

Термическая обработка

Термообработка – совокупность операций нагрева, изотермической выдержки и охлаждения с определенной скоростью твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры.

по цели:

```
graph TD; A[по цели:] --- B[разупрочняющая]; A --- C[стабилизирующая]; A --- D[упрочняющая];
```

разупрочняющая
я

стабилизирующая
я

упрочняющая
ая

Сравнительный анализ видов термообработки

	Разупрочняющая	Упрочняющая	Стабилизирующая
цель	Технологические свойства: снижение твердости и прочности для лучшей обрабатываемости резанием, давлением	Эксплуатационные свойства: повышение твердости и прочности	Стабилизация структуры = стабилизация формы и размеров детали



Превращения в стали при нагреве

Обозначение		Превращение	Где находится
нагрев	охлаждение		
A_{c1}	A_{r1}	[П -> А] [перлит - > аустенит]	На линии PSK, $T = \text{const} = 727 \text{ } ^\circ\text{C}$
A_{c3}	A_{r3}	Заканчивается превращение [Ф -> А] [феррит- > аустенит]	На линии GS
A_{cm}	A_{rm}	Заканчивается растворение [Ц -> А] [цементит > аустенит]	На линии SE

Превращения, т.е. изменение структуры (фазового состава), происходят при нагреве сплавов до критических точек – температур фазовых превращений

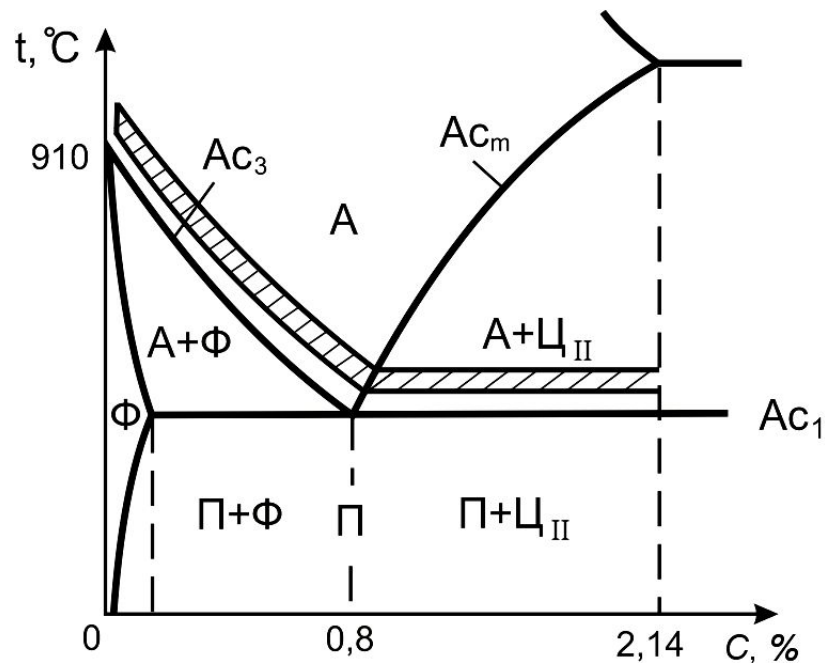
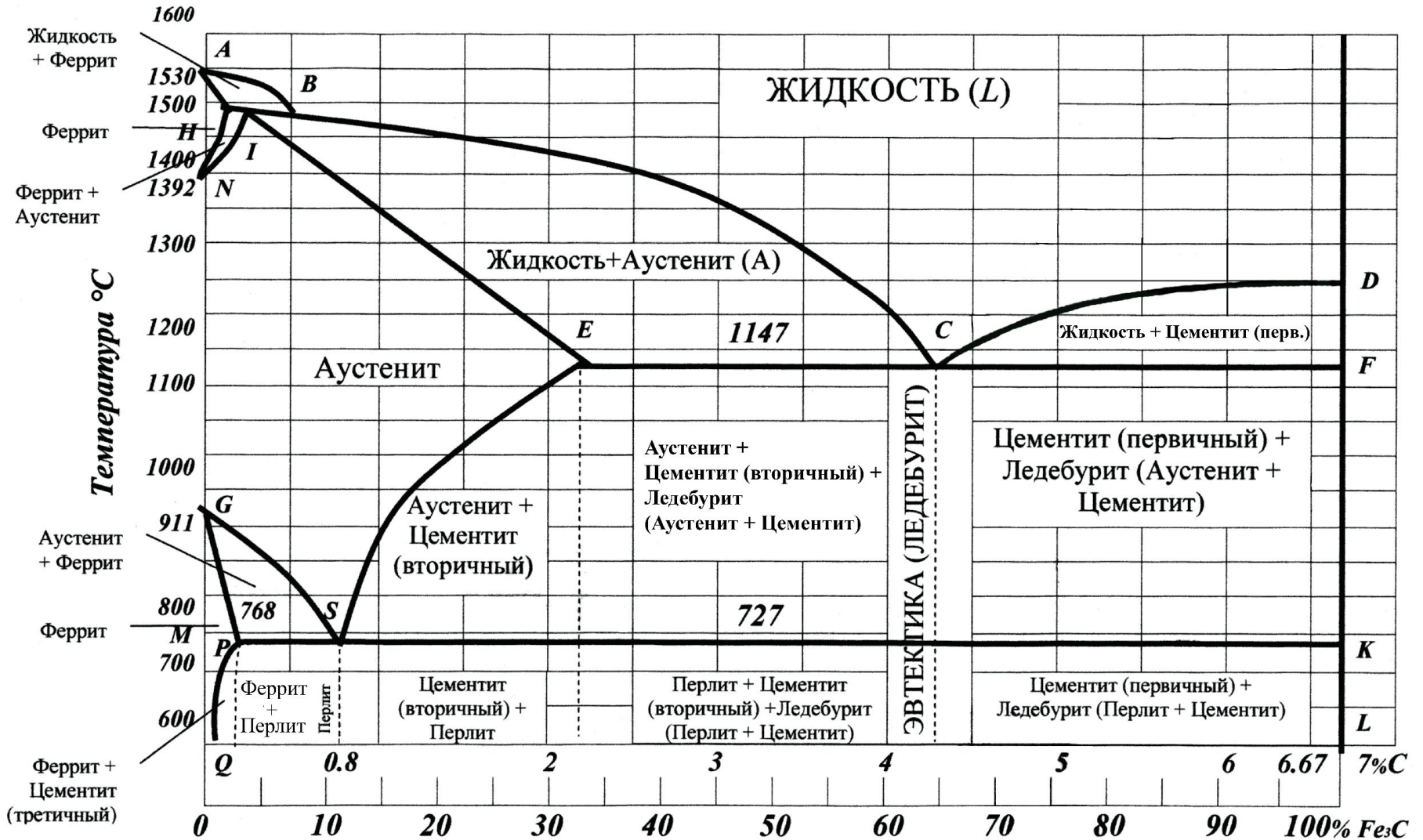


