**28.04.2022 г**

**ОП.03 Материаловедение - Моисеенко А.И. -**

**anutamoiseenko.82@mail.ru**

**Группа №11**

**Тема: Термическая обработка: процесс отжига, закалки, нормализации и отпуска**

**Основная литература** : Основы материаловедения, учебник под редакцией В.Н.Заплатина, 4-е издание, Издательский центр «Академия», 2010 г.

## Отжиг

Отжиг - это нагрев стали до температуры выше критической, выдержка при этой температуре и медленной охлаждение вместе с печью. На самом деле это общее определение, под которое попадают не все виды отжига. Режимы отжига зависят в первую очередь от конечных требований к стали или изделию, в первую очередь это требования по [**механическим или технологическим свойствам металла**](https://heattreatment.ru/svojstva-metallov).

## ОТЖИГ ПЕРВОГО РОДА (І-ГО РОДА)

Отжиг І рода – термическая операция, состоящая в нагреве металла в неустойчивом состоянии, полученном предшествующими обработками, для приведения металла в более устойчивое состояние. Этот вид отжига может включать в себя процессы гомогенизации, рекристаллизации, снижения твердости и снятия остаточных напряжений. Особенность этого вида отжига в том, что указанные процессы протекают независимо от того происходят ли фазовые превращения при термообработке или нет. Различают гомогенизационный (диффузионный), рекристаллизационный отжиг и отжиг, уменьшающий напряжения и снижающий твердость.

## ОТЖИГ ВТОРОГО РОДА (ΙΙ-ГО РОДА)

Отжиг ΙΙ рода основан на использовании фазовых превращений сплавов и состоит в нагреве выше температуры превращения с последующим медленным охлаждением для получения устойчивого структурного состояния сплавов.

### ПОЛНЫЙ ОТЖИГ

Полный отжиг производится для доэвтектоидных сталей. Для этого стальную деталь нагревают выше [**критической точки А3**](https://heattreatment.ru/kriticheskie-tochki-stali) на 30–50°С и после прогрева проводят медленное охлаждение. Как правило, детали охлаждают вместе с печью со скоростью 30–100°С/час. Структура доэвтектоидной стали после отжига состоит из избыточного феррита и перлита.

#### ****ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ ПОЛНОГО ОТЖИГА:****

- устранение пороков структуры, возникших при предыдущей обработке (литье, горячая деформация, сварка, термообработка), – крупнозернистости и видманштеттовой структуры;

- смягчение стали перед обработкой резанием – получение крупнозернистости для улучшения качества поверхности и большей ломкости стружки низкоуглеродистых сталей;

- уменьшение напряжений.

### НЕПОЛНЫЙ ОТЖИГ

Неполный отжиг отличается от полного тем, что нагрев производится на 30–50 °С выше критической точки А1 (линия РSК на диаграмме «Железо – цементит»). Неполный отжиг доэвтектоидных сталей проводят для улучшения обрабатываемости резанием. При неполном отжиге происходит частичная перекристаллизация стали — вследствие перехода перлита в аустенит. Избыточный феррит лишь частично превращается в аустенит. Такой отжиг проводится при температуре 770 — 750°С с последующим охлаждением со скоростью 30 — 60°С/с до 600°С, далее на воздухе.

Неполный отжиг широко применяется для заэвтектоидных углеродистых и легированных сталей. Нагрев этих сталей на 10 — 30°С выше Ас1 вызывает практически полную перекристаллизацию сплава и позволяет получить зернистую (сферическую) форму перлита вместо пластинчатой. Такой отжиг называют сфероидизацией. Частицы цементита, не растворившегося при нагреве, или области аустенита с повышенной концентрацией углерода за счет неполной его гомогенизации после растворения цементита, служат центрами кристаллизации для цементита, выделяющегося при последующем охлаждении до температуры ниже А1 и принимающего в этом случае зернистую форму. В результате нагрева до температуры значительно выше А1 и растворения большей части цементита и более полной гомогенизации аустенита последующее выделение цементита ниже А1 происходит в пластинчатой форме. Если избыточный цементит находился в виде сетки, то перед этим отжигом нужно сделать нормализацию с нагревом выше Асm (желательно с охлаждением в направленном потоке воздуха)

### ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ

Изотермический отжиг заключается в нагреве стали до температуры Ас3 + (30–50°С), последующего ускоренного охлаждения до температуры изотермической выдержки ниже точки А1 и дальнейшего охлаждения на спокойном воздухе. Изотермический отжиг по сравнению с обычным отжигом имеет два преимущества:

- больший выигрыш во времени, т. к. суммарное время ускоренного охлаждения, выдержки и последующего охлаждения может быть меньше медленного охлаждения изделия вместе с печью;

- получение более однородной структуры по сечению изделий, т. к. при изотермической выдержке температура по сечению изделия выравнивается и превращение во всем объеме стали происходит при одинаковой степени переохлаждения.

