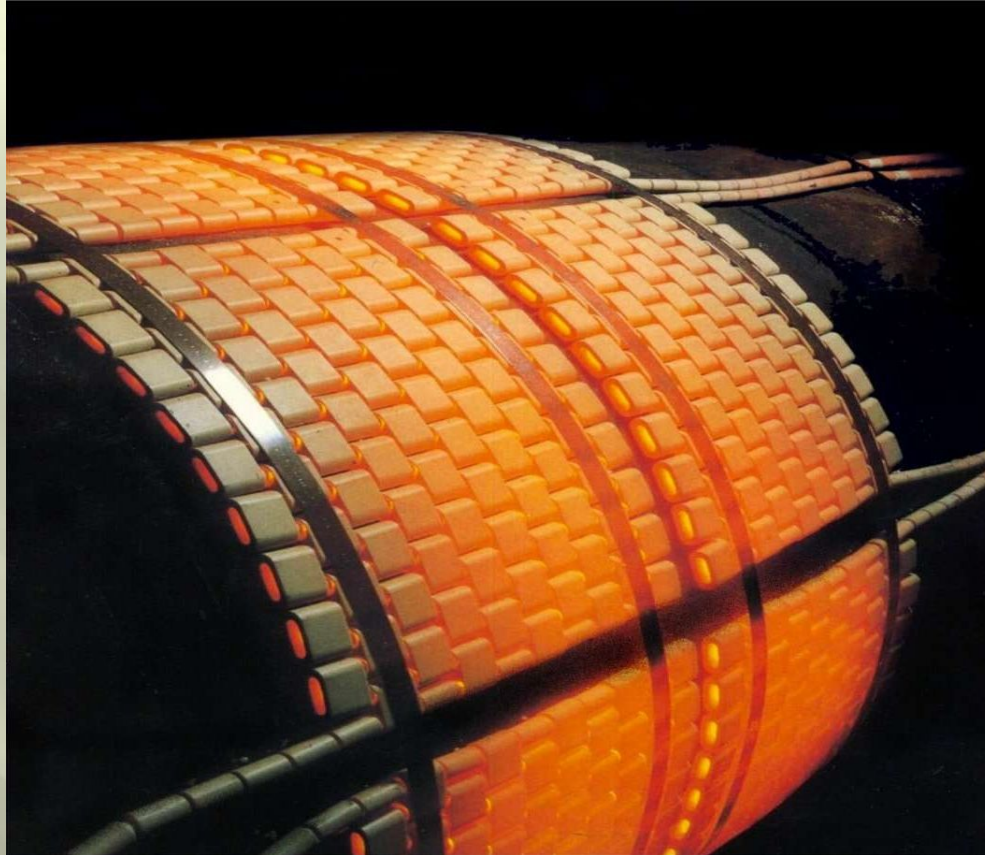


Термическая обработка



Термическая обработка металлов и сплавов производится с целью улучшения их служебных свойств.

Виды термической обработки:

- ▣ **Отжиг**
 - Диффузионный
 - Полный
 - Специальный
 - Рекристаллизационный
- ▣ **Нормализация**
- ▣ **Закалка**
 - С полиморфным превращением
 - Без полиморфного превращения
- ▣ **Отпуск**
 - Низкий
 - Средний
 - Высокий

Отжиг

Процесс отжига заключается в нагреве стальных изделий, последующей их выдержке при температуре нагрева в течение заданного времени и медленном охлаждении.

Продолжительность данных операций зависит от величины отжигаемых изделий и марки стали.

Отжиг стали применяют для устранения хрупкости и повышения вязкости металла после волочения или вальцевания; снятия внутренних напряжений в металле (например, послековки) и снижения его способности к образованию трещин при последующей обработке.



Гомогенизирующий (диффузионный) отжиг

Диффузионный отжиг применяется в основном для слитков и крупных отливок из легированной стали для выравнивания химической неоднородности и уменьшения ликвации. Отжиг осуществляется путем нагрева на $150\text{--}250^\circ\text{C}$ выше точки A_{c3} , длительной выдержки при этой температуре и последующего охлаждения с заданной скоростью.

При *диффузионном отжиге* получается крупнозернистая структура. Для получения мелкозернистой структуры после диффузионного отжига приходится производить обычный полный отжиг.

Недостаток: крупное зерно аустенита которое приводит к повышению хрупкости.

Полный отжиг

Полный отжиг производят путем нагрева стали на 30—50° С выше критической точки A_{c3} , выдержкой при этой температуре и медленным охлаждением до 400—500° С со скоростью 200° С в час углеродистых сталей, 100° С в час для низколегированных сталей и 50° С в час для высоколегированных сталей.

