

Термическая обработка стали

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, имеющих целью изменение структуры и свойств стали. Основные виды термической обработки – это отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение и химико-термическая обработка поверхности. Любой режим термообработки можно представить графиком в координатах температура – время. Режим термической обработки характеризуется следующими параметрами:

- максимальная температура нагрева;
- время выдержки при заданной температуре;
- скорость нагрева до заданной температуры;
- скорость охлаждения до комнатной температуры.

Параметры термической обработки зависят от химического состава стали и конфигурации изделия.



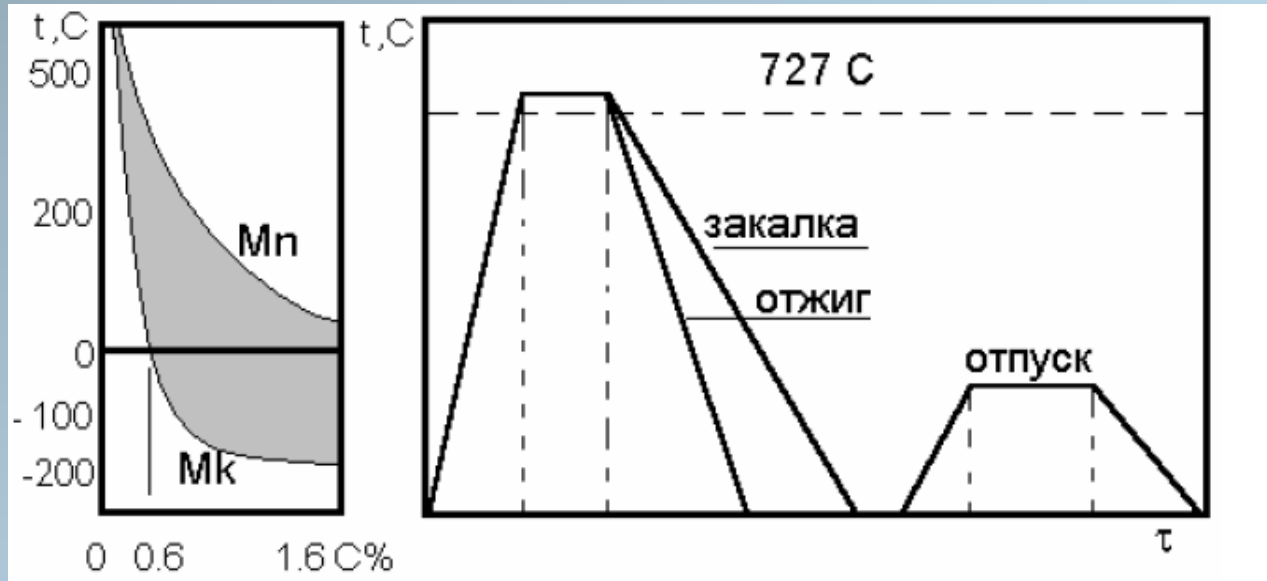
Виды термической обработки стали

Отжиг - операция нагрева стали до заданной температуры, выдержка при ней и медленное охлаждение до комнатной температуры. Цель отжига – получение равновесной структуры.

Нормализация – нагрев стали выше критической на 30-40⁰С, выдержка и охлаждение на спокойном воздухе до комнатной температуры. Цель нормализации – улучшение структуры стали.

Закалка – нагрев стали до температуры выше критической, выдержка и быстрое охлаждение. Цель закалки – получение неравновесной структуры стали.

Отпуск - нагрев и выдержка закаленной стали при относительно низких температурах. Цель отпуска – обеспечение более стабильного состояния стали.



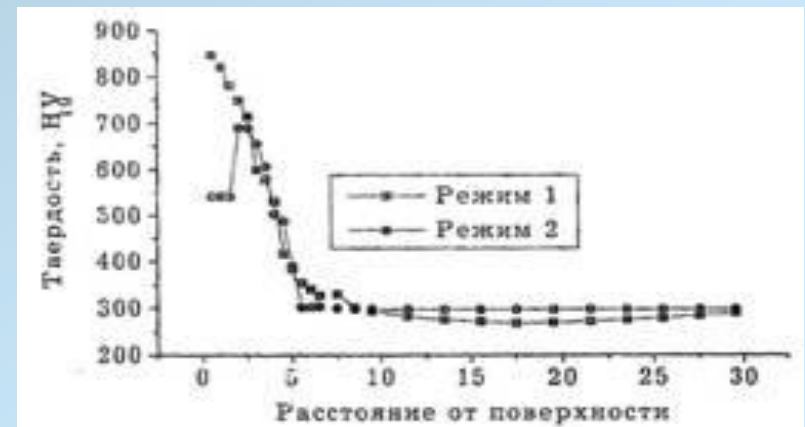
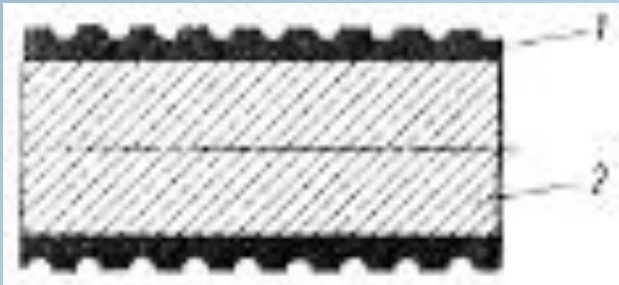
Поверхностная закалка стали