Низкотемпературный отжиг металлов (к нему также применимы термины "низкий отжиг" или "высокий отпуск") - достаточно сложный вид термической обработки, в процессе которого происходит медленный нагрев заготовок до температур ниже критических, выдержка при этих температурах до полного прогрева, а затем - медленное охлаждение вместе с печью.

Низкотемпературный отжиг как вид тепловой обработки применяют по отношению к легированным сталям (хромистым, хромоникелевым и т.п.) для снятия внутренних напряжений, снижения твердости и улучшения обрабатываемости. Также применяется с целью получения зернистого перлита, присутствие которого в структуре металла обеспечивает высокий порог прочности при растяжениях и высокие показатели удлинения стали. Такой технологический прием носит название сфероидизации (закругления), при его применении зерна перлита приобретают округлую форму.

Подвергают низкотемпературному отжигу заготовки, прошедшие холодную штамповку или механическую обработку резанием, для устранения внутренних напряжений, приводящих к деформациям.

**Процесс закалки**

Закаливание является операцией по термической обработке металла. Она состоит из нагревания металла до критической температуры, при которой **изменяется кристаллическая решетка материала**, либо до температуры, при которой происходит растворение фазы в матрице, существующей при низкой температуре.

Важно понимать:

* После достижения критической температуры металл подвергается резкому охлаждению.
* После закаливания сталь приобретает структуру мартенсита (по имени Адольфа Мартенса) и поэтому обретает твердость.
* Благодаря закаливанию прочность стали повышается. Металл становится еще тверже и более износостойким.
* Следует различать обычную закалку материала и закалку для получения избытка вакансий.

Режимы закалки различаются по скорости протекания процесса и температуре нагревания. А также имеются различия по длительности выдержки при данном температурном режиме и скорости охлаждения.

Выбор температуры для закалки

Решение, при какой температуре производить закалку металла обусловлено химическим составом стали.

Закалка бывает двух видов:

* полная;
* неполная.

Руководствуясь диаграммой критических точек можно видеть, что сталь при процессе **полного закаливания следует нагревать выше точки Ас3 на 30–50 градусо**в. В результате у стали будет структура однородного аустенита.

**Неполное закаливание** чаще применяется для инструментальной стали. Цель неполного закаливания — достигнуть температуры, при которой проходит процесс образования избыточных фаз.

Для закаливания стали лучше придерживаться температуры на 20–30 градусов больше Ас1 — неполная закалка. Из-за этого при нагревании и охлаждении будет сохраняться цементит, что повышает твердость стали. При закалке не следует нагревать сталь свыше положенной температуры. Это может сказаться на твердости.

Скорость охлаждения

Структура мартенсита получается при быстром охлаждении аустенита в тот момент, когда температура стали способствует наименьшей устойчивости аустенита (около 650-550 градусов).

При переходе в зону температур, в которой происходит мартенситное превращение (ниже 240 градусов) применяется замедленное охлаждение. В результате **успевают выравнится образующиеся структурные напряжения** в то время, как твердость образовавшегося мартенсита не снижается.

Для проведения успешной термической обработки очень важно правильно выбрать среду закаливания. Часто в качестве закалочной среды могут применяться:

* вода;
* раствор едкого натрия (5–10 %) или поваренной соли;
* минеральное масло.

Для закаливания углеродистой стали лучше использовать воду, температура которой 18 градусов. Для закалки легированной стали подойдет масло.

Характеристики стали: **закаливаемость и прокаливаемость**

Не следует смешивать важные [характеристики](https://stanok.guru/oborudovanie/raznoe/svoystva-stali-20h23n18-i-ee-harakteristika.html) стали — закаливаемость и прокаливавемость.

