже не смесь аустенита с цементом, а смесь перлита с цементитом.

**Диаграмма состояния железо — цементит.** В диаграмме состояния железо — цементит (Fe—Fе3С) рассматриваются процессы кристал­лизации железоуглеродистых сплавов (стали и чугуна) и превращения в их структурах при мед­ленном охлаждении от жидкого расплава до комнатной температуры. Диаграмма (рисунок 3) по­казывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67% С). Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют сталью, а от 2,14 до 6,67% — чугуном.

Диаграмма состояния Fe—FезС представлена в упрощенном виде. Первичная кристал­лизация, т. е. затвердевание жидкого сплава начинается при температурах, соответствующих линии ликвидуса ACD. Точка А на этой диаграм­ме соответствует температуре 1539° плавления (затвердевания) железа, точка D — температу­ре ~1600°С плавления (затвердевания) цементи­та. Линия солидуса AEСF соответствует темпе­ратурам конца затвердевания. При температу­рах, соответствующих линии АС, из жидкого сплава кристаллизуется аустенит, а линии CD — цементит, называемый первичным цементитом. В точке С при 1147°С и содержании углерода 4,3% из жидкого сплава одновременно кристал­лизуется аустенит и цементит (первичный), образуя эвтектику — ледебурит. При темпера­турах, соответствующих линии солидуса АЕ, сплавы с содержанием углерода до 2,14% окон­чательно затвердевают с образованием аустени­та. На линии солидуса ECF сплавы с содержа­нием углерода от 2,14 до 6,67% окончательно за­твердевают с образованием эвтектики (ледебу­рита) и структур, образовавшихся ранее из жид­кого -сплава, а именно: в интервале 2,14— 4,3% С — аустенита, а в интервале 4,3— 6,67% С — цементита первичного. В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14%, т. е. в сталях, образуется однофазная структу­ра — аустенит. В сплавах с содержанием угле­рода более 2,14%, т. е. в чугунах, при первичной кристаллизации образуется эвтектика леде­бурита.



Ф – феррит, А – аустенит, П – перлит, Л – ледебурит, Ц – цементит

Рисунок 3- Диаграмма состояния Железо цементит

**Вторичная кристаллизация** (превра­щение в твердом состоянии) происходит при тем­пературах, соответствующих линиям GSE, PSK. и GPQ. Превращения в твердом состоянии про­исходят вследствие перехода железа из одной ал­лотропической модификации в другую *(γ*в α) и в связи с изменением растворимости углерода в аустените и феррите. С понижением температуры растворимость уменьшается. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цемен­тита.

В области диаграммы AGSE находится аусте­нит. При охлаждении сплавов аустенит распа­дается с выделением феррита при температурах, соответствующих линий GS, и цементита, назы­ваемого вторичным, при температурах, соответ­ствующих линии SE. Вторичным называют цементит, выделяющийся из твердого раствора аустенита, в отличие от первичного цементита, выделяющегося из жидкого расплава. В области диаграммы GSP находится смесь фер­рита и распадающегося аустенита. Ниже линии GP существует только феррит. При дальнейшем охлаждении до температур, соответствующих линии PQ, из феррита выделяется цементит (тре­тичный). Линия PQ показывает, что с пониже­нием температуры растворимость углерода в феррите уменьшается от 0,02% при 727°С до 0,005% при комнатной температуре.

В точке S при содержании 0,8% углерода и температуре 727°С весь аустенит распадается и превращается в механическую смесь феррита и  
цементита — перлит.

Сталь, содержащую 0,8% углерода, называют **эвтектоидной** . Стали, содержащие от 0,02,до 0,8% углерода, называют **доэвтектоидными** , а от 0,8 до 2,14% углерода — **заэвтектоидными** .

При температурах, соответствующих линии PSK, происходит распад аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перли­та, представляющего собой механическую смесь феррита и цементита. Линию PSK(7270С) называют ли­нией эвтектоидного (перлитного) превращения.

При температурах, соответствующих линии SE, аустенит насыщен углеродом, и при пониже­нии температуры из него выделяется избыточный углерод в виде цементита (вторичного).

Белый чугун, содержащий 4,3% углерода, на­зывают эвтектическим. Белые чугуны, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода, на­зывают доэвтектическими, а от 4,3 до 6,67% уг­лерода — заэвтектическими.

