



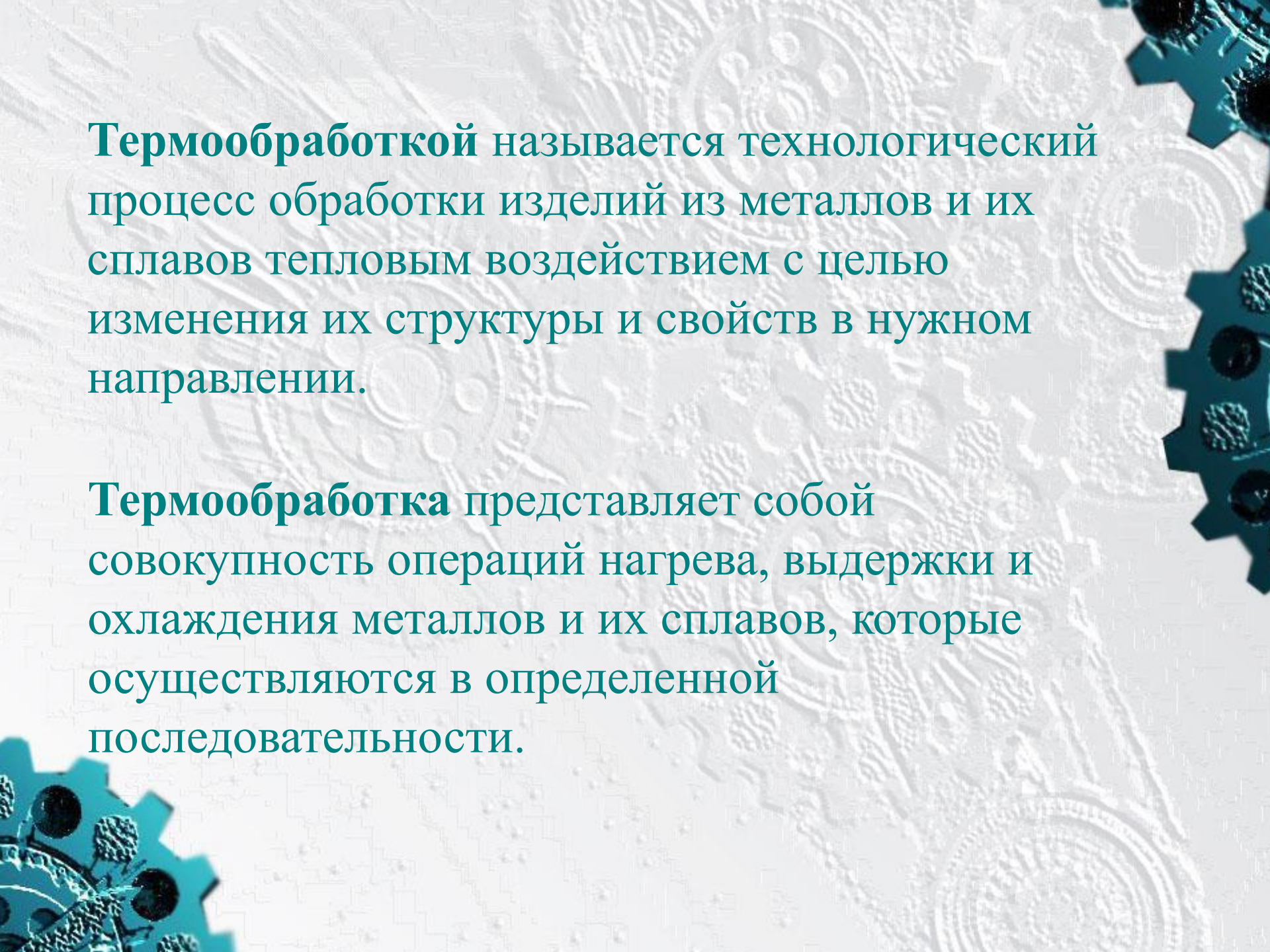
Виды термической обработки стали

План лекции

1. Отжиг стали

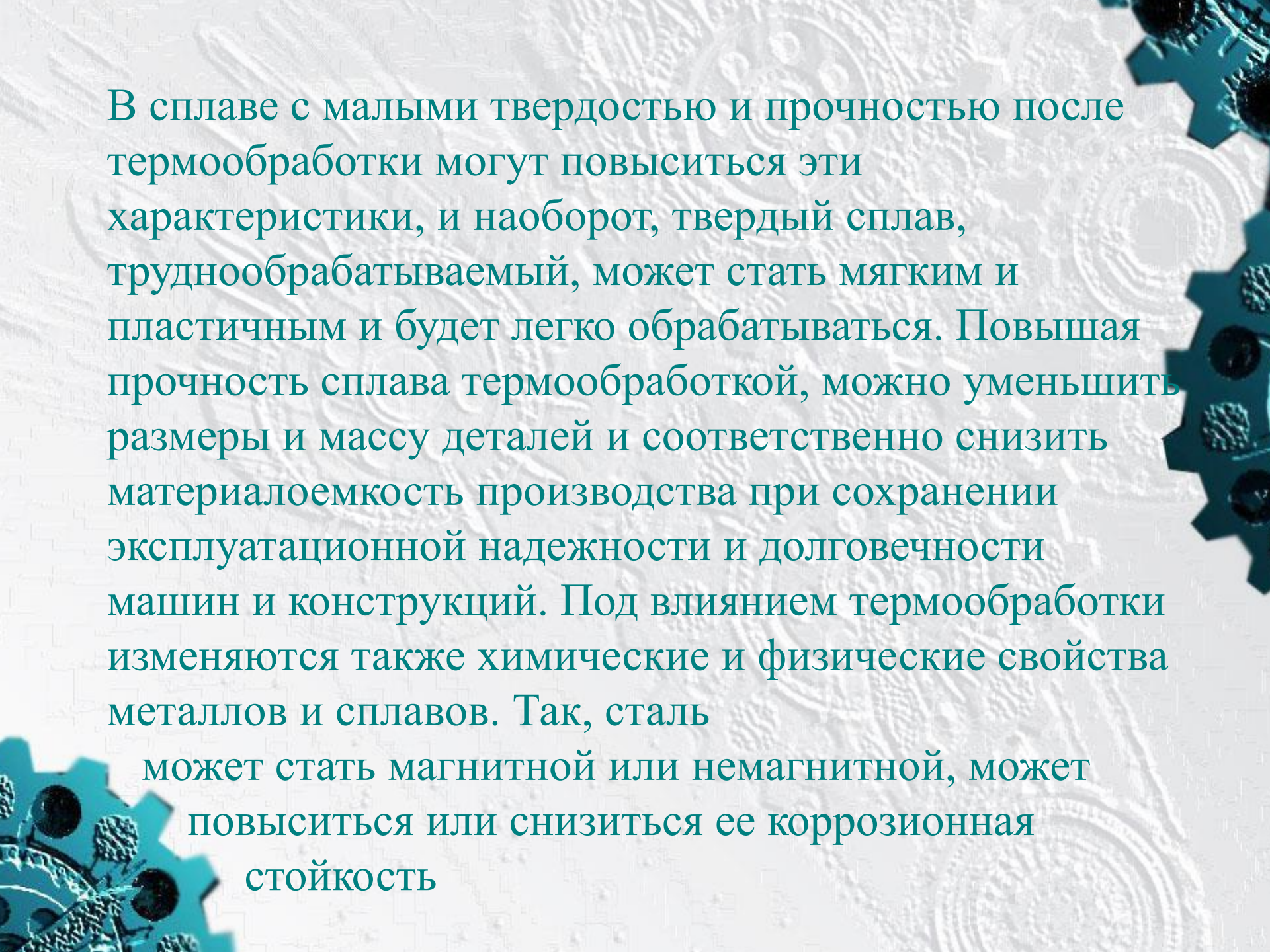
2. Закалка стали

3. Отпуск стали



Термообработкой называется технологический процесс обработки изделий из металлов и их сплавов тепловым воздействием с целью изменения их структуры и свойств в нужном направлении.

