

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:

**разупрочняюща
я**

**стабилизирующа
я**

**упрочняющ
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

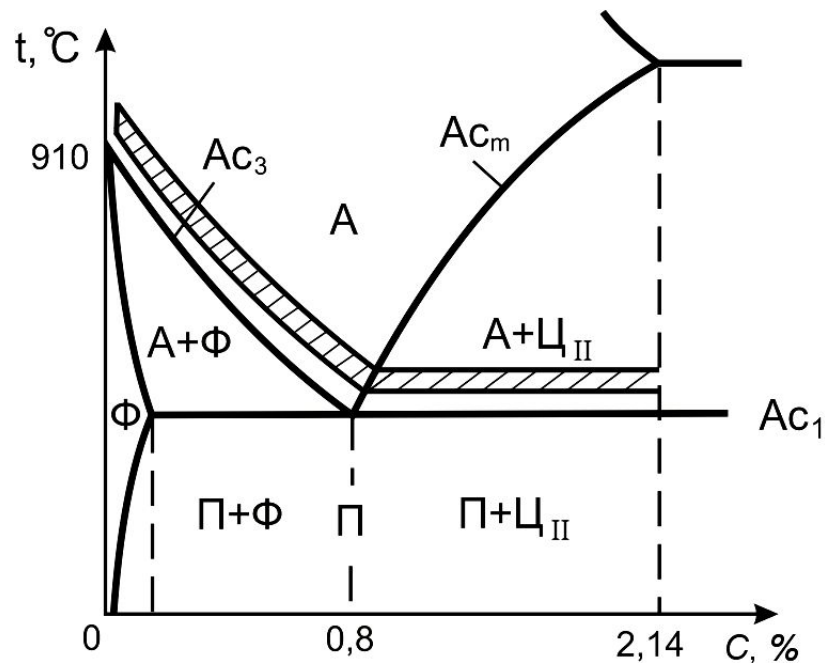
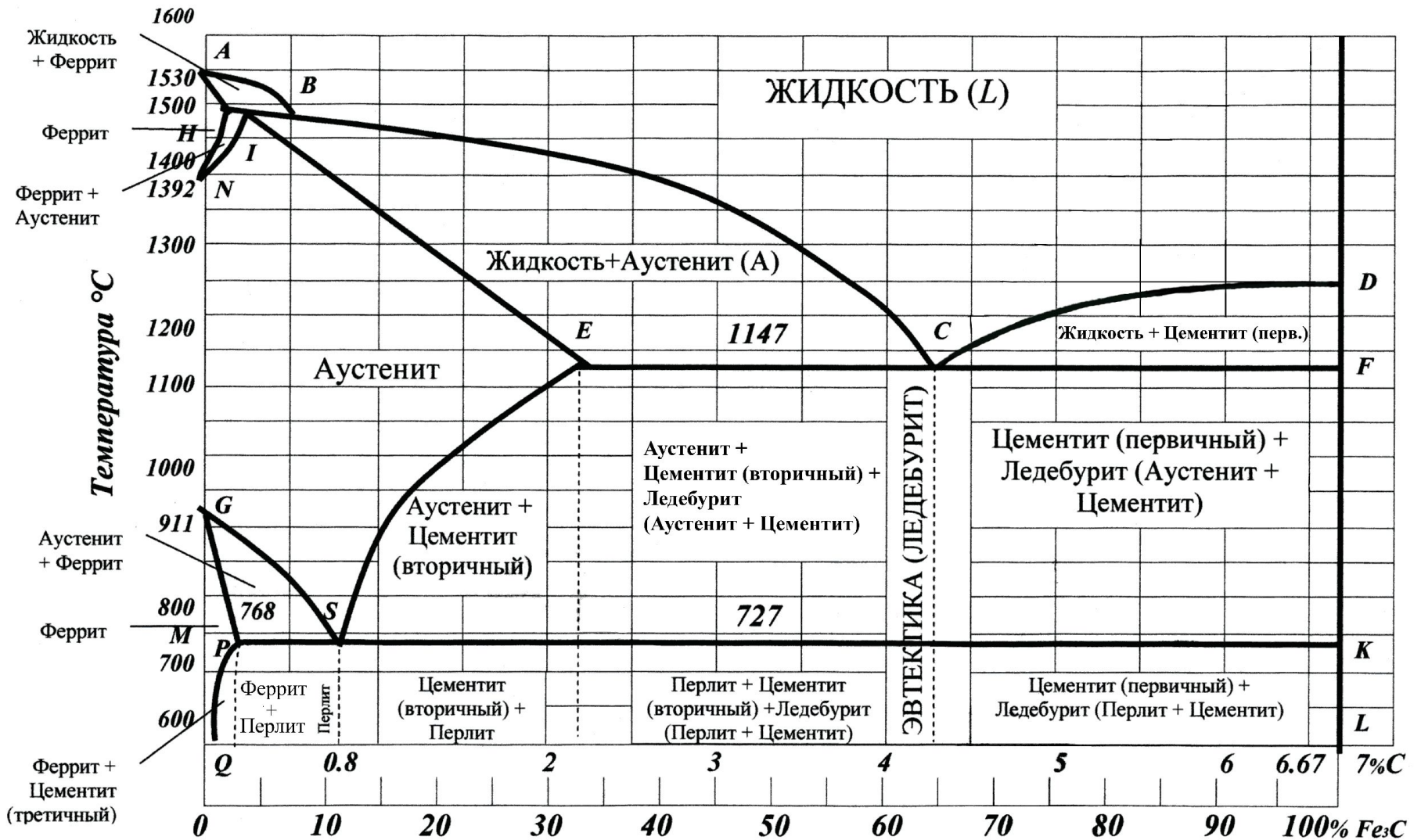