Для получения большой твердости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины применяют поверхностную закалку. Поверхностные методы закалки могут быть различными:

1. В расплавленных металлах или солях;
2. Пламенем ацетилено-кислородной горелки;
3. Лучом лазера (лазерная закалка)
4. Электротоком, инициируемым в поверхностных слоях детали – индукционная или высокочастотная закалка.

Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагреваются выше критических точек и создается резкий градиент температур по сечению. Если нагрев прервать и провести быстрое охлаждение, то слой металла, нагретый выше A_{C3} получит полную закалку, между A_{C3} и A_{C1} – неполную закалку, а ниже A_{C1} закалки не получит.

Нагрев выше A_{C3} – явление обычное при всех способах поверхностной закалки, однако это не обязательно приводит к перегреву. Это связано с кратковременной выдержкой при нагреве.



Высокочастотная закалка

Электрический ток, проходя по детали, как по проводнику, встречает сопротивление, в результате чего деталь нагревается. Количество тепла можно подсчитать по формуле:

$$Q = 0,239 \times 4,184 J^2 R \tau$$

R – сопротивление

τ - время воздействия тока

J - сила тока

Изменяя силу тока, можно получить любое количество тепла, любую температуру и скорость нагрева вплоть до оплавления поверхности детали. Это метод прямого пропускания тока через деталь.

Наиболее распространенное применение получил метод нагрева в индукторе, известный как нагрев токами высокой частоты. Представим себе проводник электрического тока в виде медной трубки, свернутой в незамкнутое кольцо. Внутри такого кольца вставили металлический стержень так, чтобы он не касался трубки.



Высокочастотная

закалка

Если теперь концы трубки включить в цепь переменного тока высокой частоты, то появится переменное магнитное поле такой же частоты. Силовые линии поля будут пронизывать стержень, благодаря чему в нем возникнет переменный ток высокой частоты. Это так называемые токи Фуко. Такой способ наведения переменного тока в проводнике без непосредственного включения его в электрическую цепь называется электромагнитной индукцией, а медная трубка – индуктором. Метод разработан в 50-е годы в СССР Вологдиным В.П. Форма индуктора должна соответствовать форме детали, при этом необходимо соблюдать постоянный зазор между трубкой и деталью. Все основные преимущества метода поверхностной высокочастотной закалки заключаются в характере распределения тока высокой частоты по сечению изделий. Основная часть (85%) индуктированного тока сосредоточена на глубине δ :

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}$$

Высокочастотная закалка

Для того, чтобы осуществить наибольшую возможную скорость нагрева, необходимо выбирать частоту тока так, чтобы глубина проникновения была равна или близка к толщине закаленного слоя. Таким образом, частота тока является важнейшим параметром при высокочастотной закалке:

Частота тока, гц

Глубина проникновения тока, мм

10^8

0,0022

10^6

0,02

10^5

0,07

10^4

0,2

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}$$

Вторым важным фактором является выбор способа закалки. В настоящее время наиболее широко применяются два способа закалки:

1. Единоновременная закалка , когда нагревается и охлаждается вся поверхность изделия.
2. Непрерывно- последовательная закалка, когда нагреву подвергается лишь небольшой участок поверхности, затем другой участок по мере продвижения изделия в индукторе. Охлаждение также производится последовательно.



