

Термическая обработка сталей и сплавов

Лекция 9

Разработчик
к.т.н., доцент кафедры
Металлургия черных металлов ЮТИ ТПУ

Д.В. Валуев

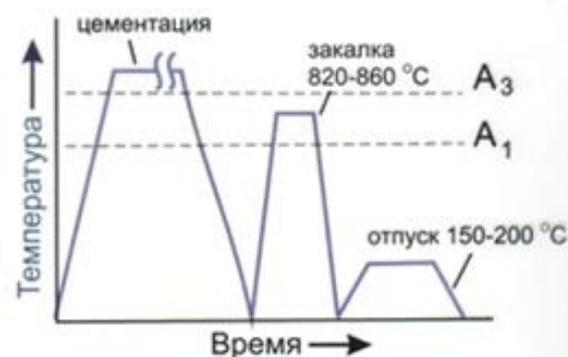
Термическая обработка цементованных изделий

Она заключается в закатке и низком отпуске. После такой термической обработки твердость поверхностного слоя детали достигает **58-62 HRC** при твердости сердцевины **25-35 HRC** и ниже.

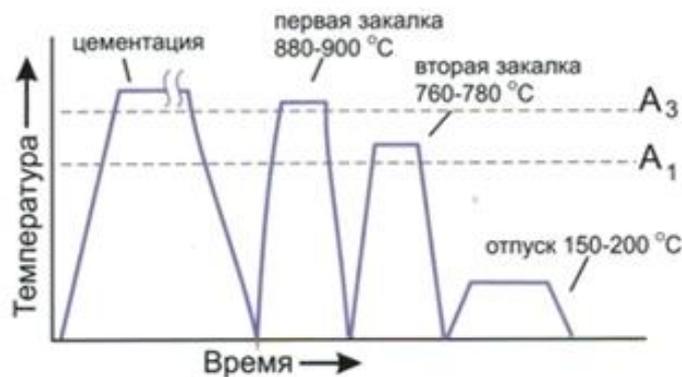
Закатка с цементационного нагрева.



Однократная закатка



Двойная закатка



Методы упрочнения металла.