Диаграмма железо - цементит



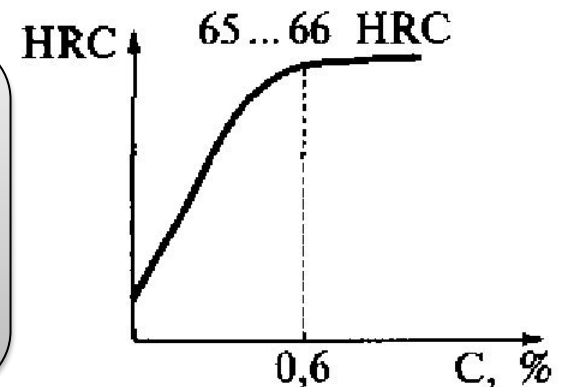
Зависимости характеристик от структуры вещества

Эксплуатационные свойства стали определяются размером зерна. Крупное зерно в стали не влияет на твёрдость, но снижает прочность и ударную вязкость.

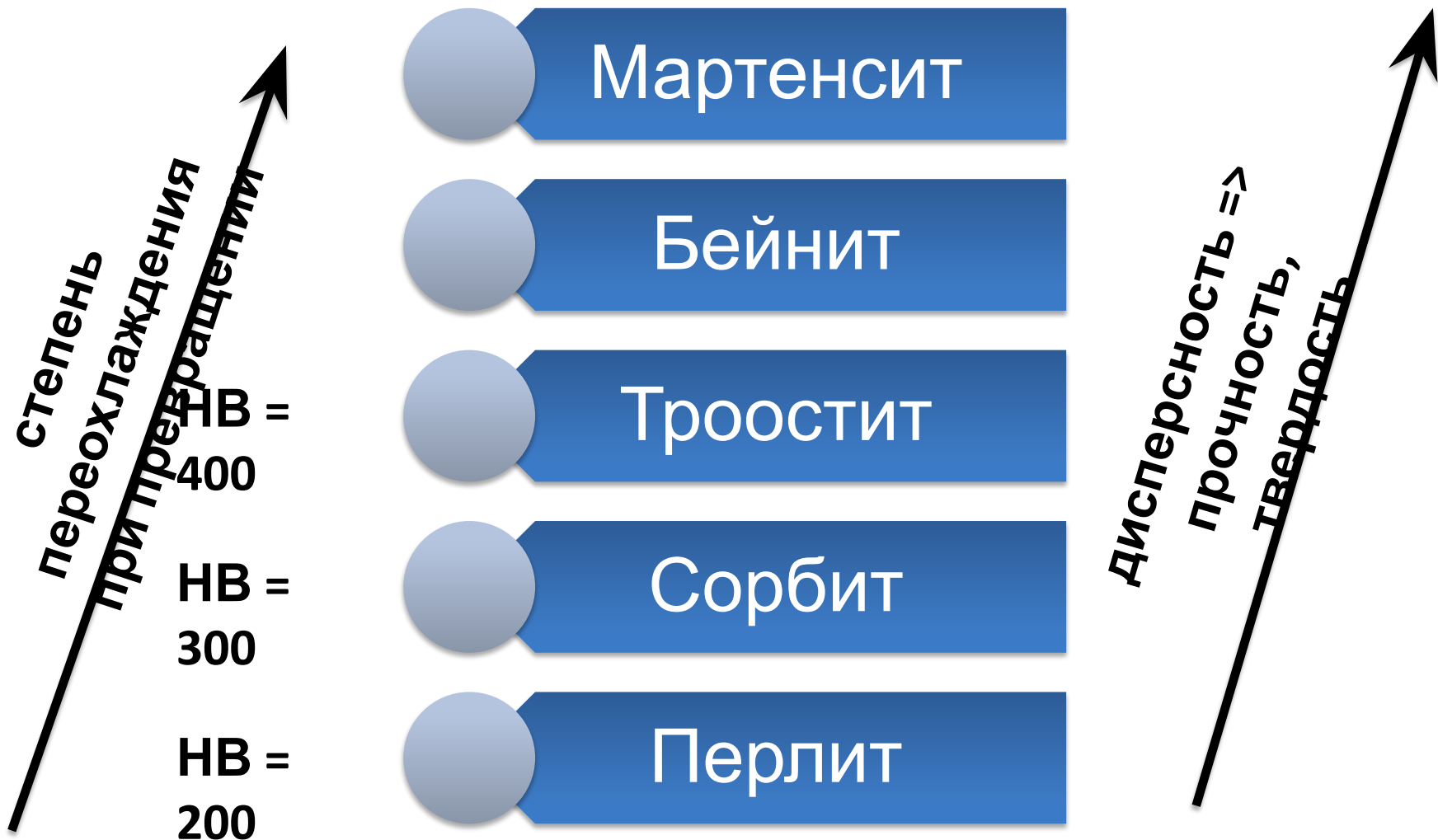


Перлит, сорбит, троостит – ферритно-цементитные смеси различной дисперсности.

Мартенсит имеет высокую твердость, которая повышается с увеличением содержания углерода (см.рисунок справа)



Перлит, сорбит, троостит – ферритно-цементитные смеси. Но в чем разница?