Фазовые превращения при индукционном нагреве

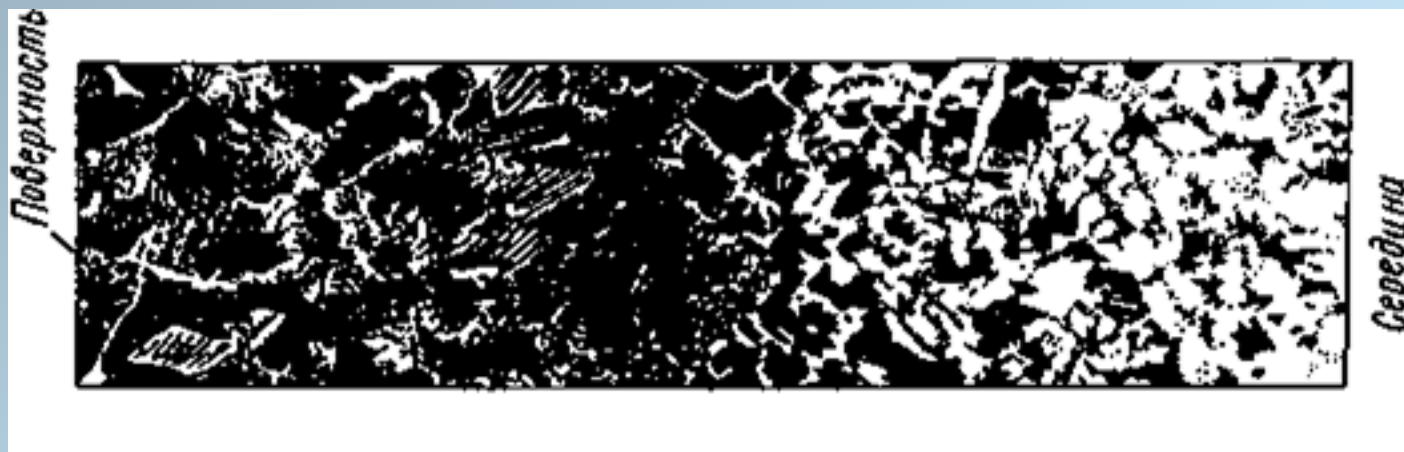
Важнейшие особенности фазовых превращений при нагреве ТВЧ:

1. Фазовые превращения протекают одновременно во всем нагреваемом слое, так что к моменту закалки температура по всему слою практически одинакова.
 - уменьшается опасность перегрева;
 - одинаковые структура и свойства во всем закаленном слое;
2. При большой скорости нагрева фазовые превращения, кинетика которых определяется рядом диффузионных процессов, смещается в область более высоких температур. Степень превышения над A_{C3} , взятой по диаграмме состояния, находится в прямой зависимости от скорости нагрева. При скорости нагрева $120^{\circ}/с$ стали с содержанием углерода 0,75% полное его растворение в аустените произойдет при $920^{\circ}C$ вместо 780 по диаграмме состояния.
3. Перлит-аустенитное превращение происходит не при одной неизменной температуре A_{C1} , а в температурном интервале, величина которого тем больше, чем выше скорость нагрева. При обычном медленном нагреве аустенит в конце превращения содержит больше углерода, чем исходный феррит. При быстром индукционном нагреве, когда подается большее количество тепла, чем это требуется для образования аустенита, металл может быть нагрет до температуры полиморфного превращения ($910^{\circ}C$) раньше, чем перлит успеет превратиться в аустенит. В этих условиях может произойти превращение феррита в малоуглеродистый аустенит. Таким образом, при индукционном нагреве появляется возможность смещения температур окончания превращения $P \rightarrow A$ в область температур, выше температуры полиморфного превращения.

Влияние термического режима высокочастотной закалки на структуру и свойства стали.

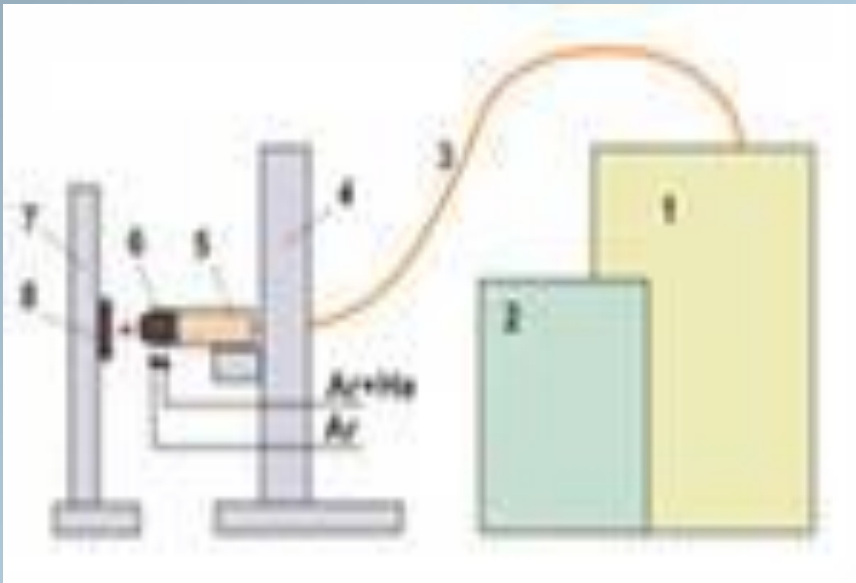
Объективные параметры индукционного нагрева стали – температура закалки и скорость нагрева в области фазовых превращений находятся экспериментальным путем индивидуально для каждого вида изделия, а затем распространяются на всю группу изделий. Общие закономерности таковы:

1. Чем крупнее элементы исходной структуры (размер зерна феррита, размер колоний перлита), тем грубее образующаяся структура.
2. Чем выше скорость нагрева, тем ниже твердость поверхности изделия после закалки.
3. Чем выше температура нагрева, тем ниже прочностные свойства стали.