Структура стали после отжига равновесная, устойчивая.

Доэвтектоидная сталь имеет структуру: феррит и перлит. Эвтектоидная сталь имеет структуру перлит, а заэвтектоидная — перлит и цементит.

На конечную структуру стали оказывает большое влияние скорость охлаждения. Чем больше скорость охлаждения, тем мельче будут зерна перлита и тем меньше будет выделяться избыточного феррита или цементита.

Полному отжигу подвергают горячедеформируемую сталь — поковки, штампованные детали, прокат, а также слитки и фасонные отливки из простой и легированной стали.

Специальный (Отжиг на зернистый цементит)

Специальный отжиг проводится для инструментальных сталей с целью разрушения хрупкой цементитной сетки.

Отжиг на глобулярный (зернистый) цементит является особенно важным для заэвтектоидных сталей, в которых, кроме эвтектоидного (перлитного) цементита, имеется еще избыточный, вторичный цементит. При этом виде отжига в заэвтектоидных сталях в виде зернышек должен получаться не только тот цементит, который входит в перлит, но и избыточный цементит, так что в такой заэвтектоидной стали уже не видно никакой сетки избыточного цементита. (Отжиг осуществляется путем нагрева до 707°-747°С)

В силу естественного стремления поверхности принять минимальные размеры весь цементит (и избыточный и эвтектоидный) представляется в виде зернышек. После такого отжига заэвтектоидная сталь по микроструктуре похожа на эвтектоидную.

Механические свойства сталей (особенно заэвтектоидных) при отжиге на зернистый цементит существенно изменяются: пластичность увеличивается, а прочность и твердость снижаются. Это облегчает обработку резанием.

Однако при некоторых видах механической обработки резанием стали с зернистым цементитом чистота обрабатываемой поверхности ухудшается.

Рекристаллизационный отжиг

Рекристаллизация заключается в том, что, начиная с некоторой температуры, при нагреве происходит интенсивное перемещение атомов в металле, что влечет за собой изменение формы и величины деформированных кристаллических зерен.

(Отжиг осуществляется путем нагрева до 600°C)

В процессе рекристаллизации происходят превращения, аналогичные тем, которые происходят при первичной кристаллизации и вторичной перекристаллизации, т. е. зарождаются новые центры кристаллов и происходит одновременно их рост. Взамен вытянутых, расплюснутых зерен, образуются мелкие, сфероидальные зерна, повышаются пластические свойства, металлу возвращаются исходные свойства.

Нормализация

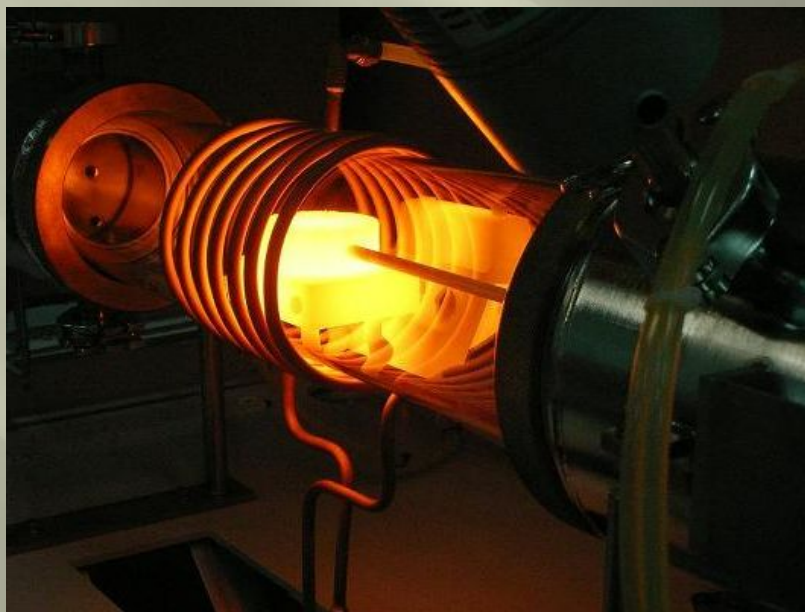
Нормализация - термообработка, при которой сталь охлаждается не в печи, как при отжиге, а на воздухе в цехе. Нагрев ведется до полной перекристаллизации (на 30-50 °C выше точек A_{c3} и A_{cm}), в результате сталь приобретает мелкозернистую, однородную структуру. Твердость, прочность стали после нормализации выше, чем после отжига.