**Закаливаемость**

Эта [характеристика](https://stanok.guru/oborudovanie/raznoe/harakteristika-splavov-alyuminiya-v-chastnosti-dyuralyuminiy.html) говорит о способности стали к обретению твердости после закаливания. Существуют виды стали, которые плохо поддаются закалке и после процесса термообработки сталь становится недостаточно твердой. Про такой материал говорят — «не принял закалку».

Способность к твердости у мартенсита связана со степенью искаженности его кристаллической решетки. **Меньшее содержание углерода в мартенсите** способствует меньшим искажениям в кристаллической решетки, а, значит, твердость стали будет ниже. Если в стали содержится углерода менее 0.3%, то у такого сплава закаливаемость низкая, и обычно такие сплавы не подвергаются закалке.

**Прокаливаемость**

Эта [характеристика](https://stanok.guru/stal/harakteristiki-stali-x12mf-i-otzyvy-o-produkcii-iz-nee.html) может сказать о том, насколько глубоко сталь закалилась. При закаливании **поверхность стальной детали остывает быстрее нежели сердцевина**. Это происходит потому что поверхность находится в непосредственном контакте с жидкостью для охлаждения, которая отнимает тепло. А центральная часть стальной детали отдает свое тепло через толщу металла и поверхность, где ее и поглощает охлаждающая жидкость.

**Дефекты при закаливании стали**

1. **Недостаточная твердость**. Возникает если была низкая температура нагрева, малая выдержка при рабочей температуре или имело место недостаточная скорость охлаждения. Можно исправить: применить более энергичную среду; сделать отжиг, а затем закалить.
2. **Перегрев**. Происходит если стальная деталь нагревается до температуры, превышающей допустимую. При перегреве образуется крупнозернистая структура, что приводит к хрупкости детали. Можно исправить: с помощью отжига и закалки при нужной температуре.
3. **Пережог**. При нагреве стальной детали до высокой температуры, близкой к температуре плавления (1200–1300 градусов) в окислительной атмосфере. Внутрь стальных изделий проникает кислород, по границам зерен формируются окислы. Такая сталь не исправляется.
4. **Окисление и обезуглероживание**. В этом случае на поверхности стальных деталей образуются окалины (окислы), а в поверхностных слоях стали выгорает углерод. Этот брак исправить невозможно. Для предупреждения брака следует пользоваться печами с защитной атмосферой.
5. **Коробление и трещины**. Возникают из-за внутренних напряжений. Трещины — это неисправимый брак. Коробление можно удалить при помощи рихтовки или правки.

Самое важно при закалке металла это четкое соблюдение технологии. Любой отклонение в сторону приводит к нежелательным последствиям. Если делать все правильно, то даже в домашних условиях можно провести процесс закаливания стали.