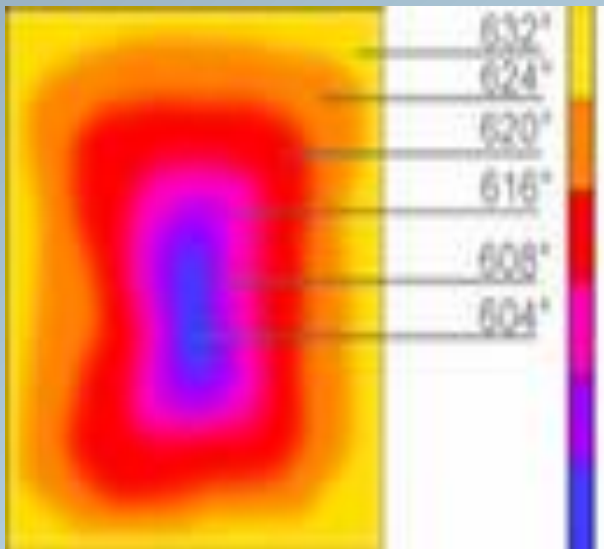
Лазерная закалка

С начала восьмидесятых годов появилась возможность использовать луч лазера для нагрева стальных образцов. По расчету при различной фокусировке луча можно было нагревать поверхность образца с такой же высокой скоростью до любых температур, вплоть до температуры плавления стали. Нагрев нижележащих слоев металла осуществлялся за счет теплопередачи с гораздо меньшей скоростью. При лазерном нагреве основная часть металлического образца остается холодной, то есть скорость охлаждения нагретого участка также очень высокая, поэтому происходит закалка на мартенсит.



Фазовые превращения при лазерной закалке

Одной из отличительных черт лазерного нагрева являлось подавление диффузионных процессов перераспределения атомов углерода в аустените в связи с кратким временем пребывания металла при высоких температурах. Механизм образования аустенита при лазерном нагреве зависит от исходной структуры стали. Поэтому при нагреве доэвтектоидных сталей с феррито-перлитной структурой образовывалась неоднородная структура, состоящая из участков высокоуглеродистого мартенсита и участков малоуглеродистого феррита. Эти два типа участков очень сильно различались по твердости. Это различие сохранялось вплоть до температур плавления, по этой причине стали с феррито-перлитной структурой не подвергаются лазерной закалке.



Фазовые превращения при лазерной закалке

При лазерном нагреве сталей с мартенситной или бейнитной структурой происходит ориентированное образование аустенита, сопровождающееся воспроизведением величины, формы и ориентации первоначальных зерен аустенита. Этот эффект структурной наследственности проявляется при лазерном нагреве более широко, чем при обычном нагреве. В связи с этим формируется более однородная структура структура стали и твердость закаленной стали практически одинакова по всей зоне воздействия лазерного пучка.

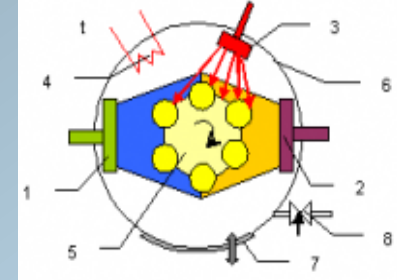


Перспективы применения лазерной закалки

Использование лазерной закалки металлических материалов в целях получения высокого уровня свойств перспективно в связи с возможностью целенаправленной организации структуры металла. Это может быть применимо к высокоскоростной кристаллизации из расплава по сравнению с традиционными металлургическими процессами. При лазерном плавлении слитка формируются дисперсные дендритные кристаллы, форма которых во много определяет качество и свойства металла. Весьма привлекательно также проведение лазерного легирования поверхности, в результате которого изменяется химический состав и структура на определенной толщине изделия. Обработка поверхностных слоев уже закаленного инструмента позволяет получить более высокую твердость поверхности с сохранением структуры и свойств остального объема изделия.



Поверхностное упрочнение стали



Повышение прочности режущего инструмента осуществляется путем формирования термостабильного покрытия толщиной 20-300 мкм, что достигается обработкой среднеэнергетической стимулированной плазмой. В зависимости от состава катода могут быть сформированы многослойные покрытия. Ионно-плазменная обработка – это разновидность химико-термической обработки поверхностного слоя инструмента, обеспечивающая диффузионное насыщение его азотом и углеродом в азото-водородной плазме при температуре 200 – 600°C.

Процесс ионного напыления