Диаграмма железо - цементит



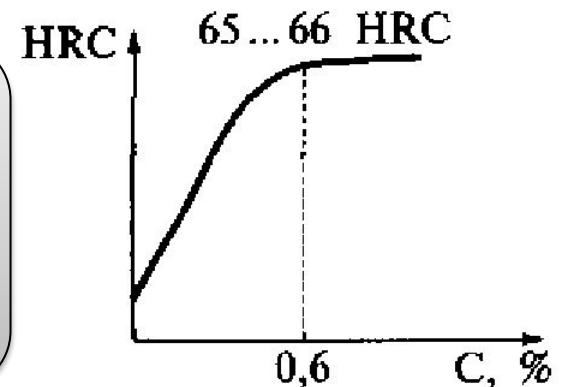
Зависимости характеристик от структуры вещества

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?

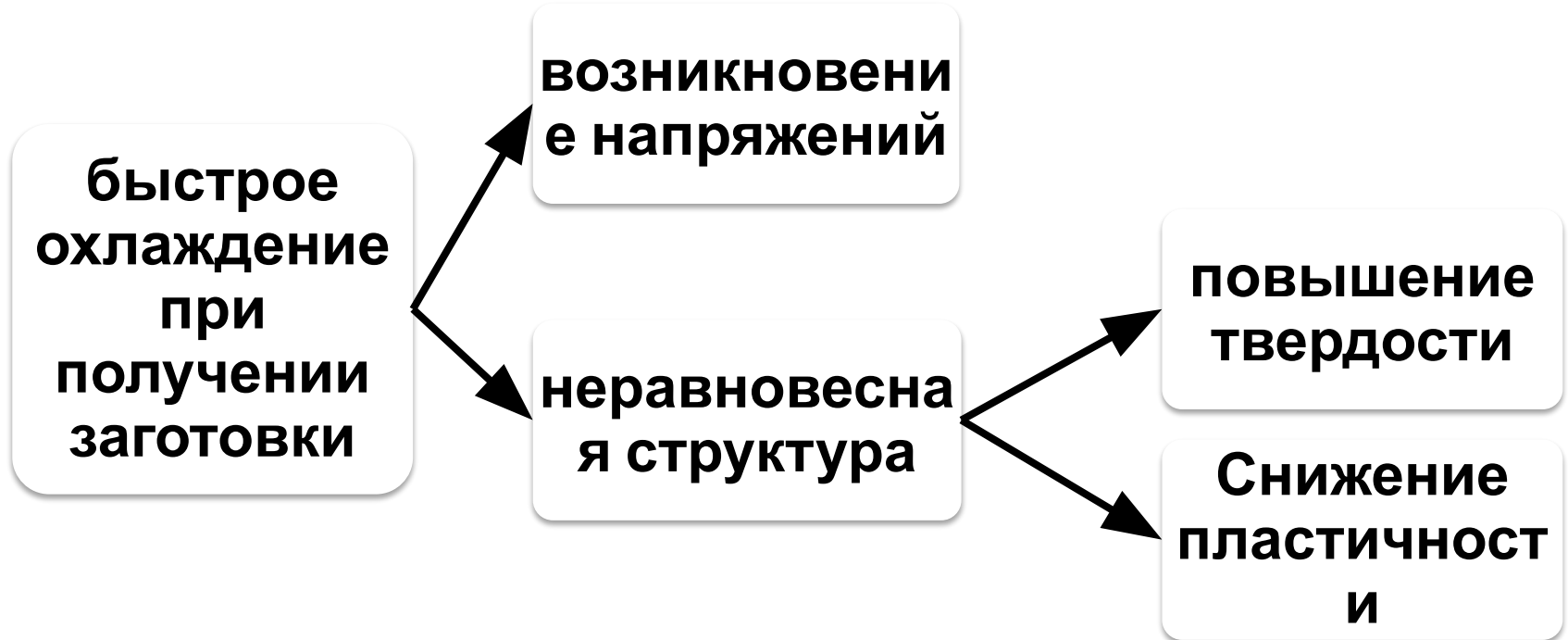


Перлит образуется при температуре близкой к 727°C