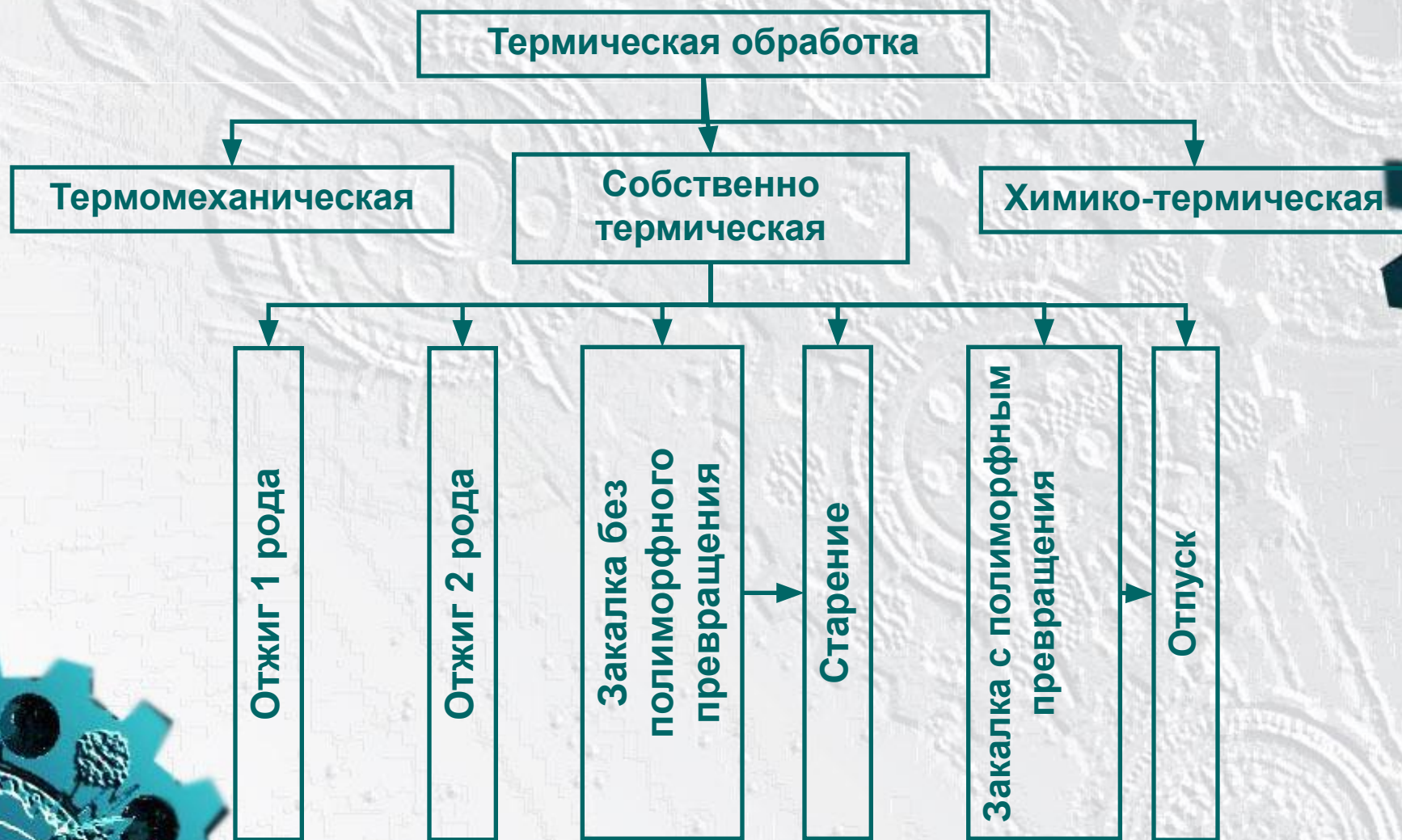
Термообработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения металлов и их сплавов, которые осуществляются в определенной последовательности.



В сплаве с малыми твердостью и прочностью после термообработки могут повыситься эти характеристики, и наоборот, твердый сплав, труднообрабатываемый, может стать мягким и пластичным и будет легко обрабатываться. Повышая прочность сплава термообработкой, можно уменьшить размеры и массу деталей и соответственно снизить материалоемкость производства при сохранении эксплуатационной надежности и долговечности машин и конструкций. Под влиянием термообработки изменяются также химические и физические свойства металлов и сплавов. Так, сталь

может стать магнитной или немагнитной, может повыситься или снизиться ее коррозионная стойкость

Схема классификации основных видов термической обработки металлов и сплавов



Классификация видов термообработки металлов

1. Отжиг I рода – это такой вид отжига, при котором не происходит структурных изменений, связанных с фазовыми превращениями

2. Отжиг второго рода– термообработка, направленная на получение равновесной структуры в металлах и сплавах, испытывающих фазовые превращения

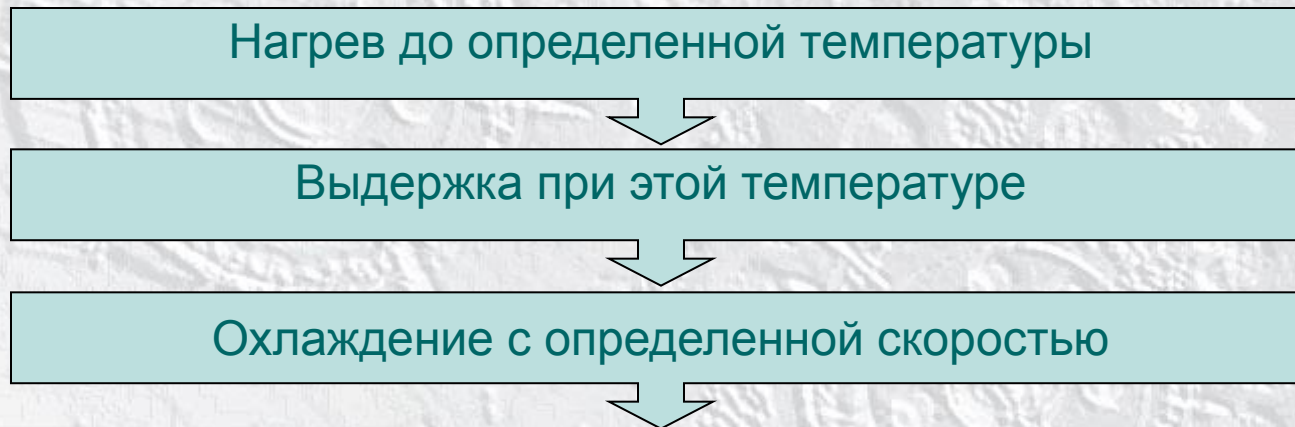
3. Закалка с полиморфным превращением. Этот вид закалки применяется для сплавов, в которых один из компонентов имеет полиморфные превращения