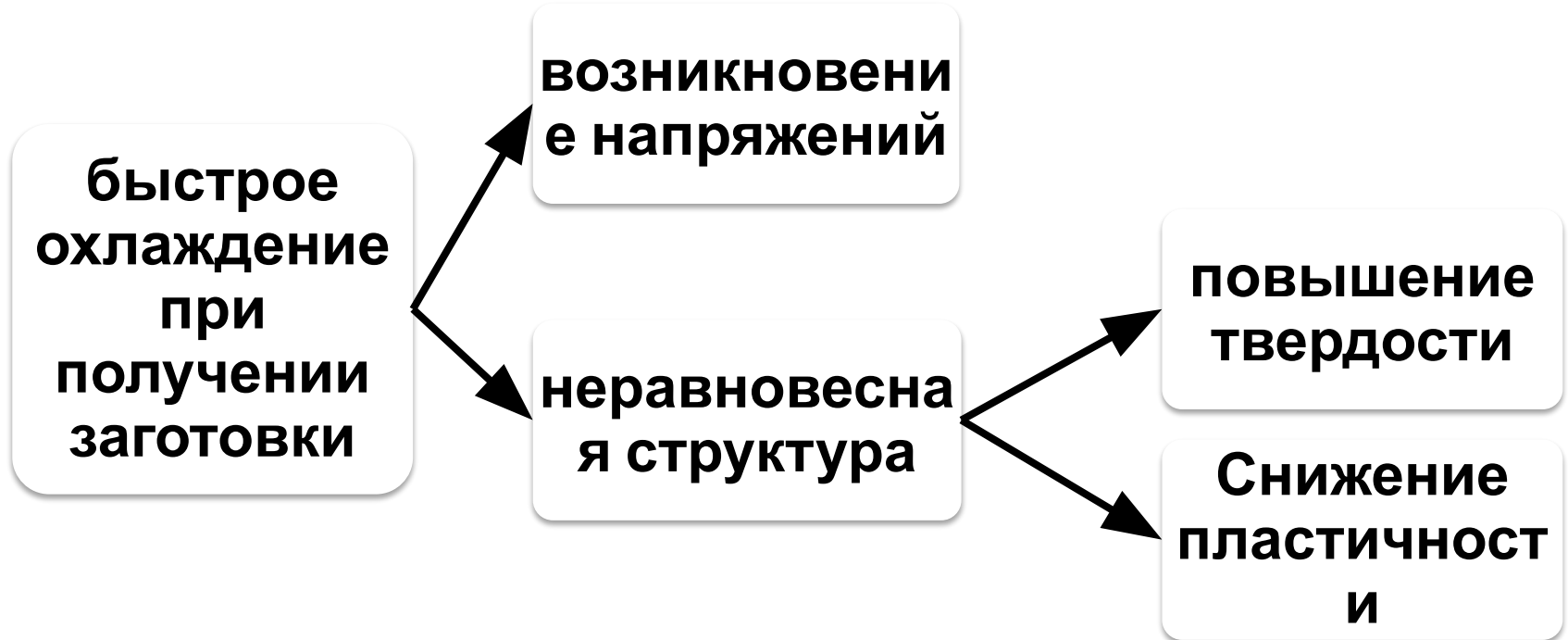


Перлит образуется при температуре близкой к 727°C

Отжиг. Нормализация

Цели:

- ✓ разупрочнение металла,
- ✓ исправление дефектов структуры,
- ✓ устранение остаточных напряжений.



Отжиг. Нормализация

Случаи применения:

- ✓ предварительная технологическая операция:
разупрочнение штамповок, литых, сварных и кованых деталей перед мех. обработкой;
- ✓ промежуточная операция:
если предшествующая обработка вызвала изменение структуры и свойств (наклёп) или появление напряжений (после шлифования);
- ✓ окончательная термическая обработка:
завершающая стадия изготовления стали в металлургии для адаптации к дальнейшей обработке.

Отжиг 1-го рода	Отжиг 2-го рода
Фазовые превращения (перекристаллизация) не происходят или же не оказывают влияния на конечные результаты	Протекают фазовые превращения при нагреве и охлаждении, существенно влияющие на структуру металла