По достижении температуры, 727°С (линия PSK) аустенит, обедненный углеродом до эвтектоидного состава (0,8% углерода), превращает­ся в перлит. После окончательного охлаждения доэвтектические белые чугуны состоят из перли­та, ледебурита (перлит+цементит) и цементита (вторичного). Чем больше в структуре такого чу­гуна углерода, тем меньше в нем перлита и боль­ше ледебурита.

Белый эвтектический чугун (4,3% углерода) при температурах ниже 727°С состоит только из ледебурита. Белый заэвтектический чугун, со­держащий более 4,3% углерода, после оконча­тельного охлаждения состоит из цементита (пер­вичного) и ледебурита. Следует отметить, что при охлаждении ледебурита ниже линии PSK входящий в него аустенит превращается в пер­лит, т. е. ледебурит при комнатной температуре представляет собой уже смесь цементита и перли­та. При этом цементит образует сплошную мат­рицу, в которой размещены колонии перлита. Та­кое строение ледебурита является причиной его большой твердости (НВ>600) и хрупкости.

Диаграмма состояния железо цементит имеет большое практическое значение. Ее применяют для определения тепловых режимов термической обработки и горячей обработки давлением (ков­ка, горячая штамповка, прокатка) железоугле­родистых сплавов. Ее используют также в литейном производстве для определения темпера­туры плавления, что необходимо для назначе­ния режима заливки жидкого железоуглеродис­того сплава в литейные формы.

**3.Технология термической обработки стали**

Различают следующие виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

**Отжиг.**Это вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении вместе с печью. Цели отжига – снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, получение равновесной структуры, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений.

Существуют различные виды отжига – диффузионный, рекристаллизационный, полный, неполный, отжиг на зернистый перлит, отжиг для снятия внутренних напряжений и другие (рисунок 4).

**Диффузионный отжиг** (1) заключается в нагреве до 1000…1000°С, длительной выдержке (10…15 часов) и последующем медленном охлаждении. В результате происходит выравнивание неоднородности стали по химическому составу.

**Рекристаллизационный отжиг**(2)предназначен для снятия наклепа и внутренних напряжений после холодной деформации. Температура нагрева рекристаллизационного отжига 650…700°С. В результате образуется однородная мелкозернистая структура с небольшой твердостью и значительной вязкостью.

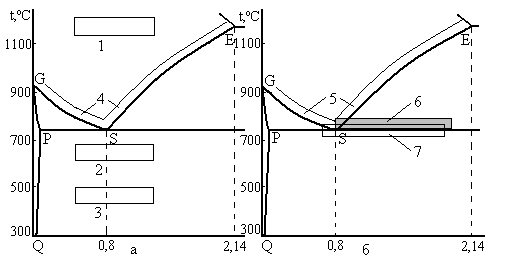


Рисунок 4-Температура нагрева стали при различных видах отжига

**Отжиг для снятия внутренних напряжений**(низкий отжиг) (3). Температура нагрева 200…600°С. Применяется, когда структура стали удовлетворительна и необходимо только снять внутреннее напряжение, возникающее при кристаллизации, после сварки или механической обработки.

**Полный отжиг**(5) применяется для доэвтектоидных сталей. Нагрев стали выше линии GS (Ас3) на 30…50°С. Структура, состоящая из крупных зерен феррита и перлита, превращается в аустенит, а при медленном охлаждении в структуру из мелких зерен феррита и перлита. При полном отжиге измельчается зерно, снижается твердость и прочность, повышается пластичность.

**Неполный отжиг**(6) нагрев выше линии PSК (Ас1) на 30…50°С. Он производится, если исходная структура вполне удовлетворительна.

**Отжиг на зернистый перлит**(7), или циклический отжиг, – это 3-5 кратный нагрев до 740…750°С, изотермическая выдержка и медленное охлаждение до 680°С (ниже А1). В результате получается структура зернистого перлита и сталь становится пластичной, с меньшей твердостью и прочностью по сравнению с пластинчатым перлитом. Применяется для подготовки сталей к закалке или для улучшения обрабатываемости резанием.