Структура низкоуглеродистой стали после нормализации феррито-перлитная, такая же, как и после отжига, а у средне- и высокоуглеродистой стали – сорбитная; нормализация может заменить для первой – отжиг, а для второй – закалку с высоким отпуском. Часто нормализацией подготавливают сталь для закалки. Термообработку некоторых марок углеродистой, легированных сталей заканчивают нормализацией.

Закалка

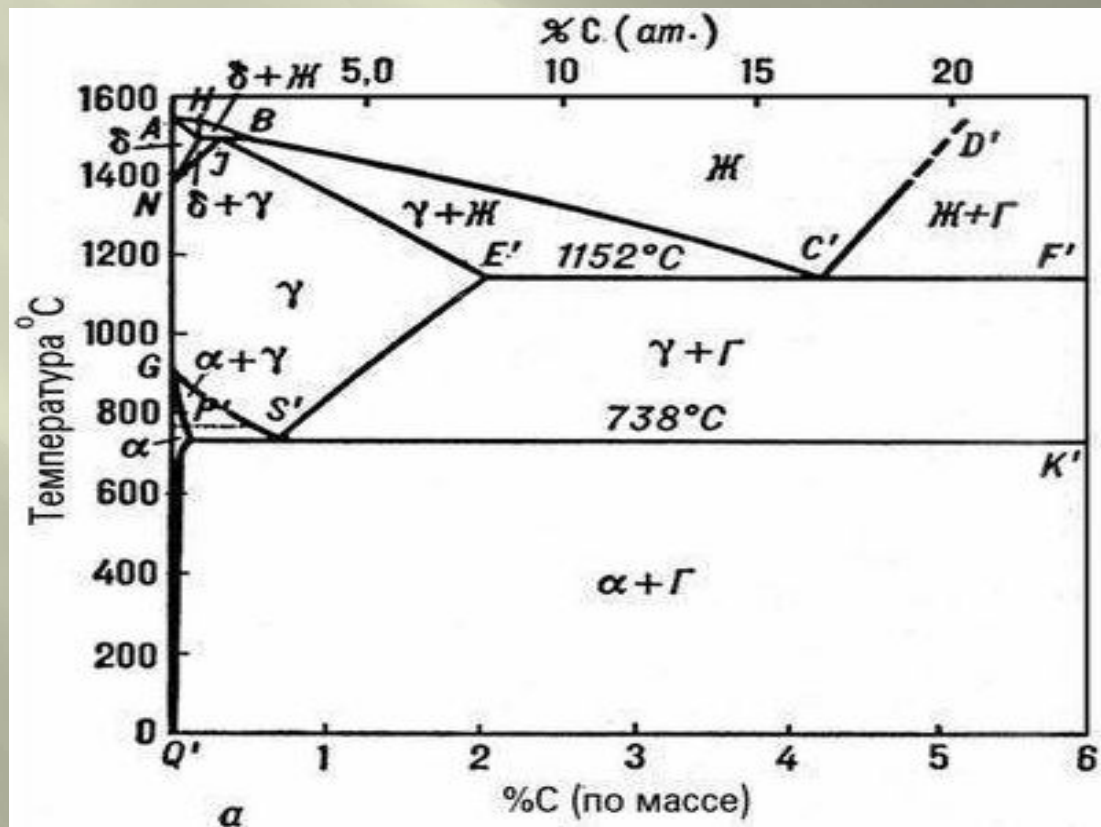
Закалка — вид термической обработки изделий из металлов и сплавов, заключающийся в их нагреве выше *критической температуры*, с последующим быстрым охлаждением, как правило, в жидкости (воде или масле).

Материал, подвергшийся закалке приобретает большую твердость, но становится хрупким, менее пластичным и вязким, если сделать большее количество повторов нагревание-охлаждение. Для снижения хрупкости и увеличения пластичности и вязкости, после закалки с полиморфным превращением применяют отпуск. После закалки без полиморфного превращения применяют старение. При отпуске имеет место некоторое снижение твердости и прочности материала.



Полная и неполная закалка

В зависимости от температуры нагрева, закалку подразделяют на полную и неполную. В случае полной закалки материал нагревают выше линии GSE, в этом случае сталь приобретает структуру аустенит. При неполной закалке производят нагрев выше линии PSK диаграммы, что приводит к образованию избыточных фаз по окончании закалки. Неполная закалка, как правило, применяется для инструментальных сталей