Термомеханическая обработка стали

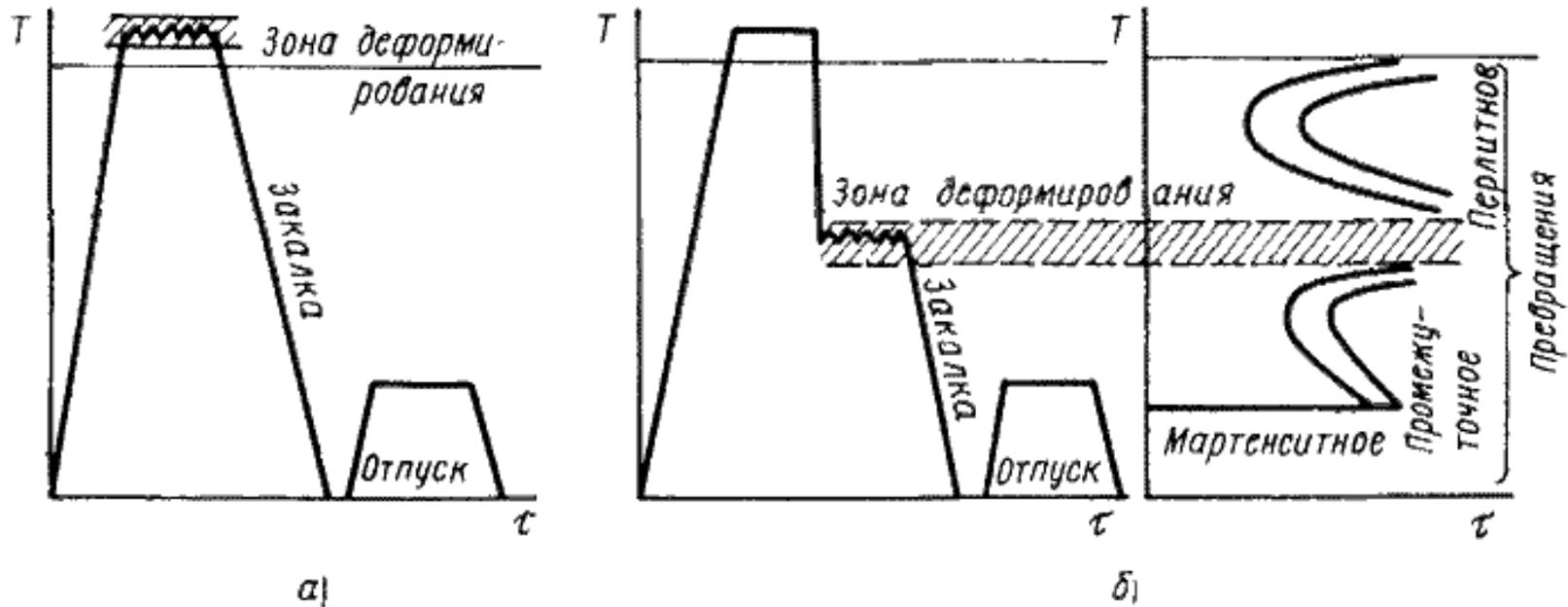


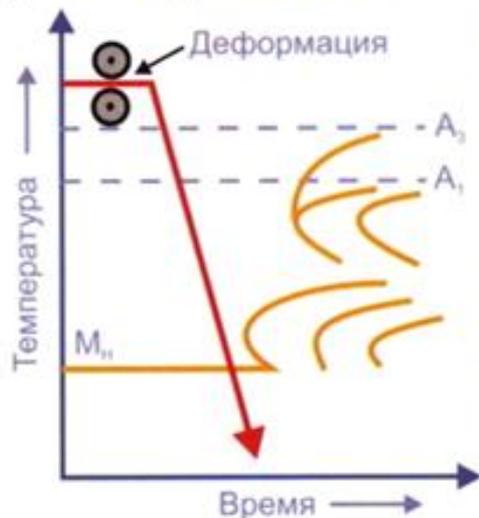
Схема режимов термомеханической обработки стали: а – высокотемпературная термомеханическая обработка (VTMO); б – низкотемпературная термомеханическая обработка (NTMO).

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.

Методы упрочнения металла.

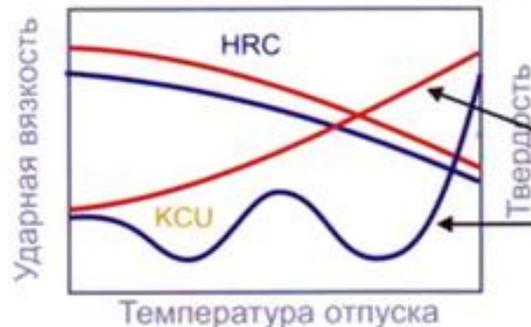
Высокотемпературная термомеханическая обработка стали (ВТМО)

ВТМО заключается в совмещении горячей деформации, осуществляемой в аустенитном состоянии, с последующей закалкой на мартенсит и окончательном отпуске. При проведении ВТМО рекристаллизация горячедеформированного аустенита должна быть исключена.



Деформацию прокаткой, ковкой, или штамповкой проводят при $850-950^{\circ}\text{C}$ с обжатиями 20-40%. ВТМО повышает пределы текучести и прочности на 150-250 МПа, циклическую прочность на 10-25%. Одновременно могут расти пластичность, ударная вязкость, сопротивление хрупкому разрушению

ВТМО является эффективным методом ослабления интеркристаллитных видов хрупкости сталей



Сталь 37ХН3А

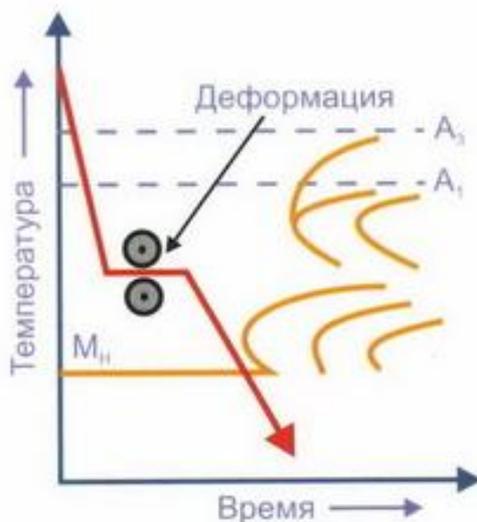
Аустенизация при 1000°C , отпуск длительностью 1 час.