**Изотермический отжиг** (перекристаллизационный отжиг – возможно полное изменение фазового состава) проводят с целью экономии времени. Он осуществляется по следующей схеме. Нагрев доэвтектоидной стали выше Ас3, заэвтектоидной – выше Ас1. Выдержка до полного фазового превращения. Быстрое охлаждение до температуры на 30…100°С ниже Аr1, изотермическая выдержка до полного распада аустенита в перлит и охлаждение на спокойном воздухе. Этим экономится время, достигается (за счет изотермической выдержки) однородность структуры, особенно у легированных сталей.

**Нормализация**(4) – разновидность полного отжига. Нагрев на 30…50°C выше Ас3 или Асm, выдержка и охлаждение на спокойном воздухе. Отличие нормализации от полного отжига в скорости охлаждения – при нормализации она выше. Проводится с целью экономии времени как заключительная операция для низкоуглеродистых и легированных сталей, но чаще как промежуточная операция, улучшающая структуру заэвтектоидной стали перед закалкой. Твердость и прочность стали выше, чем после отжига.

**Закалка** **стали.**Закалка **–** вид термической обработки, состоящий в нагреве стали выше критических точек, выдержке и последующем быстром охлаждении. В результате закалки повышается твердость и прочность, но снижается пластичность и вязкость.

Основные параметры при закалке – температура нагрева и скорость охлаждения. Температуру нагрева определяют по диаграммам состояния, скорость охлаждения – по диаграммам изотермического распада аустенита.

Для полного отжига, нормализации и закалки изделия нагревают практически до одинаковых температур, основное отличие этих видов термообработки состоит в скорости охлаждения.

**Температура закалки** для доэвтектоидных сталей – Ас3(линия GS диаграммы) + (30…50)°C. Если нагреть до температуры между критическими точками Ас1 и Ас3 то после закалки в структуре мартенсита появится феррит, что ухудшает свойства изделия.

Заэвтектоидные стали нагревают до температуры Ас1(линия РSК диаграммы) + (40…60)°C, это так называемая неполная закалка, сохраняющая в структуре стали цементит. После закалки получается структура мартенсита с включениями цементита вторичного, что повышает твердость и износостойкость.

Время и скорость нагрева зависит от размеров изделия и теплопроводности стали (имеются эмпирические формулы в справочниках).

Продолжительность выдержки при температуре закалки выбирают такой, чтобы произошла гомогенизация аустенита.

**Скорость охлаждения** зависит от охлаждающей среды, формы изделия, теплопроводности стали.

Основные требования к охлаждающей среде – высокая скорость охлаждения в области температур 650…550°С – область наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита и более низкая скорость, ниже 300°С – область мартенситного превращения. В первой области желательно подавить диффузионные процессы, а во второй уменьшить термические и структурные напряжения.

В качестве закалочных сред для углеродистых сталей используют воду, минеральные масла, для легированных сталей дополнительно – расплавленные соли, растворы NaOH и NaCl в воде и т.д.

Основными технологическими свойствами, характеризующими процесс закалки стали, являются закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате закалки (зависит от содержание углерода) и прокаливаемость – способность стали получать закаленный слой с мартенситной или мартенситно-трооститной (50/50) структурой и высокую твердость на ту или иную глубину (зависит от критической скорости закалки). Характеристикой прокаливаемости являются Dкр–критический диаметр – максимальный диаметр прутка, который закаливается насквозь в данном охладителе.В этом случае на поверхности изделия и в его центре скорость охлаждения больше критической. С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость стали увеличивается.

**Способы закалки стали.**Существуют различные способы охлаждения стали при закалке. Они выбираются в зависимости от формы изделия, марки стали и необходимого комплекса свойств (рисунок 5).

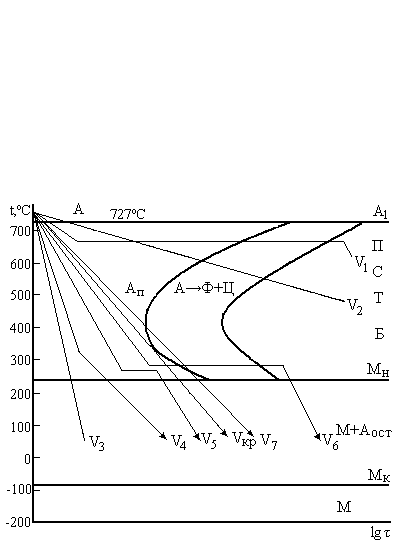
Закалку в одном охладителе (V3) применяют для простых изделий. Основной недостаток закалки – большие термические напряжения в металле.