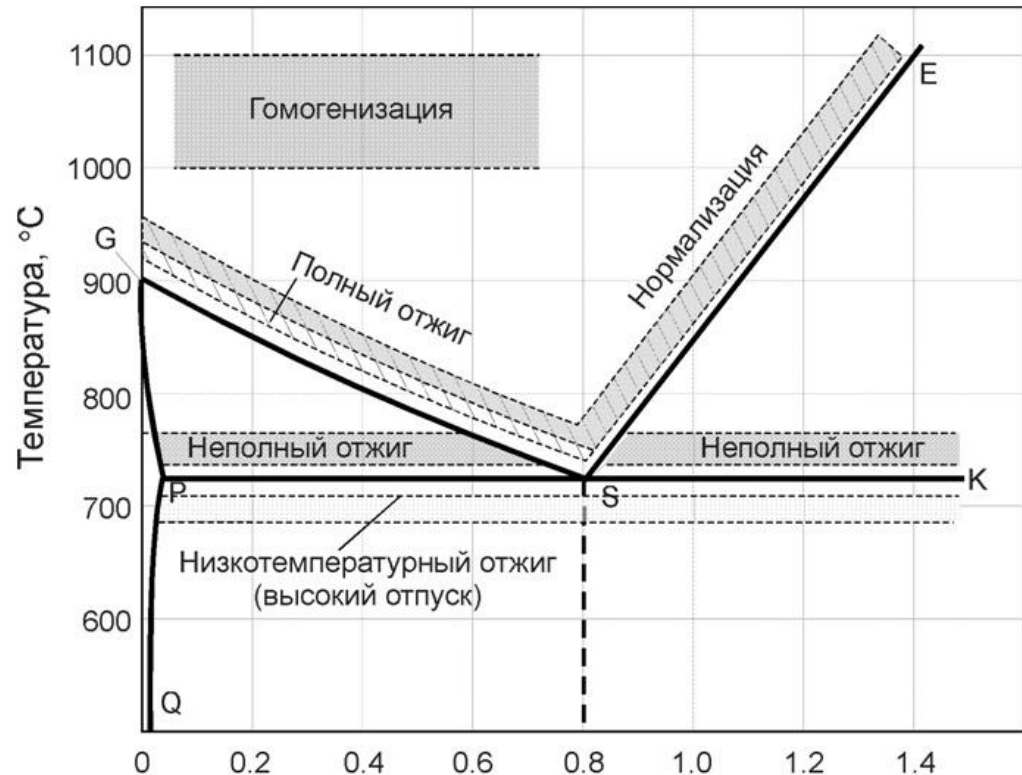


Рисунок —
Температуры отжига и
нормализации

Полный отжиг

Для чего применяется ?	Для доэвтектоидных сталей
Как происходит?	1) Нагрев выше A_{c3} на 30...50 °С со скоростью около 100 °С/ч, что приводит к полной перекристаллизации 1) Изотермическая выдержка (время зависит от массы) 2) Медленное охлаждение
Цель	<ul style="list-style-type: none">• Устранение дефектов структуры, возникших при предшествующей обработке (литье, ковке);• Разупрочнение перед обработкой резанием (снижение твердости и прочности);• Снятие остаточных напряжений;

Неполный отжиг

<p>Для чего применяется ?</p>	<ul style="list-style-type: none">• Для доэвтектоидных сталей в том случае, если зерно не крупное (в противном случае нужен полный отжиг);• Для заэвтектоидных сталей для получения зернистого перлита(они менее склонны к перегреву, образованию трещин и деформации при закалке, лучше обрабатываются резанием).
<p>Как происходит?</p>	<ol style="list-style-type: none">1) Нагрев выше A_{c1} (частичная перекристаллизация – только феррит в составе перлита) ;2) Медленное охлаждение
<p>Цель</p>	<ul style="list-style-type: none">• Разупрочнение перед обработкой резанием (снижение твердости и прочности);• Снятие остаточных напряжений;

Изотермический отжиг

Для чего применяется ?	Для легированных сталей
Как происходит?	<ol style="list-style-type: none">1) Нагрев выше A_{c1};2) Быстрое охлаждение (перенос в другую печь) до t ниже A_{c1} на $50 \dots 100^\circ\text{C}$;3) Изотермическая выдержка до полного распада аустенита;4) Охлаждение на воздухе.
Цель	<ul style="list-style-type: none">• Сокращение времени термообработки;• Разупрочнение перед обработкой резанием;• Снятие остаточных напряжений;

Нормализация

Для чего применяется ?	Для всех сталей (происходит перекристаллизация стали, устраняющая крупнозернистую структуру).
Как происходит?	<ol style="list-style-type: none">1) Нагрев доэвтектоидных (заэвтектоидных) сталей выше A_{c3} (A_{cm}) на 50...60°C;2) Изотермическая выдержка;3) Охлаждение на воздухе (быстрое охлаждение повышает дисперсность, а значит и прочность).
Цель	<ul style="list-style-type: none">• Низкоуглеродистые стали подвергаются нормализации вместо отжига;• Среднеуглеродистые стали подвергаются нормализации вместо закалки и высокого отпуска (мех.хар-ки будут хуже, но зато меньше деформация);

Возможные проблемы отжига и нормализации

Ошибка	Последствие
Быстрый нагрев	•Образование трещин вследствие неравномерного нагрева
Перегрев	•Образование крупнозернистой структуры => снижение прочности
Пережог (неустранимый брак)	•Образование крупнозернистой структуры => снижение прочности •Появление окислов по границе зерна => возникновение межкристаллитной коррозии
Недогрев	•Сохранение и возникновение новых внутренних напряжений
Обезуглероживание	•Выгорание углерода в поверхностном слое => снижение прочности
Контакт с окружающей средой (с кислородом)	•Появление окалины и окислов => межкристаллитная коррозия