ВТМО с деформацией при 900°C на 20%.
Обычная термическая обработка

Методы упрочнения металла.

Низкотемпературная термомеханическая обработка стали (НТМО)

НТМО заключается в совмещении интенсивной пластической деформации переохлажденного аустенита в температурном интервале его высокой устойчивости, с последующей закалкой на мартенсит и отпуском.



Деформацию прокаткой, экструзией или волочением проводят при 600-400°С с обжатиями 70-95%.

Для легированных сталей НТМО позволяет получить высокий уровень прочностных свойств.

Свойства сталей после отпуска при 220°С

Марка стали	Обработка	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
37ХН3А	Обычная термообработка	1300	1900	6
	НТМО с деформацией при 525°С на 70% прокаткой	2600	2800	5
40ХН5С	Обычная термообработка	1300	1900	—
	НТМО с деформацией при 525°С на 70% прокаткой	2600	3300	6

Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

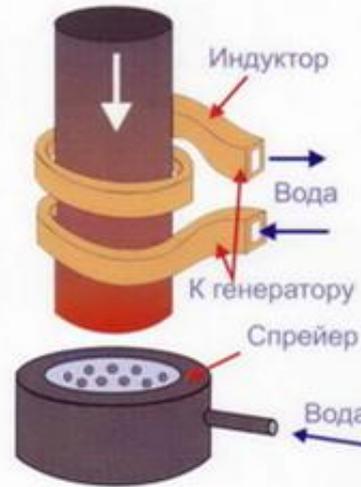
Поверхностная закалка



Лазерная закалка



Закалка с нагревом ТВЧ



Сталь 20

Преимущества метода:

большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;

более высокие механические свойства;

отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;

снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;

возможность автоматизации процесса;

использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;

позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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.



Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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. Перлитно-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.

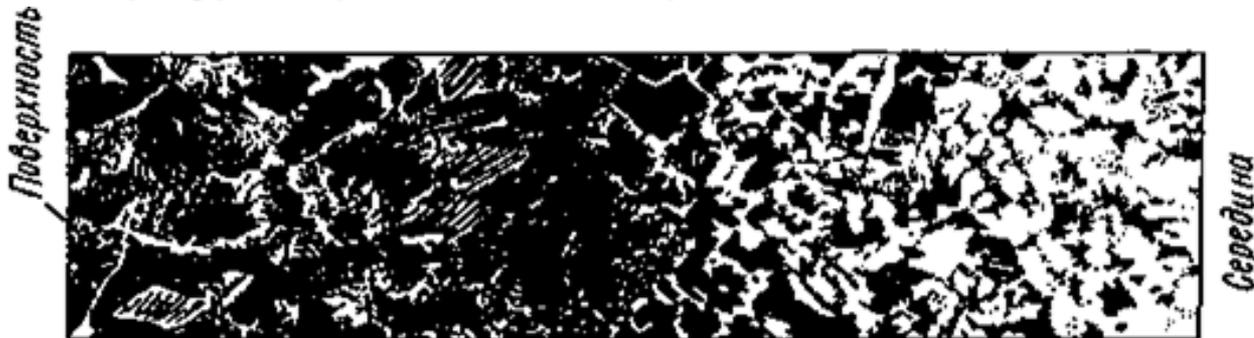
Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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.

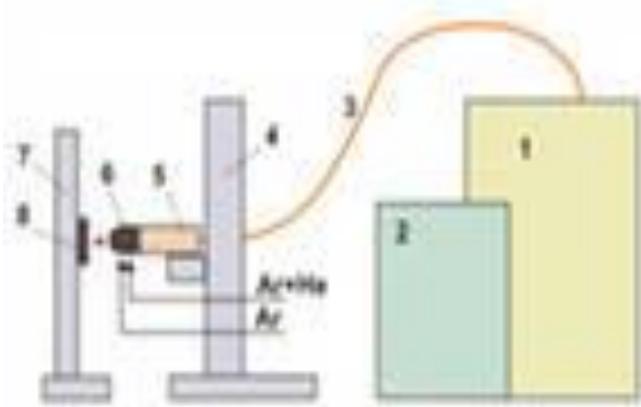


Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

· 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.