Закалку в двух охладителях (V4) (например, вода и масло) используют для деталей более сложной формы.

Ступенчатая закалка (V5) проводится по следующей схеме: деталь охлаждают в среде, имеющей температуру несколько выше Мн, и выдерживают до приобретения деталью температуры закалочной среды, но не превышают времени устойчивости аустенита при этой температуре и затем охлаждают с небольшой скоростью.

При изотермической закалке (V6) деталь охлаждают в среде с температурой выше Мн (и соответствующей получаемой структуре) и выдерживают в течение времени, необходимого для полного превращения аустенита в необходимую структуру.

Закалка с самоотпуском применяется для обработки ударного инструмента (зубил кузнечного инструмента и т.д.), когда требуется постепенное понижение твердости от поверхности изделия к центру. Охлаждение проводят в одном охладителе и прерывают, когда сердцевина еще имеет достаточно тепла, за счет которого поверхностный слой вновь нагревается и таким образом происходит отпуск.



V1 – изотермический отжиг, V2 – нормализация, V3 – закалка в 1 среде,V4 – закалка в 2-х средах, V5 – ступенчатая закалка, V6 – изотермическая закалка, V7 – неполная закалка

Рисунок 5- Различные способы термической обработки

Поверхностная закалка применяется для получения изделия с вязкой сердцевиной и твердой износостойкой поверхностью. Известно несколько методов быстрого нагрева поверхностного слоя (токами высокой частоты, лазером и др.). Наибольше применение нашел нагрев токами высокой частоты (ТВЧ) с последующим быстрым охлаждением. Нагрев поверхности до температуры Ас3происходит за 3…5 секунд, в это время сердцевина прогревается ниже Ас1, поэтому поверхность закаленного изделия приобретает мартенситную структуру, а сердцевина остается без изменений (перед закалкой изделие обычно нормализуют). Твердость поверхности после закалки и низкого отпуска – 54…58 HRC.

Обработка холодом предложена для легированных сталей, температура мартенситного превращения Мк которых лежит ниже нуля. Обработка холодом вызывает превращения остаточного аустенита в мартенсит, что повышает твердость, износостойкость, стабилизирует размеры изделия. Обработку производят сразу после закалки, чтобы не произошла стабилизация А, и затем проводят отпуск, чтобы снять напряжения.

**Отпуск** – нагрев закаленной стали до температур ниже критической точки Ас1, выдержка при этой температуре и охлаждение (обычно на воздухе).

Отпуск – окончательная термообработка, и его целью является изменение строения и свойств стали: повышение вязкости и пластичности, уменьшение твердости и устранение внутренних напряжений.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий).

При низком отпуске закаленную сталь нагревают до 150…200°С, выдерживают в течение 1…3 часов и охлаждают. Структура – отпущенный мартенсит. Применяется для закаленных и химико-термически отработанных углеродистых и легированных сталей, от которых требуется высокая твердость (58…63HRC), износостойкость и стабильность размеров (инструмент). Снимаются (частично) закалочные напряжения, происходит некоторое увеличение пластичности и вязкости.

При среднем отпуске закаленную сталь нагревают на 350…450°С. Получаемая структура, троостит отпуска зернистый, обладает высокой твердостью (40-50HRC), прочностью, хорошей упругостью и достаточной вязкостью. Применяется для пружин, рессор, штампов, ударного инструмента.

При высоком отпуске закаленные изделия нагревают до 500…650°С, выдерживают и охлаждают. Структура – зернистый сорбит (цементит приобретает зернистую структуру). Это существенно повышает ударную вязкость и пластичность при твердости 30…40HRC, получается оптимальное для конструкционных сталей сочетание механических свойств.

Высокому отпуску подвергаются среднеуглеродистые (0,3…0,5%С) и легированные стали. Он применяется для деталей, подвергающихся действию высоких нагрузок. Закалку с высоким отпуском называют улучшением.

**4Химико-термическая обработка**

Химико-термическая обработка – это способ поверхностного упрочнения металла, представляющий собой технологический процесс насыщения поверхностного слоя металла каким-либо элементом. При этом изменяется химический состав поверхностных слоев изделия за счет диффузионного насыщения их элементами, повышающими твердость, износоустойчивость и др.