4. Закалка без полиморфного превращения, для сплавов, не испытывающих полиморфных превращений, но имеющих ограниченную растворимость одного компонента в другом

5. Отпуск – термообработка, направленная на уменьшение внутренних напряжений в сплавах после закалки с полиморфным превращением

Последовательность термообработки металлов

Процесс любой термообработки материала обязательно состоит из трех последовательных этапов:



Первый этап характеризуется скоростью нагрева и максимальной температурой, до которой нагревают изделие, другие два этапа - соответственно продолжительностью выдержки и скоростью. Знание этих элементов процесса определяет режим определенной термообработки.

1. Отжиг стали

Виды и назначение отжига

Отжиг стали проводят для ликвидации дефектов ее структуры, появившиеся в процессе литья,ковки и других технологических операций. Часто отжиг применяют как подготовительную термообработку (например, для улучшения обрабатываемости металлов резанием), но иногда он может быть и окончательной термообработкой

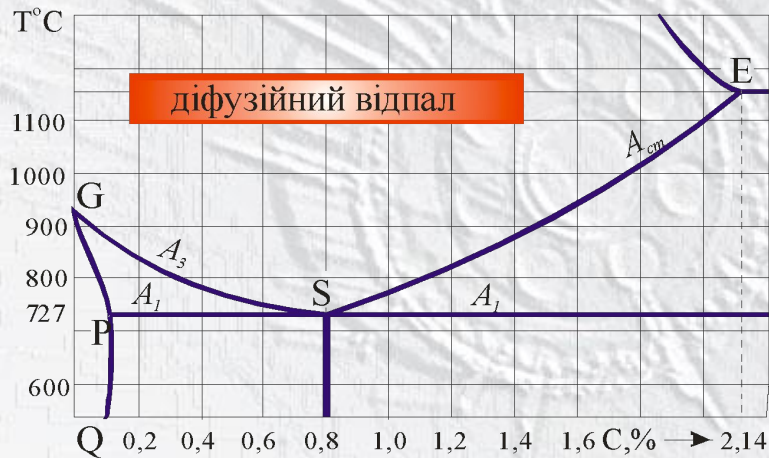
Основная цель отжига: получение равновесной структуры стали и снятия напряжений. После отжига сталь приобретает малую твердость, умеренную прочность, высокую пластичность, а также вязкость.

Виды отжига

Различают следующие виды отжига стали:



Диффузный отжиг



Диффузный отжиг

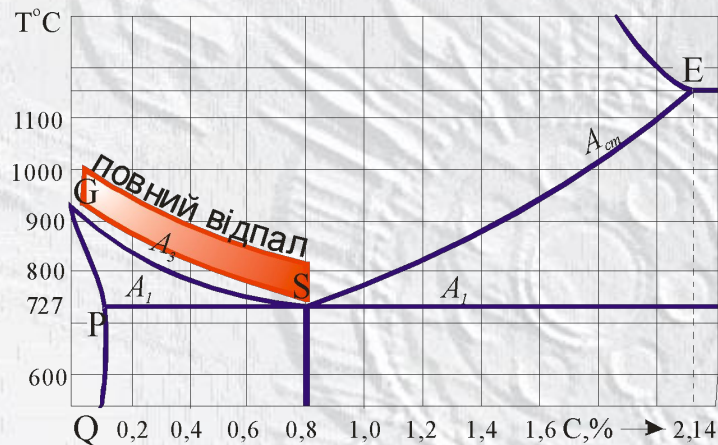
(гомогенизация) заключается в нагреве стали до температуры на 150 ... 250 ° C, длительной выдержке (8 ... 20 ч) при этой температуре, медленном охлаждении в печи до определенной температуры (200 ... 250 ° C), а затем на воздухе. Ему подвергают слитки с целью устранения выравнивания компонентов сплава

Диффузный отжиг

При высокой температуре происходит ускорение диффузионных процессов, обеспечивающих выравнивание химического состава в микрообъемах сплава, и он становится однородным. С повышением температуры отжига скорость диффузии увеличивается. Поэтому повышение температуры стали дает больший эффект, чем увеличение выдержки. К тому же рост продолжительности нагрева при отжиге стали ведет к уменьшению производительности труда и повышению себестоимости продукции через перерасхода энергии. Однако при отжиге нельзя допускать пережога стали - окисление поверхности ее зерен кислородом воздуха.

Полный отжиг

Полный отжиг стали назначают для образования мелкозернистой равновесной структуры в готовых изделиях, а также для снижения твердости и повышения пластичности, снятия напряжений перед последующей обработкой стальных изделий резанием, штамповкой и т.д.