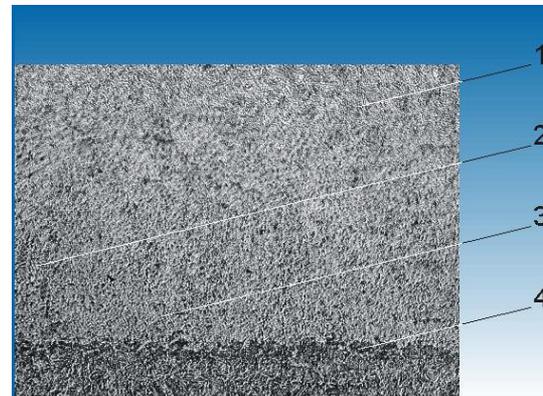
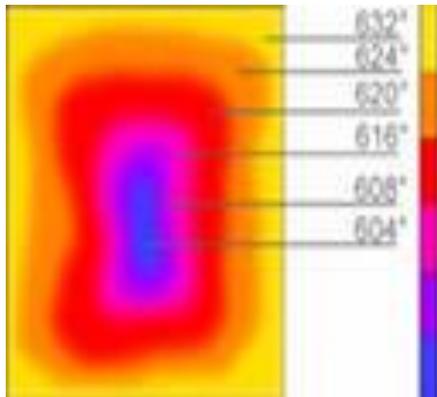


Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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.



Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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 стали и твердость закаленной стали практически одинакова по всей зоне воздействия лазерного пучка.

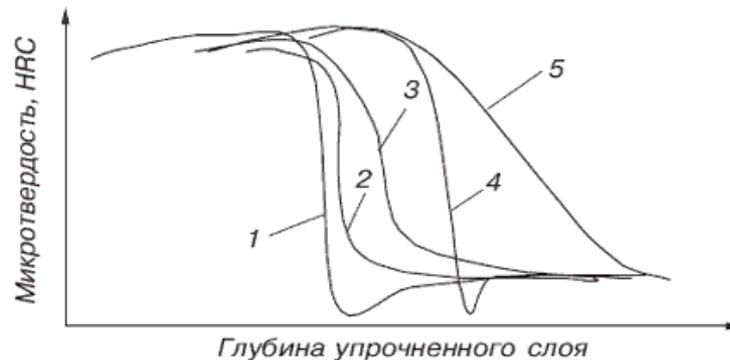


Схема изменения микротвердости сталей по глубине зоны лазерного воздействия при обработке в эгалитарных режимах:

1 — У10А; 2 — У10АГ; 3 — 9ХФМ; 4 — 8Н1А; 5 — 7Н2МФА

Методы упрочнения металла.

Поверхностное упрочнение стальных деталей

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.



Методы упрочнения металла.

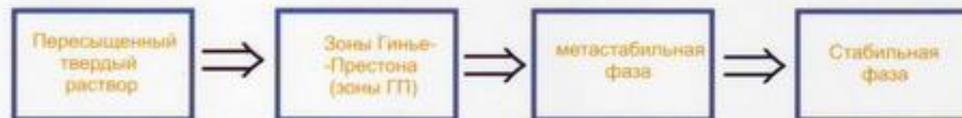
Старение

Старение сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии

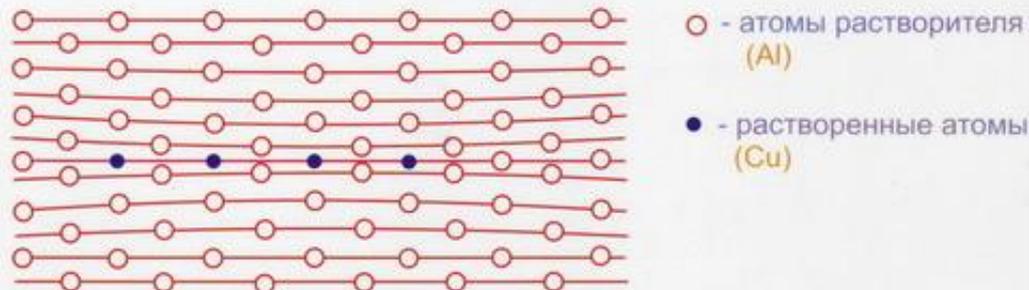
Старением называется операция термообработки, при которой происходит распад пересыщенного твердого раствора.