 **Нормализация стали**

Принцип большинства технологий термической обработки подразумевает нагрев и выдержку сталей и охлаждение, что изменяет их строение. Несмотря на один принцип и сходные цели, каждая из них имеет определенные температурные и временные режимы. Термообработка может служить и в качестве промежуточного этапа, и выполнять роль окончательного технологического процесса. В первом случае такие методы используются для подготовки материала к последующей обработке, а во втором данным способом придают новые свойства. **Нормализацией стали называют процесс нагрева, выдержки материала, его последующего охлаждения на воздухе.** В результате формируется нормализованная структура. Этим объясняется название данного способа обработки.Нормализация применяется для разных сталей, а также отливок. К тому же данной операции подвергают для измельчения структуры материала сварные швы.Суть нормализации состоит в нагреве стали до температуры, превышающей верхние критические значения температуры на 30 — 50°С , выдержке и охлаждении. Температуру подбирают на основе типа материала. Так, заэвтектоидные варианты следует нормализовать в температурном интервале между точками Ас1 и Ас3, в то время как для доэвтектоидной стали используют температуры более Ас3. В результате все материалы первого типа приобретают одинаковую твердость ввиду того, что в раствор переходит одинаковое количество углерода, и фиксируется одинаковое количество аустенита. Получается состоящая из мартенсита и цемента структура. Второй компонент способствует повышению износостойкости и твердости материала. Нагрев высокоуглеродистой стали более Ас3 ведет к увеличению внутренних напряжений вследствие роста зерен аустенита и повышению его количества за счет возрастания концентрации углерода в нем, приводящей к снижению температуры мартенситного превращения. Из-за этого сокращаются твердость и прочность. Что касается доэвтектоидной стали, при нагреве более Ас3 она получает повышенную вязкость. Это обусловлено тем, что в низкоуглеродистой стали при этом образуется мелкозернистый аустенит, который после охлаждения переходит в мелкокристаллический мартенсит. Температуры между Ас1 и Ас3 не используют для обработки таких материалов, так как структура доэвтектоидной стали в данном случае получает феррит, снижающий ее твердость после нормализации и механические свойства после отпуска.Время выдержки определяет степень гомогенизации структуры. Нормативным показателем считают час выдержки на 25 мм толщины. Интенсивность охлаждения в существенной степени определяет количество перлита и размеры пластин. Так, существует прямая зависимость между данными величинами. То есть с повышением интенсивности охлаждения формируется больше перлита, расстояние между пластинами и их толщина сокращаются. Это увеличивает твердость и прочность нормализованной стали. Следовательно, низкая интенсивность охлаждения способствует образованию материала меньшей прочности и твердости. К тому же при обработке предметов с большими перепадами сечения стремятся снизить термические напряжения во избежание коробления, причем и при нагреве, и при охлаждении. Так, перед началом работ их нагревают в соляной ванне. Таким образом, нормализация сокращает внутренние напряжения, измельчает крупнозернистую структуру поковок, отливок, сварных швов путем перекристаллизации. То есть изменяется микроструктура стали. Нормализацию используют в различных целях. Путем осуществления данных работ как повышают, так и наоборот снижают твердость стали, ударную вязкость и прочность. Это определяется термической и механической историей материала. Данную технологию применяют с целью сокращения остаточных напряжений либо улучшения степени обрабатываемости материала различными методами. Нормализация с отпуском служит в качестве замены закалки для предметов сложной формы либо с резкими перепадами по сечению. Данный способ позволяет избежать дефектов Кроме того, нормализацию используют с целью измельчения крупнозернистой структуры, улучшения структуры перед закалкой, повышения обрабатываемости резанием, устранения сетки вторичного цемента в заэвтектоидной стали, подготовки к завершающей термической обработке стали после нормализации. Стали с количеством углерода 0,3 — 0,4% обрабатывают и нормализацией, и отжигом. В таких случаях выбор способа осуществляют на основе требуемых свойств материала. Так, нормализация стали придает ей мелкозернистую структуру, большие прочность и твердость в сравнении с отжигом. Кроме того, данная технология является более производительным процессом. Следовательно, при прочих равных условиях она более предпочтительна. Закалке ее предпочитают ввиду хрупкости получаемых таким способом изделий и при обработке предметов с перепадами сечения во избежание дефектов. Таким образом, нормализацию можно считать промежуточной технологией по отношению к ним: она дает материал большей твердости, чем отжиг, но менее хрупкий в сравнении с закалкой, улучшая структуру и сокращая напряжения. Ввиду этого нормализация получила в машиностроении более обширное распространение.

  **Отпуск**

Отпуск стали является заключительной стадией термообработки и используется для снижения избыточной твердости, уменьшения хрупкости и устранения внутренних напряжений металла. Чаще всего его применяют к углеродистым сталям, подвергнутым закалке на мартенсит, т. е. нагретым немного выше 727 ºC и охлажденным с высокой скоростью в водной среде. Обычно стальные изделия отпускают при температурах, которые в несколько раз ниже температуры закалки, сохраняя при этом мартенситовую структуру, обеспечивающую твердость металла. Такой термообработке в основном подвергают режущий инструмент и другие изделия из инструментальных сталей. Однако, существуют виды отпуска с нагревом, близким к закалочному (на троостит и на перлит), после которых металл приобретает требуемую упругость и у него повышается ударная вязкость. Легирующие добавки замедляют процесс формирования необходимой структуры, поэтому детали из легированных сталей отпускаются при более высоких температурах. Традиционная технология отпуска — это нагревание изделия до нормативного значения с охлаждением его на открытом воздухе, хотя некоторые виды стальных изделий отпускают в масляных или расплавных средах. Отпускать можно как все изделие, так и его часть. Например, у ножей подвергают отпуску только обушок и рукоятку, сохраняя при этом полную закалку лезвия.