Основными видами ХТО являются цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

**Цементация** – это процесс насыщения поверхности стальных деталей углеродом. Изделия нагревают в среде, легко отдающей углерод. Цементации подвергаются, как правило, стали с содержанием углерода (0,1…0,3%C), в том числе и легированные. В результате на поверхности концентрация углерода возрастает до 1%.

Глубиной цементации условно считают расстояние от поверхности детали до половины зоны, где в структуре наряду с перлитом имеется такое же количество феррита. Глубина цементации в среднем достигает 1…2мм.

Различают цементацию твердым карбюризатором (углеродосодержащими смесями) и газовую.

Цементацию твердым карбюризатором – смесью древесного угля (75…80% по объему) и активаторов BaCO3, NaCO3, K2CO3 осуществляют в герметично закрытых ящиках при температуре 900…950ºС в течение 8…14часов.

Более дешевой и современной является газовая цементация, при которой детали нагревают в герметических печах в атмосфере углесодержащих газов (природного – 96% метана, окиси углерода, пропана и др.) при температуре 930…950°С в течение 8-12 часов. Толщина цементованного слоя составляет 1…2,5 мм.

Окончательные свойства проявляются после термической обработки – закалки с низким отпуском.

После закалки и отпуска изделия приобретают твердость 60…63HRC. Цементируют истирающиеся детали машин: зубчатые колеса, поршневые пальцы, червяки, кулачковые валики, толкатели клапанов и др.

**Азотирование** – это насыщение поверхностного слоя азотом. При этом не только увеличивается твердость и износостойкость, но и повышается коррозионная стойкость. Азотированию подвергают многие конструкционные и инструментальные стали, но наилучший эффект получают у легированных сталей, содержащих алюминий, хром, титан и другие элементы. Это связано с образованием нитридов легирующих элементов (MoN, CrN).

Азотирование – окончательная операция при изготовлении детали, прошедшей термообработку (закалку с высоким отпуском) и имеющей структуру сорбита отпуска. Проводится азотирование при температуре 500…600°С в среде аммиака NH3 в течение длительного времени (до 60 час.). Глубина азотированного слоя составляет 0,3…0,6мм, твердость поверхностного слоя доходит до 1200HV. Азотированию подвергают цилиндры моторов и насосов, шейки валов и т.д.

**Цианирование**и**нитроцементация** стали – это процесс одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом. Цианированный слой обладает высокой твердостью и сопротивлением износу, повышается усталостная прочность и коррозионная стойкость. Совместная диффузия C и N происходят быстрее, чем диффузия каждого элемента в отдельности.

Цианирование проводят в расплаве цианистых солей NaCl, KCN, Ca(CN)2, оно бывает высокотемпературным (800…950°С) и низкотемпературным (540…560°С). Высокотемпературное (глубокое) цианирование (900…950°C, 1,5…6 часов) дает насыщение 1…1,2%С и 0,2…0,3%N на глубину 0,6…2,0 мм для сталей начально содержащих 0,2…0,4%С. После высокотемпературного цианирования следует закалка с низким отпуском. Твердость поверхности – 60HRC. Низкотемпературное цианирование проводится при температуре 540…560ºC, при этом преобладает насыщение азотом, глубина цианированного слоя составляет 0,2…0,5 мм твердость поверхности 1000HV.

Нитроцементацию, или газовое цианирование проводят в газовых смесях, содержащих 70…80% цементирующего газа и 20…30% аммиака. Состав газов и температуру определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Твердость нитроцементованных изделий 58…60HRC. Этой обработке подвергают детали сложной конфигурации, склонные к короблению.

**Диффузионная металлизация** – это насыщение поверхности стальных изделий алюминием, хромом, кремнием и др.

**Алитирование** – насыщение поверхности изделия алюминием. Проводится в твердой или жидкой среде. В твердом состоянии насыщение проводится в засыпке ферроалюминия и хлористого алюминия при 950…1000°С в течение 3…12часов.

Металлизация в жидком алюминии при 700…800°С дает тот же эффект за 1…1,5 часа. Алитированный слой имеет глубину 0,3…0,8мм, cсодержание алюминия достигает до 30%. Алитированные детали приобретают высокую жаростойкость, они могут работать при температуре до 1150°С за счет образования на поверхности детали пленки Al2O3.