Закалка

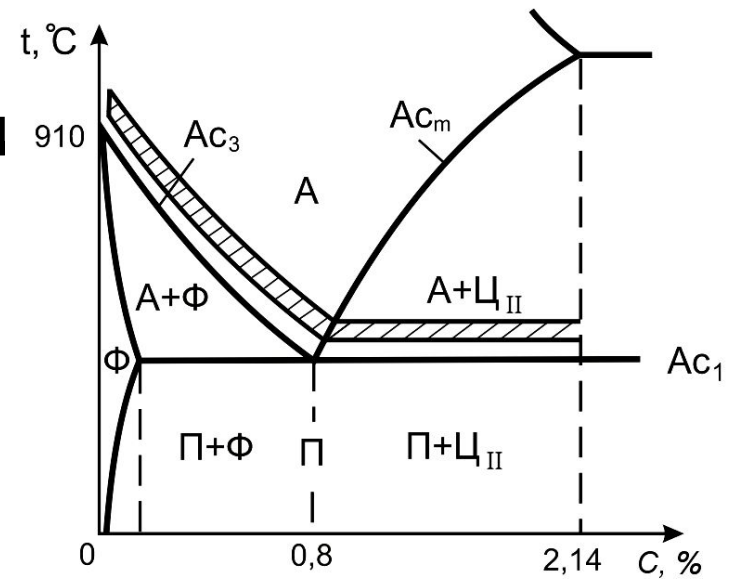
Цели:

- ✓ упрочнение (повышение твердости, прочности за счет получения структуры мартенсита)

Случаи применения:

- ✓ промежуточная операция (после закалки проводится отпуск)

Закалка. Алгоритм выполнения



1. Нагрев до T :

Доэвтектоидные стали	Заэвтектоидные стали
выше A_{c3} на $30...50 ^\circ\text{C}$ (полная закалка)	Применяется только неполная закалка: выше A_{c1} на $50...70 ^\circ\text{C}$
между $A_{c1} \dots A_{c3}$ (неполная закалка)	

2. Изотермическая выдержка при набранной $T, ^\circ\text{C}$;

! Быстрое охлаждение в случае доэвтектоидных сталей при неполной закалке остается феррит, обладающий низкой твердостью, поэтому нет особого смысла в такой закалке.

Обработка холодом

Цели:

- Повышение твердости за счет устранения остаточного аустенита;
- Стабилизация размеров особо точных деталей, для которых изменение размеров во времени недопустимо (калибры, кольца шарикоподшипников...)

Сущность:

Сталь **сразу после закалки** охлаждают до отрицательных температур.

Закаливаемость и прокаливаемость

Закаливаемость характеризует твердость закаленной стали и измеряется в единицах твердости.

Закаливаемость зависит от содержания углерода в стали: чем больше углерода, тем выше твердость. Легирующие элементы на закаливаемость влияют слабо.

Содержание углерода	менее 0,3 % (Сталь 10, 15, 20, 25)	0,3...0,6 %	более 0,6...0,8 % (Сталь 40, 40X, ХВГ, 45, Х12МФ)
Закаливаемость	«не принимают» закалку => закалка не производится	Средняя закаливаемость	Высокая закаливаемость
Твердость	Менее 40 НRC	40...60 НRC	65...66 НRC

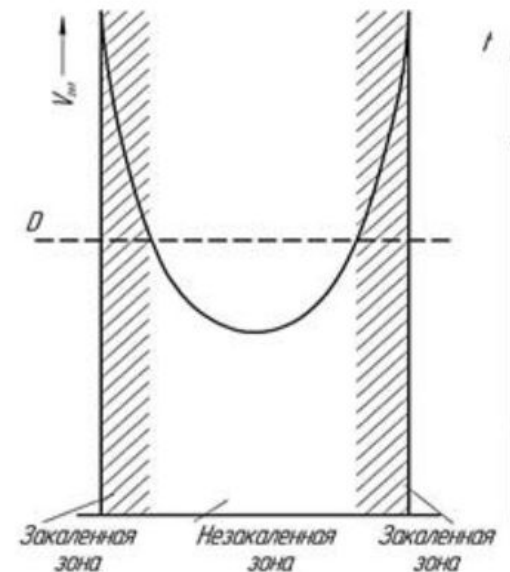
Закаливаемость и прокаливаемость

Прокаливаемость – способность стали получать при закалке мартенситную структуру и высокую твердость на определенную глубину.

Прокаливаемость – это способность стали получать закаленный слой определенной глубины.

Прокаливаемость – это расстояние от поверхности до того места, где в структуре наблюдается 50% мартенсита и 50% троостита (полумартенситная зона).