 Отпуском металла называют один из видов термической обработки, при которой сохраняется его фазовое состояние, но при этом корректируется ряд закалочных характеристик. В первую очередь при отпуске резко уменьшается напряжение внутренней структуры, которое возникает в результате деформаций кристаллической решетки при закалке. Кроме того, снижается жесткость и хрупкость, что является следствием насыщения игольчатых элементов мартенсита ферритом и образования перлитовых зерен (см. рис. ниже). Такая структура сохраняет свойства закаленного металла, но вместе с тем становится более пластичной и вязкой. У легированных сталей все эти процессы протекают с некоторыми отличиями, которые связаны с тем, что легирующие элементы в определенных условиях становятся центрами кристаллизации и таким образом изменяют физико-химические характеристики металла. Стальные изделия отпускают путем их нагрева до заданного значения с последующим медленным охлаждением на открытом воздухе или в специальной среде. От температуры разогрева напрямую зависит фазовое состояние и структура металла, образующиеся после отпускания, а следовательно, и его физические характеристики. В целом соблюдается правило: чем выше температура, тем ниже хрупкость и твердость и выше гибкость и вязкость. В зависимости от используемых температурных диапазонов выделяют три основных вида отпуска стали: низкий, средний и высокий, пределами нагревания которых являются, соответственно, 300 ºC, 450 ºC и 650 ºC. Первый вид характеризуется самой высокой твердостью, а последний — самой большой ударной вязкостью. Температуры нагрева при отпуске сталей напрямую зависят от их химического состава, т. к. легирующие добавки оказывают значительное влияние на процесс формирования структурных элементов. Обычно это связано с замедлением распада мартенсита, что требует повышения температурных режимов. Кроме того, при отпуске высоколегированных сталей могут присутствовать такие явления, как увеличение жесткости, связанное с образованием троостита, и возникновение отпускной хрупкости.

 **Низкий отпуск**

Низкой отпуск производится в температурном диапазоне 120÷300 ºC. Выбор конкретного температурного режима зависит от марки металла и требуемого результата. Чаще всего таким способом снижают внутренние напряжения и несколько повышают вязкость инструментальных сталей, которым требуется повышенная твердость и стойкость к износу. При 120÷150 ºC изменения твердости не происходит, а только снижаются остаточные напряжения. Для ее уменьшения изделие необходимо нагреть как минимум до 200 ºC и выдерживать в этих условиях не менее одного часа. В интервале от 200 ºC до 300 ºC начинается формирование мартенсита отпуска и происходит уменьшение твердости с одновременным увеличением вязкости стали. В некоторых случаях в этом температурном диапазоне наблюдается значительное снижение вязкости, которое называют отпускной хрупкостью. Последствия этого явления устраняются дополнительной термообработкой. Кроме инструментальных, низкий отпуск с нагреванием до 250 ºC применяется и для конструкционных сталей, поверхность которых была подвергнута термохимической обработке.

**Средний отпуск**

 Средний отпуск предназначен для термообработки стальных изделий, которые должны сочетать в себе повышенную прочность и упругость с заданными параметрами вязкости. Как правило, таким способом отпускают рессорные и пружинные стали, работающие в режиме переменных динамических нагрузок. Температурный диапазон в этом случае составляет от 300 ºC до 450 ºC, а твердость снижается до 45÷50 HRC против 60÷63 при низкотемпературном отпуске. После такой термообработки сталь приобретает трооститную структуру. Выдержка при нагреве при среднем отпуске может составлять до нескольких часов, а охлаждение проводится естественным путем на спокойном воздухе.

**Высокий отпуск**

 Высокий отпуск проводится в температурном диапазоне, приближенном к критической точке: от 450 ºC до 650 ºC. После такой термообработки сталь становится пластичной, у нее повышается относительное удлинение и сужение, а также ударная вязкость. Это связано с тем, что металл приобретает структуру сорбита отпуска и у него на 95 % снижаются внутренние напряжения. Таким способом отпускают изделия, работающие в условиях ударных нагрузок: валы, оси, шатуны, детали прессов и кузнечных молотов. Если же сталь отпускать при 690 ºC, то в ее структуре будет превалировать зернистый перлит, а сама она будет иметь максимальную пластичность и минимальную прочность. У некоторых ванадиевых, хромовых и вольфрамовых сталей при отпускании с нагреванием до 560 ºC может происходить образование троостита, что ведет к повышению твердости (т. н. вторичная твердость).

Дополнительная литература: Заплатин В.Н. Справочное пособие по материаловедению (металлообработка): Учеб. пособие . – М.: Академия, 2017.

Задание на дом : написать конспект по теме в тетрадь.