**Хромирование** – насыщение поверхности хромом повышает сопротивление газовой коррозии (окалиностойкости) до 800°С и коррозионную стойкость в HNO3, морской воде и др. Хромирование проводится в жидкой среде при 950…1000°С в течение 5…20 часов, получается глубина слоя 0,2…0,3 мм, насыщенная карбидами хрома и имеющая твердость 1200…1300HV.

**Силицирование** – насыщение поверхности кремнием для повышения жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости. Детали засыпают порошком ферросилиция, нагревают до 950…1050°С, пропускают хлор в течение 2 часов и получают слой глубиной в 1 мм, содержащий кремния до 14%.

**Борирование** – насыщение поверхности бором для повышения износостойкости при абразивном износе. Температура жидкого электролизного процесса 930…950°С, длительность 2…6 часов, глубина 0,15…0,35мм, твердость 1800…2000HV. В порошкообразных смесях, содержащих кроме бора алюминий, проводят бороалитирование. После борирования детали подвергают изотермической и ТВЧ закалке для уменьшения напряжений в поверхностном слое.

**5 Термомеханическая обработка**

Термомеханическая обработка – комбинированный метод обработки, в котором сочетаются пластическая деформация и термическая обработка.

Преимуществом ТМО является то, что при существенном увеличении прочности пластичность снижается незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5 - 2 раза, чем у такой же стали после закалки с низким отпуском.

Сущность ТМО заключается в том, что перед закалкой проводят пластическую деформацию высокотемпературной фазы, в результате чего она претерпевает фазовое превращение в наклепанном или частично рекристаллизованном состоянии. В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают **высокотемпературную обработку** (ВТМО) и **низкотемпературную** (НТМО) (рисунок 6).

При ВТМО деформация осуществляется при температурах выше А3по следующей схеме: нагрев выше А3для получения однородной структуры аустенита, подстуживание, деформация на 25…30% и сразу же, чтобы не произошло рекристаллизации, закалка, а затем низкий отпуск. При ВТМО мартенситное превращение происходят в стали с деформированной структурой зерен аустенита.

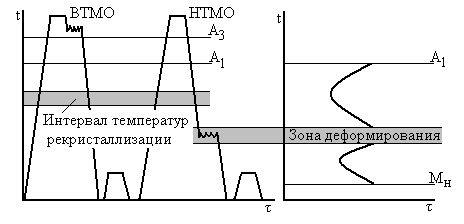


Рисунок 6 - Схемы различных вариантов термомеханической обработки

НТМО применяется к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит. При НТМО деформации подвергается переохлажденный аустенит при температурах ниже А1и температуры рекристаллизации, но выше температуры начала мартенситного превращения. Иногда НТМО называют **аусформинг**.

Закалка деформированного после ТМО аустенита образует более мелкие пластинки мартенсита.

**6 Механическое упрочнение поверхности**

Кроме рассматриваемых выше способов упрочнения поверхностного слоя применяются методы механического упрочнения. Один из них – дробеструйная обработка – упрочнение поверхности полностью обработанных изделий стальной и чугунной быстро летящей дробью, которая вызывает пластическую деформацию поверхностного слоя металла на глубину от 0,15 до 0,30 мм.

Дробеструйная обработка упрочняет детали, работающие при знакопеременной нагрузке рессоры, пружины, торсионы, валы и т. д. После дробеструйной обработки, для сглаживания мелких вмятин, цилиндрические детали подвергают обкатке специальными роликами.

**Задание:**

1. Изучите теоретический материал.
2. Контрольные вопросы:
3. Что такое чугун? Что такое сталь? Перечислите полезные и вредные примеси в сталях и чугунах.
4. Перечислите виды кристаллических решеток металлов. Приведите примеры металлов, имеющих данные кристаллические решетки.
5. Начертите диаграмму железо-цементит
6. Укажите на диаграмме линию ликвидус, линию солидус, линию образования эвтектики, линию эвтектоидного превращения.
7. Объясните, что такое нормализация стали.
8. Объясните, что такое цементация стали.

**Форма отчета.**

1. Сделать фото ответов на вопросы в тетради (можно отвечать в электронном виде)
2. **Срок выполнения задания** 20.04.2020г.
3. **Получатель отчета.** Сделанные фото (ответы в электронном виде) высылаем на электронную почту [olga\_galkina\_2021@mail.ru](mailto:olga_galkina_2021@mail.ru)

Обязательно укажите фамилию, группу, название дисциплины (Материаловедение).