Скорость охлаждения уменьшается от поверхности детали к центру. В случае большой толщины детали на мартенсит закалится только поверхностный слой детали, а сердцевина будет незакаленной, с мягкой феррито-перлитной структурой.



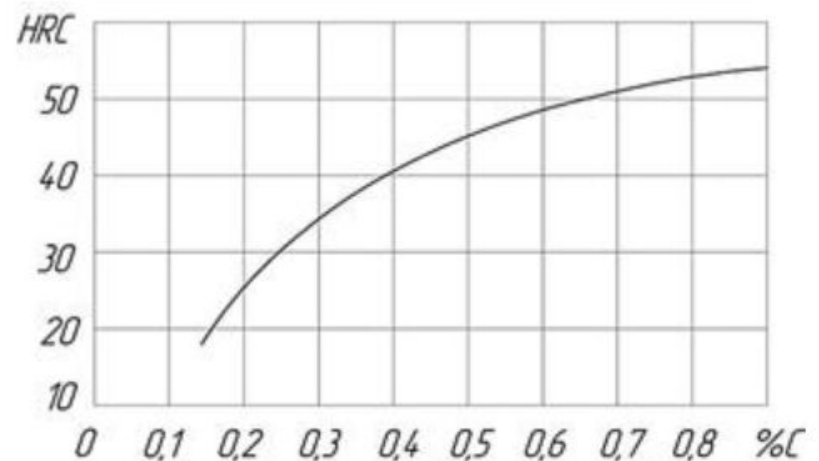
Закаливаемость и прокаливаемость

Прокаливаемость выражается в мм. С увеличением содержания углерода и легирующих элементов, критическая скорость заковки уменьшается, и глубина прокаливаемости увеличивается.

Критический диаметр – это максимальный диаметр цилиндрического прутка, который прокаливается насквозь в конкретной охлаждающей среде.

Углеродистая сталь при охлаждении в воде имеет критический диаметр всего 10-15 мм. Легированные стали могут прокаливаться в сечении до 250-300 мм при заковке в масле. Чем больше размер заготовки, тем более быть применена.

Рисунок – Зависимость твердости полумартенситной зоны углеродистой стали от содержания углерода



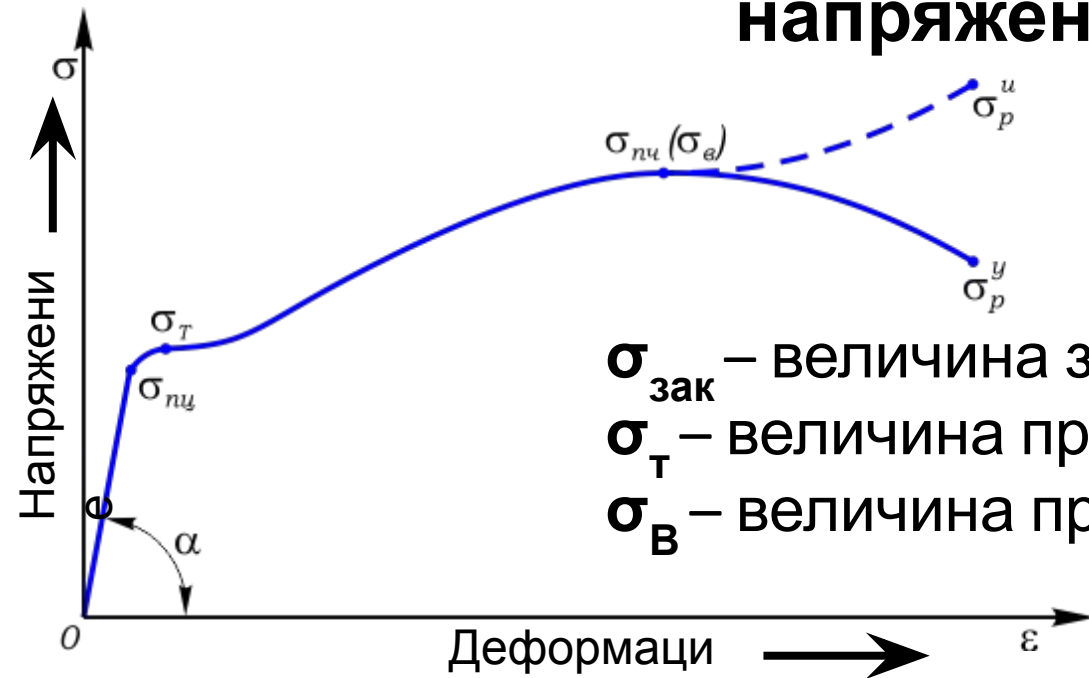
Возможные проблемы закалки

Деформация – изменение размеров детали при сохранении формы.