Старение, проводимое при повышенных температурах, называется *искусственным*, а при комнатной температуре - *естественным*.

Стадии распада пересыщенного твердого раствора при старении



Модель зоны Гинье-Престона в сплавах системы Al - Cu



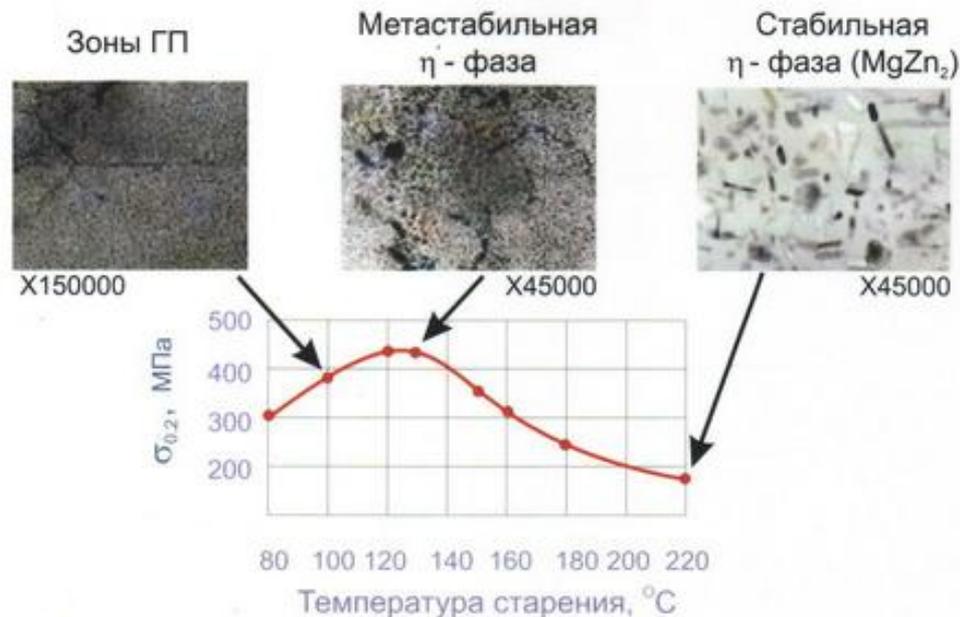
Методы упрочнения металла.

Старение

Изменение механических свойств при старении

Упрочнение закаленного сплава при старении называется *дисперсионным твердением*.

Сплав системы Al-Zn-Mg (старение 12 ч.)



Наибольшее упрочнение стареющих сплавов достигается на стадии образования зон ГП и метастабильных фаз. Происходящее вслед за упрочнением понижение прочности при старении называется *перестариванием*. Оно связано с образованием стабильных фаз и коагуляцией выделений.

Коагуляция (коалесценция) - процесс роста более крупных частиц за счет растворения более мелких.

Методы упрочнения металла.

Пластическая деформация

Основное назначение методов механического упрочнения поверхности – повышение усталостной прочности.

Методы механического упрочнения – наклепывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм.

Разновидностями являются дробеструйная обработка и обработка роликами.

Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей.

Осуществляется с помощью специальных дробеструйных установок, выбрасывающих стальную или чугунную дробь на поверхность обрабатываемых деталей. Диаметр дроби – 0,2...4 мм. Удары дроби вызывают пластическую деформацию на глубину 0,2...0,4 мм.

Применяют для упрочнения деталей в канавках, на выступах. Подвергают изделия типа пружин, рессор, звенья цепей, гусениц, гильзы, поршни, зубчатые колеса.

При *обработке роликами* деформация осуществляется давлением ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия.

При усилиях на ролик, превышающих предел текучести обрабатываемого материала, происходит наклеп на нужную глубину. Обработка улучшает микрогеометрию. Создание остаточных напряжений сжатия повышает предел усталости и долговечность изделия.

Обкатка роликами применяется при обработке шеек валов, проволоки, при калибровке труб, прутков.

Не требуется специальное оборудование, можно использовать токарные или строгальные станки.

Спасибо за внимание