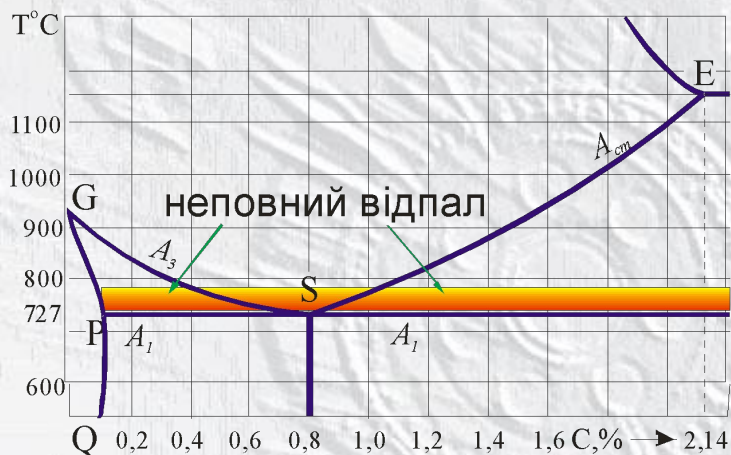


Для полного отжига стальные изделия нагревают до температуры на 30 ... 50 ° C выше критической точки, выдерживают при этой температуре для завершения преобразований и медленно охлаждают в печи или постепенно уменьшают ее температуру. Охлаждения изделий в печи ведут до температуры примерно 500 ° C, обеспечивая скорость охлаждения в пределах 5 ... 20 ° C / ч, далее изделия можно охлаждать и быстрее (на воздухе).

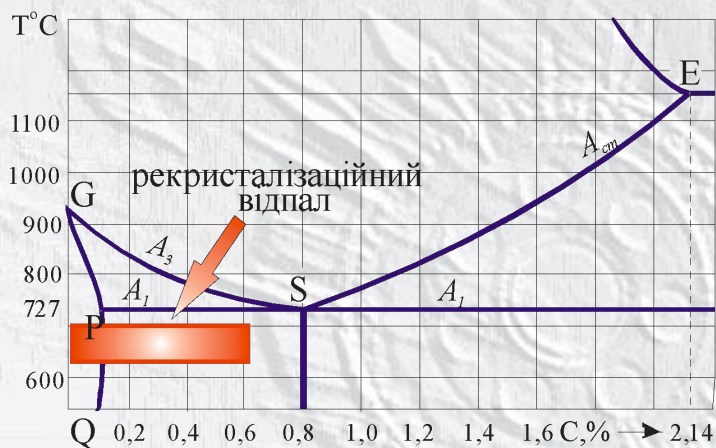
Неполный отжиг

Неполный отжиг заключается в нагреве стали до температуры на 20 ... 50 ° С выше критической точки, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении в печи. Вследствие нагревания до этой температуры в стали происходит перекристаллизация не всех компонентов стали

Такой отжиг не обеспечивает полной перекристаллизации и получения однородной структуры стали. Его проводят только тогда, когда нужны только снижение ее твердости и снятие напряжений. Поэтому такой отжиг стали называют мягким лечебным. Применение его сокращает затраты времени и энергии, благодаря чему стоимость обработки стальных изделий уменьшается.



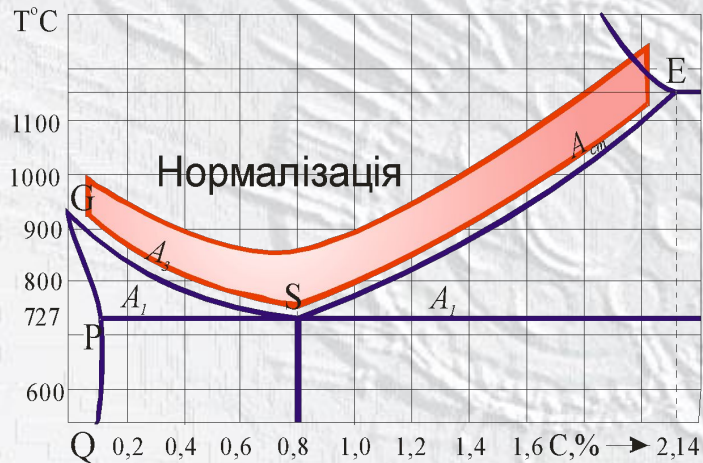
Рекристаллизационный отжиг



Рекристаллизационный отжиг назначают для уменьшения твердости, повышения пластичности, устранения наклепа после холодной обработки давлением, штампованной продукции в виде проволоки, листов, прутков и т.д. из углеродистой стали, содержащий 0,1 ... 0,2% С

Такую обработку часто применяют для восстановления пластичности при глубокой вытяжке или штамповке стальных изделий, распределив её на несколько промежуточных стадий, после каждой из которых снимают наклеп для дальнейшего деформирования изделий. Это дает возможность получать большую степень деформации, которую нельзя достичь при однократном деформировании изделий

Нормализация стали



Нормализация от отжига отличается тем, что охлаждение стальных изделий после выдержки в печи осуществляют ускоренно - в спокойном воздухе или в его струе (от вентилятора). Для нормализации сталь нагревают до полной перекристаллизации, т.е. на 30 ... 50 °С выше критической точки