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 |

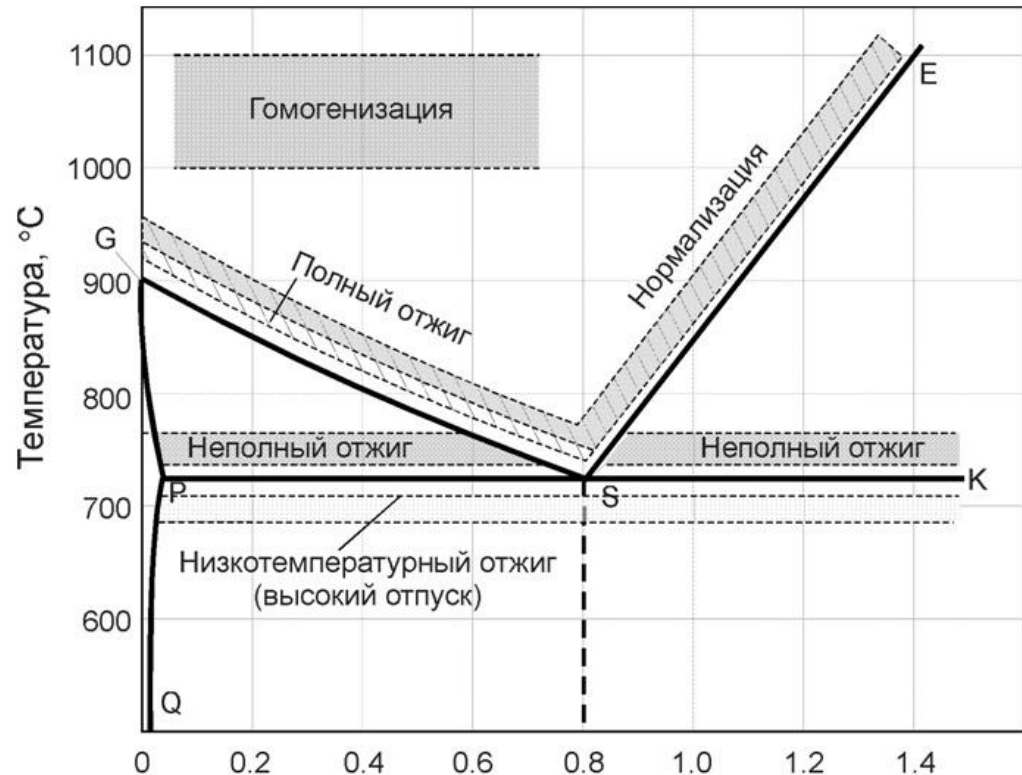


Рисунок —
Температуры отжига и
нормализации

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 $50...100^{\circ}\text{C}$;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