Способы закалки

- Закалка в одном охладителе — нагретую до определённых температур деталь погружают в закалочную жидкость, где она остаётся до полного охлаждения. Этот способ применяется при закалке несложных деталей из углеродистых и легированных сталей.
- Прерывистая закалка в двух средах — этот способ применяют при закалке высокоуглеродистых сталей. деталь сначала быстро охлаждают в быстро охлаждающей среде (например в воде), а затем в медленно охлаждающей (масло).
- Струйчатая закалка заключается в обрызгивании детали интенсивной струёй воды и обычно её применяют тогда, когда нужно закалить часть детали. При этом способе не образуется паровая рубашка, что обеспечивает более глубокую прокаливаемость, чем простая закалка в воде. Такая закалка обычно производится в индукторах на установках ТВЧ.
- Ступенчатая закалка — закалка, при которой деталь охлаждается в закалочной среде, имеющей температуру выше мартенситной точки для данной стали. При охлаждении и выдержке в этой среде закаливаемая деталь должна приобрести во всех точках сечения температуру закалочной ванны. Затем следует окончательное, обычно медленное, охлаждение, во время которого и происходит закалка, то есть превращение аустенита в мартенсит.
- Изотермическая закалка. В отличие от ступенчатой при изотермической закалке необходимо выдерживать сталь в закалочной среде столько времени, чтобы успело закончиться изотермическое превращение аустенита.

Закалка с полиморфным превращением

Этот вид закалки применяется для сплавов, в которых один из компонентов имеет полиморфные превращения.

При закалке с полиморфным превращением нагрев металла производится до температуры, при которой происходит смена типа кристаллической решетки в основном компоненте. Образование высокотемпературной полиморфной структуры сопровождается увеличением растворимости легирующих элементов. Последующее резкое охлаждение ведет к обратному изменению типа кристаллической решетки, однако из-за быстрого охлаждения в твердом растворе остается избыточное содержание атомов других компонентов, поэтому после такого охлаждения образуется неравновесная структура. В металле сохраняются внутренние напряжения. Они вызывают резкое изменение свойств, увеличивается прочность, уменьшается пластичность. При быстром охлаждении перестройка кристаллической решетки происходит за счет одновременного смещения целы групп атомов. В результате вместо обычных зерен в металле появляется игольчатая структура, которая называется мартенситом. Неравновесное состояние металла после такого типа закалки является термодинамически неустойчивым. Поэтому, чтобы перевести металл в более устойчивое состояние, получить необходимый уровень внутренних напряжений, а соответственно и необходимые механические свойства, применяют дополнительную термообработку, которую называют отжиг.

Закалка без полиморфного превращения

Применяется для сплавов, не испытывающих полиморфных превращений, но имеющих ограниченную растворимость одного компонента в другом.

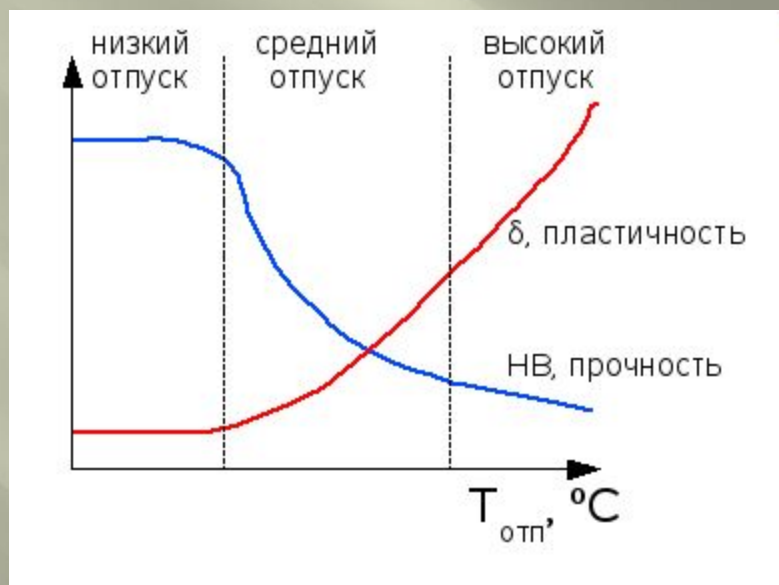
Если сплав, содержащий вторичные фазы, нагреть до температуры выше линии солидус, то увеличение растворимости приведет к растворению вторичных фаз. Если теперь такой твердый раствор быстро охладить, то выделение вторичных фаз образоваться не успеет, т.к. для этого требуется время на прохождение процесса диффузии, образование другой кристаллической решетки, границ раздела между фазами. В результате, при нормальной температуре пересыщенный метастабильный твердый раствор содержит избыток второго компонента. Такое изменение структуры изменяет свойства сплава, прочность может, как увеличиться, так и уменьшиться, а пластичность, как правило, увеличивается. Состояние металла после такой закалки является термодинамически неустойчивым. Самопроизвольно или под влиянием предварительного нагрева метастабильный твердый раствор начинает распадаться с выделением вторичной фазы. Этот процесс называется старением.