После охлаждения на спокойном воздухе сталь приобретает мелкозернистую однородную структуру, уменьшаются внутренние напряжения в изделиях, устраняется много недостатков, возникших при предварительной обработке стальных изделий

Нормализация стали

Нормализацию чаще применяют как промежуточную обработку для улучшения структуры стали, например перед ее закалкой. Однако иногда она может быть конечной, так как дает возможность получить благоприятное сочетание свойств прочности и пластичности стали, например при изготовлении сортового проката (рельсы, швеллеры и т.д.). В экономическом отношении нормализация стали значительно дешевле ее отжига. Поскольку печи используют только для нагрева и выдержки стальных изделий при температуре нормализации, сокращается цикл их обработки и уменьшаются затраты энергии

Дефекты отжига железоуглеродистых сплавов:

Окисление.

При нагреве в пламенных печах поверхность стальных деталей взаимодействует с печными газами. В результате металл окисляется и на деталях образуется окалина — химическое соединение металла с кислородом. С повышением температуры и увеличением времени выдержки окисление резко возрастает. Образование окалины не только вызывает угар (потерю) металла на окалину, но и повреждает поверхность деталей.

Дефекты отжига железоуглеродистых сплавов:

Обезуглероживание.

Обезуглероживание, т.е. выгорание углерода с поверхности деталей, происходит при окислении стали. Обезуглероживание резко снижает прочностные свойства конструкционной стали. Кроме того, обезуглероживание поверхности может вызвать образование закалочных трещин и коробление

Дефекты отжига железоуглеродистых сплавов:

Пережог.

Пережог получается в результате пребывания металла в печи при высокой температуре, близкой к температуре плавления. Физическая сущность пережога состоит в том, что кислород из окружающей атмосферы при высокой температуре проникает вглубь нагреваемого металла и окисляет границы зерен. В результате окисления границ зерен механическая связь между зернами ослабевает, металл теряет пластичность и становится хрупким. Пережог является неисправимым браком

Дефекты отжига железоуглеродистых сплавов:

Окисление.

При нагреве в пламенных печах поверхность стальных деталей взаимодействует с печными газами. В результате металл окисляется и на деталях образуется окалина — химическое соединение металла с кислородом. С повышением температуры и увеличением времени выдержки окисление резко возрастает. Образование окалины не только вызывает угар (потерю) металла на окалину, но и повреждает поверхность деталей.

Дефекты нормализации железоуглеродистых сплавов:

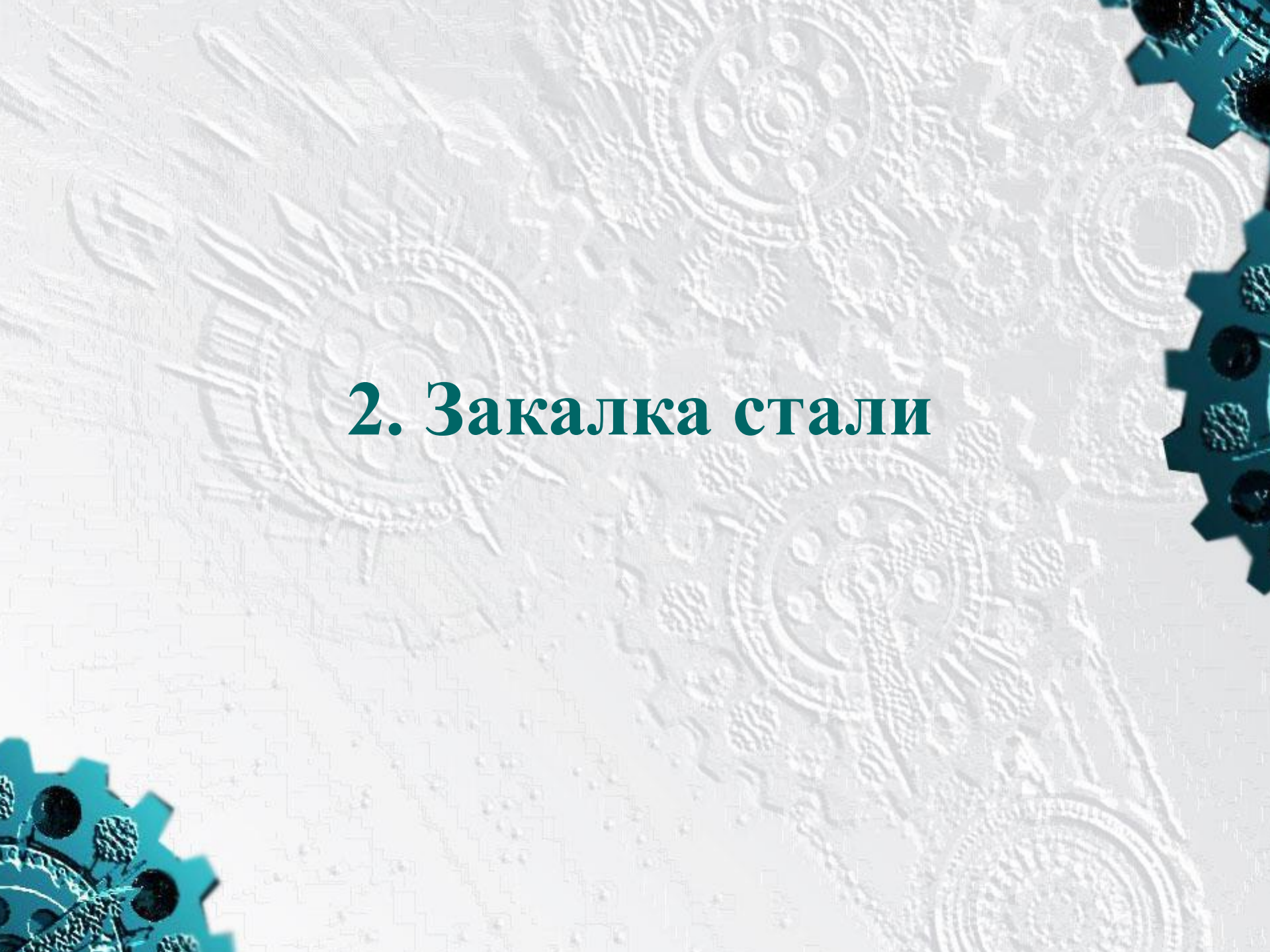
Недогрев — неполный отжиг или неполная нормализация. Низкие пластические свойства