Коробление – изменение формы детали.

Ошибка	Последствие
Обезуглероживание	<ul style="list-style-type: none"> • Выгорание углерода с поверхности => снижение прочности
Недогрев	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Недостаточная твердость
Недостаточно интенсивное охлаждение	
Закалка деталей сложной конфигурации, деталей малой жесткости	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Возникновение остаточных закалочных напряжений => возникновение трещин / деформация / коробление
Перегрев	
Чрезмерно высокая скорость охлаждения	
<p>Легированные стали имеют более низкую критическую скорость охлаждения => возможно более медленное охлаждение в масле (иногда и на воздухе)</p>	

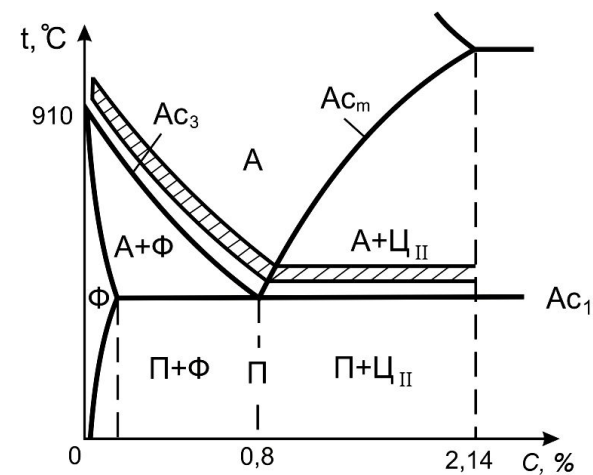
Зависимость дефектов от закалочных напряжений



- $\sigma_{\text{зак}}$ – величина закалочных напряжений
- σ_{T} – величина предела текучести
- $\sigma_{\text{В}}$ – величина предела прочности

Обозначение	Описание	Дефект
$\sigma_{\text{зак}} < \sigma_{\text{T}}$	закалочные напряжения меньше предела текучести	Деформация отсутствует
$\sigma_{\text{T}} < \sigma_{\text{зак}} < \sigma_{\text{В}}$	закалочные напряжения больше предела текучести, но меньше предела прочности	Коробление / деформация
$\sigma_{\text{зак}} > \sigma_{\text{В}}$	закалочные напряжения больше предела прочности	Трещины / полное

Отпуск и старение



Отпуск – окончательная операция термообработки.

Отпуск – стабилизирующая термообработка;

Стабилизирующий отпуск тем эффективнее, чем выше его температура.

Алгоритм:

1) Нагрев до T ниже A_{C1} (ниже $727^\circ C$);

2) Изотермическая выдержка;

3) Охлаждение (обычно на Цельвоздухе).

1) Уменьшение остаточных напряжений;

Режимы стабилизирующего отпуска	
Температура, °C	Выдержка, ч
600...650	2
500...600	2...3
400...500	3...4
300...400	4...5
130...200	8...10

Виды отпуска стали

Название	Низкотемпературный (низкий)	Среднетемпературный (средний)	Высокотемпературный (высокий)
Температура, °С	150...250	350...500	500...600
Характеристика	Сохранение высокой твердости	улучшение пластичности, ударной вязкости, предела упругости (до max); снижение твердости до 40...48 HRC,	Существенное снижение твердости (до 300 НВ), повышение пластичности и ударной вязкости.
Для чего применяется	Инструменты и детали, работающие в условиях изнашивания: режущие и мерительные инструменты, штампы холодного деформирования	Рессоры, пружины, упругие элементы, слесарно – монтажный инструмент	Детали, эксплуатируемые в условиях высоких напряжений в сочетании с ударными нагрузками

Отпуск и старение

Закалка + высокий отпуск = **улучшение**

Старение – тот же отпуск в случае окончательной термической обработки сплавов после закалки без полиморфного превращения.

По сравнению с отжигом улучшение обеспечивает более высокие показатели механических характеристик (прочность, твердость, пластичность, ударная вязкость);

Вопросы:

Какой вид термообработки применяется для стабилизации размеров особо точных деталей? (Обработка холодом)

Какую из операций ТО следует осуществить, чтобы гарантировать правильность и неизменность во времени размеров калибра, применяемого для контроля размеров изделия? (обработка холодом)