Таким образом, старение – это термообработка, которая проводится после закалки без полиморфного превращения, направленная на получение в сплаве более равновесной структуры и заданного уровня свойств.

Отпуск

Отпуск — технологический процесс, заключающийся в термической обработке закалённого на мартенсит сплава или металла, при которой основными процессами являются распад мартенсита, а также полигонизация и рекристаллизация.

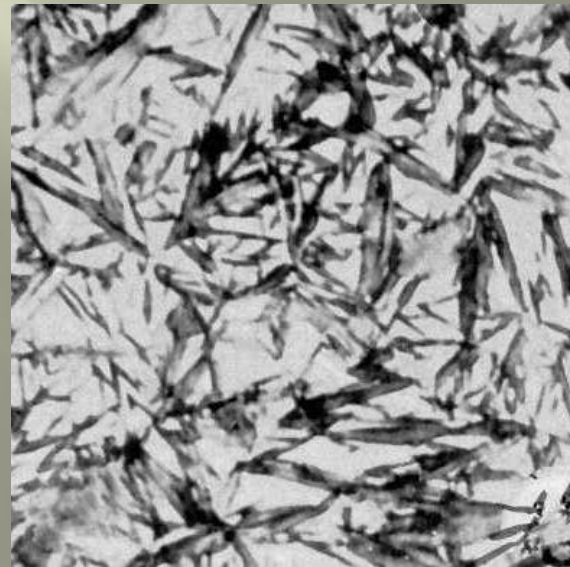
Отпуск проводят с целью получения более высокой пластичности и снижения хрупкости материала при сохранении приемлемого уровня его прочности. Для этого изделие подвергается нагреву в печи до температуры от 150°C-260°C до 370°C-650°C с последующим медленным остыванием.



Низкий отпуск

Низкий отпуск — отпуск мартенсита на низких температурах (180—250°C). Применяется после закалки для инструментальных, подшипниковых сталей, малоуглеродистых сталей после цементации для изготовления деталей и инструментов, работающих на износ, от которых требуется высокая твёрдость. Цель низкого отпуска — уменьшение остаточных закалочных напряжений. Температуру низкого отпуска выбирают такой, чтобы твёрдость и износостойкость практически не снижались. Выдержка при температуре низкого отпуска обычно превышает 1...3 часа.

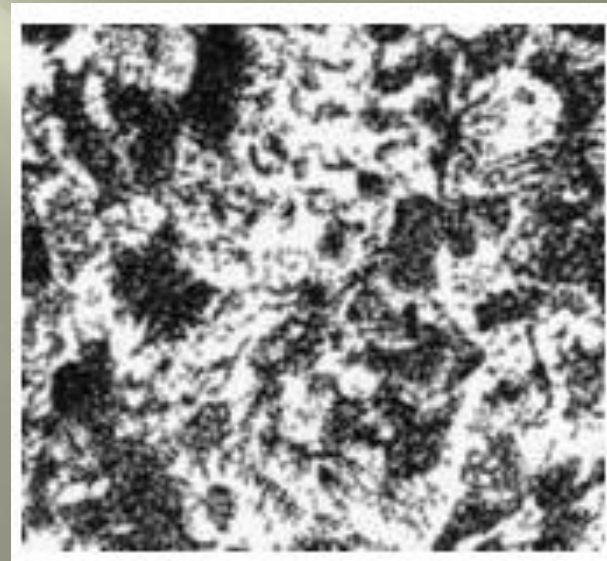
Структура мартенсита.
(60-70 HRC)



Средний отпуск

Средний отпуск - производят при температуре 300-400°C. Ускоряются диффузионные процессы, происходит выделение избыточных атомов углерода в виде цементита, т.е. мартенсит распадается на феррито-цементитную смесь. После среднего отпуска структура состоит из равновесного феррита и дисперсных включений цементита, такая структура называется зернистый троостит отпуска. HRC 40-45, высокие пределы упругости и выносливости. Обычно для пружинно-рессорных сталей.

Структура троостита.
(40-45 HRC)



Высокий отпуск

Высокий отпуск применяется для деталей, в которых необходимо сочетание высокой ударной вязкости и достаточной прочности – это детали машин, работающие с ударными и знакопеременными нагрузками. При этом образуется сорбит. Сорбит представляет собой зёрна феррита с огромным количеством точечных и округлых выделений карбидов, равномерно распределенных по объему стали. Твердость 20 –25 HRC. Высокий отпуск производят при температурах до 500°-600°С.

Структура сорбита.
(20-25 HRC)