Повышенная скорость охлаждения - Высокая твёрдость горячедеформированной отожжённой стали

Камневидный (раковистый) излом легированной стали. Наличие по границам зёрен неметаллических включений. Низкие пластические свойства, особенно ударная вязкость

Низкие пластические свойства холоднодеформированной пружинной и высокоуглеродистой стал

2. Закалка стали



Закалка стали

Закалка - укрепляющий вид термообработки для повышения прочности, твердости и устойчивости к износу стальных деталей. Изменение свойств стали после закалки связана с образованием метастабильной (неравновесной) ее структуры.

Для получения метастабильных структур стальные детали нагревают и выдерживают при температуре существования аустенита, а затем охлаждают со скоростью, которая позволяет зафиксировать мартенсит. Результаты закалки зависят от температуры нагрева, продолжительности выдержки, скорости охлаждения деталей и т.п.

Виды и назначение закали

Различают **полную и неполную закали** стали

Для полного закаливания сталь нагревают до температуры на $30 \dots 50^\circ \text{C}$ выше критической точки A_3 ($A_{ст}$), а для неполного - выше точки $A_{с1}$ но ниже точки A_3 ($A_{ст}$).

Температура закали определяется в зависимости от содержания углерода по линиям диаграммы состояния сплавов железо - цементит

При выборе скорости нагрева и продолжительности выдержки изделий в печи пользуются теми же закономерностями, что и для их отжига. При этом следует отметить, что для процесса закали продолжительность выдержки чаще определяют по таблицам, составленным на основании обобщения накопленного опыта и экспериментальных данных.

Выбор технологических параметров при охлаждении

Скорость охлаждения стальных деталей можно регулировать, применяя разнообразные закалочные среды:



Главным требованием к закалочным средам является большая охлаждающая способность в интервале температур $650 \dots 550^{\circ}\text{C}$ и уменьшенная охлаждающая способность при 300°C и ниже

Виды закалки железоуглеродистых сплавов:

Закалка в одном охладителе .

Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют:

воду – для крупных изделий из углеродистых сталей;

масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей.

Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

Виды закалки железоуглеродистых сплавов:

Закалка в двух сферах или прерывистая.

Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^{\circ}\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло).

Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения.

Применяется в основном для закалки инструментов.

Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

Виды закалки железоуглеродистых сплавов:

Ступенчатая закалка.

Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ выше точки M_n и выдерживают в течении времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью.

Способ используется для мелких и средних изделий.

Виды закалки железоуглеродистых сплавов:

Закалка с самоотпуском.

Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения.

После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск.

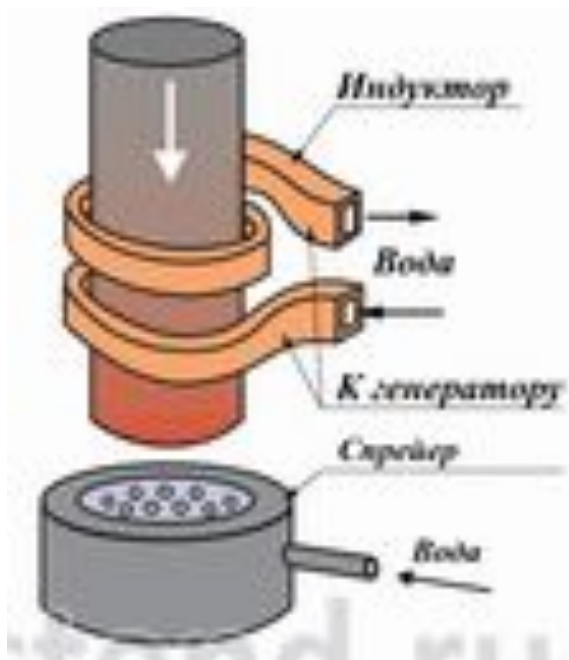
Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: молотки, зубила).