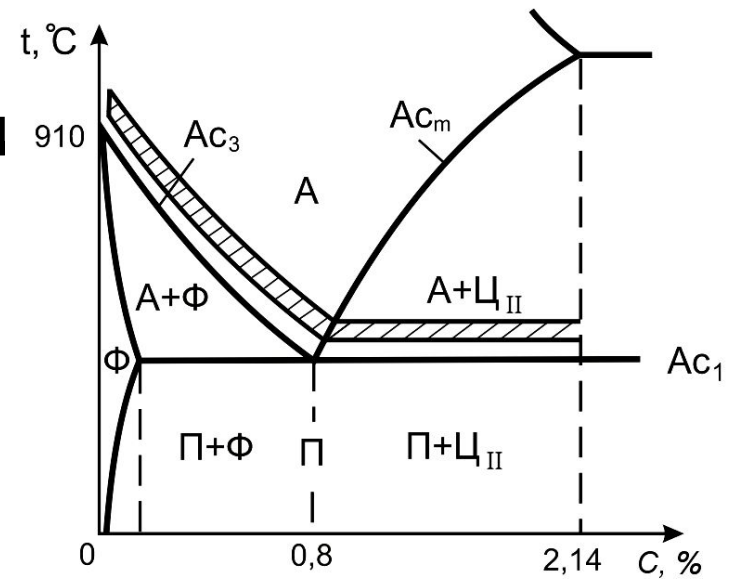
Цели:

- ✓ 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 |

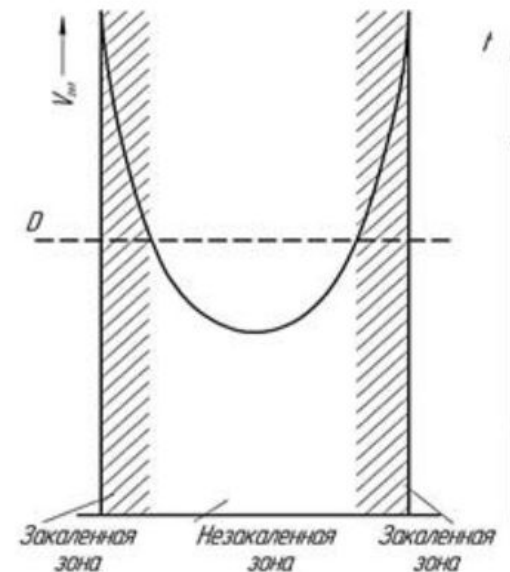
Закаливаемость и прокаливаемость

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.