Закалка стали токами высокой частоты

Металлические детали, работающие на трение, кручение, изгиб и т.п., должны обладать высокой твердостью, но этим свойством они должны обладать только на поверхности, в центре же излишняя твердость металла нежелательна.

Для достижения подобных свойств у металла детали подвергаются поверхностной закалке, закаляется при этом только наружный слой до определенной температуры, а затем деталь быстро охлаждается, и металл внутри детали сохраняет свойства которые были у него изначально.

Закалка стали токами ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ



Преимущества закалки токами высокой частоты:

высокая твердость;

высокая производительность;

любой уровень глубины закаленного слоя детали;

отсутствие окалины;

возможность закалки деталей любых форм;

возможность внедрения полной автоматизации
закалки

Внутренние напряжения при закалке стали

Вследствие фазовых и структурных превращений в стали, обусловленных тепловым воздействием на металл, изменяется объем закаленной стали, появляются внутренние напряжения в ней. Эти напряжения могут быть значительными, иногда, образуя различные дефекты, которые вызывают недостатки, а процесс закалки становится трудной и опасной операцией. Внутренние напряжения являются следствием неравномерности охлаждения поверхности и сердцевины детали.

Дефекты закалки железоуглеродистых сплавов:

Неполная закалка — после закалки получается недостаточная твердость. Этот дефект образуется либо в результате недогрева перед закалкой

Деформация и коробление — происходят в результате термических и структурных неравномерных напряжений.

Перегрев — закалка с завышенной температуры. В результате получается крупноигольчатый мартенсит, изделия обладают повышенной хрупкостью.

Окисление и обезуглероживание поверхности изделия — этот дефект возникает в результате взаимодействия печной атмосферы с поверхностными слоями детали при нагреве.

Внутренние напряжения при закалке стали

Вследствие фазовых и структурных превращений в стали, обусловленных тепловым воздействием на металл, изменяется объем закаленной стали, появляются внутренние напряжения в ней. Эти напряжения могут быть значительными, иногда, образуя различные дефекты, которые вызывают недостатки, а процесс закалки становится трудной и опасной операцией. Внутренние напряжения являются следствием неравномерности охлаждения поверхности и сердцевины детали.

Характеристика цветов побежалости стали

Цвет побежалости	Температура нагрева стали, °C	Толщина слоя оксида, мм
Свётло-жёлтый	200...240	0,045
Темно-жёлтый	240...260	0,050
Коричневый	260...280	0,055
Фиолетовый	280...290	0,065
Синий	290...325	0,070
Серый	>330	---

Для стабилизации размеров, повышения твердости, а также износостойкости закаленные стальные изделия закаливают с обработкой холодом. Их охлаждают до температуры ниже 0°C . Как правило, используют охлаждения до температуры около -80°C . Обработка холодом не уменьшает внутренние напряжения в стали и требует дальнейшего отпуска.

3. Отпуск стали

Отпуск стали. Виды отпуска, структура и свойства, назначения

Отпуск стали относится к завершающим операциям термообработки стали и осуществляется после закалки стали. Отпуском устраняют излишнюю хрупкость закаленной стали и получают структуру, устойчивую при обычной температуре, с лучшими механическими свойствами. Отпуск стали заключается в том, что закаленные детали нагревают до температур ниже предела структурных преобразований (727°C), выдерживают и затем охлаждают с произвольной скоростью. Некоторые стали следует охлаждать быстро в воде или в масле.

Отпуск стали. Виды отпуска, структура и свойства, назначения

Зависимости от температуры отпуска и образовавшейся структуры металла, различают:

Низкий отпуск осуществляется нагревом стали до $150 \dots 250^\circ \text{C}$ и охлаждением ее с любой скоростью. Этот вид отпуска стали применяют для изготовления разнообразного режущего и измерительного инструментов из углеродистых и низколегированных сталей, а также деталей после обработки их поверхностей закаливанием, цементацией т.д.

Средний отпуск осуществляется нагревом стали до $300 \dots 450^\circ \text{C}$. Средний отпуск используется, например, при изготовлении различных стальных деталей, работающих в условиях трения (пружин, рессор, штампов и т.п.).

Высокий отпуск осуществляется нагревом стали до $500 \dots 650^\circ \text{C}$. Некоторые стали после этого отпуска охлаждают в воде или в масле. Высокий отпуск применяют для деталей из конструкционных сталей, работающих при повышенных нагрузках (валы, оси, элементы крепления).



Благодарим за внимание