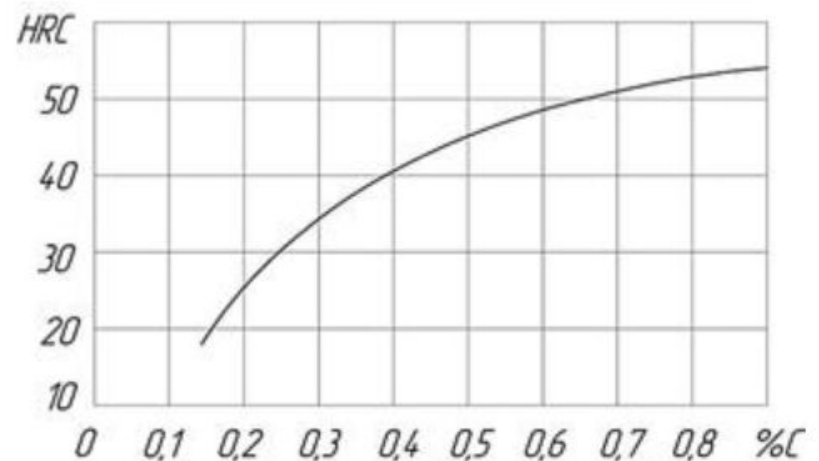
Закаливаемость и прокаливаемость

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



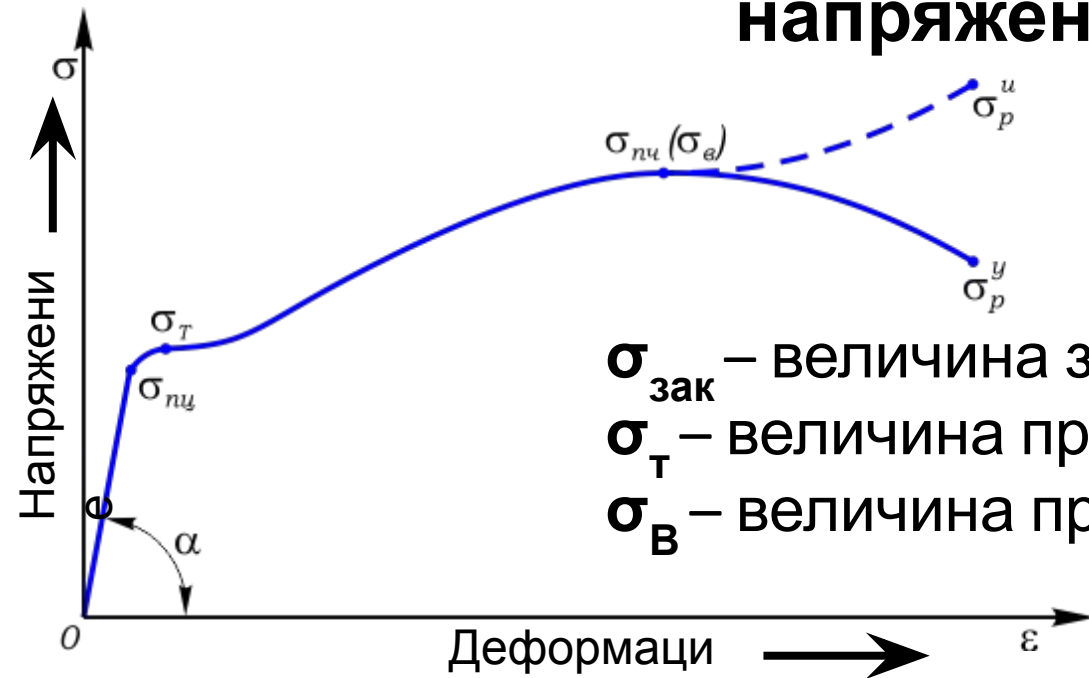
Возможные проблемы закалки

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> | |

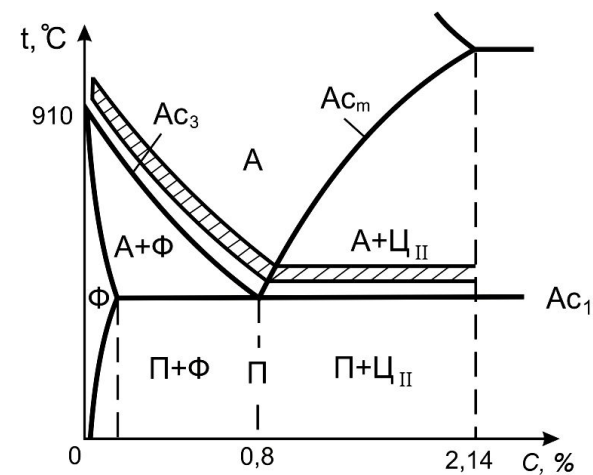
Зависимость дефектов от закалочных напряжений



- $\sigma_{зак}$ – величина закалочных напряжений
- σ_T – величина предела текучести
- σ_B – величина предела прочности

| Обозначение | Описание | Дефект |
|--------------------------------------|---|-------------------------|
| $\sigma_{зак} < \sigma_T$ | закалочные напряжения меньше предела текучести | Деформация отсутствует |
| $\sigma_T < \sigma_{зак} < \sigma_B$ | закалочные напряжения больше предела текучести, но меньше предела прочности | Коробление / деформация |
| $\sigma_{зак} > \sigma_B$ | 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 °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)