



## Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

### Тема 1.5. Основы термической и химико-термической обработки стали и чугунов

#### Занятие №1.

##### Учебные вопросы:

1. Назначение, виды и режимы термообработки сталей и чугунов. Превращения в стали при нагреве и охлаждении
2. Отжиг стали, его виды, назначение, технология проведения
3. Нормализация стали, её сущность достоинства и недостатки

#### 1. Назначение, виды и режимы термообработки сталей и чугунов. Превращения в стали при нагреве и охлаждении

**Термической обработкой** называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры.

**Цель термической обработки** — получение в заготовке или детали необходимого комплекса свойств (механических, физических, химических) за счет образования необходимой структуры металла. Таким образом, по своей цели — изменение свойства материала, а не размеров и формы заготовки — термическая обработка отличается от других технологий (литье, сварка, обработка давлением и резанием).

Термическая обработка используется в качестве промежуточной операции для улучшения обрабатываемости резанием, давлением и др. и как окончательная операция технологического процесса, обеспечивающая заданный уровень физико-механических свойств детали.

Основными факторами любого вида термической обработки являются температура, время, скорость нагрева и охлаждения.

##### Виды термической обработки

Различают три основных вида термической обработки металлов:

- термическая обработка, которая предусматривает только температурное воздействие на металл;
- химико-термическая обработка, при которой в результате взаимодействия с окружающей средой при нагреве меняется состав поверхностного слоя металла и происходит его насыщение различными химическими элементами;
- термомеханическая обработка, при которой структура металла изменяется за счет термического и деформационного воздействия.

Термическая обработка может быть разупрочняющей, упрочняющей, стабилизирующей, а также иметь специальное назначение.

**Разупрочняющую** обработку проводят для придания заготовке необходимых технологических свойств (например, обрабатываемость резанием выше при низких твердости и прочности материала); **упрочняющую** — для получения необходимых эксплуатационных свойств детали; **стабилизирующую** — для стабилизации структуры и, таким образом, формы и размеров деталей.

Основные операции, которым подвергают детали и заготовки из сталей и чугунов, — это отжиг, закалка и отпуск.

#### 2. Отжиг стали, его виды, назначение, технология проведения

**Отжигом** называется вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.



**Целью отжига** является:

**разупрочнение металла** (заготовок) для обеспечения хорошей обрабатываемости резанием и давлением;

**исправление дефектов структуры**, образующихся при горячей пластической деформации, литье или сварке;

**устранение остаточных напряжений**, возникающих в процессе получения заготовок этими методами.

Ускоренное охлаждение при технологических процессах получения заготовок, связанных с нагревом, приводит к появлению напряжений и образованию неравновесной структуры, вызывающей повышение твердости. Это затрудняет их обрабатываемость резанием и понижает пластичность. При отжиге может происходить перекристаллизация, благодаря чему достигается измельчение зерна.

Существуют различные виды отжига: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный, низкий, нормализация.

**Полный отжиг** заключается в нагреве стали на 30—50°С выше верхней критической точки и последующем медленном охлаждении до 500—600°С. Скорость охлаждения для углеродистых сталей около 50—100°С/час. При этом происходит полная перекристаллизация стали и уменьшение величины зерна.

При полном отжиге снижается твердость и прочность стали, а пластичность повышается.

*В критической точке плотность жидкости и её насыщенного пара становятся равны, а поверхностное натяжение жидкости падает до нуля, поэтому исчезает граница раздела фаз жидкость—пар.*

*Для смеси веществ критическая температура не является постоянной величиной и может быть представлена пространственной кривой (зависящей от пропорции составляющих компонентов), крайними точками которой являются критические температуры чистых веществ — компонентов рассматриваемой смеси.*

**Полный отжиг** — нагрев стали на 30—50° выше верхней критической точки (линия GS) с последующим медленным охлаждением. При этом отжиге происходит полная перекристаллизация: при нагреве феррито-перлитная структура переходит в аустенитную, а при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит.

**Неполный отжиг** заключается в нагреве до температуры между нижней и верхней критическими точками и последующем медленном охлаждении.

При этом происходит лишь частичная перекристаллизация.

При неполном отжиге улучшается обрабатываемость резанием в результате снижения твердости и повышения пластичности стали.

**Неполный отжиг** отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры (на 30—50° выше температуры перлитного превращения). При этом произойдет перекристаллизация только перлитной составляющей. Это более экономичная операция, чем полный отжиг, так как нагрев производится до более низких температур.

**Диффузионный отжиг** (гомогенизация) заключается в нагреве стали до 1000—1100°С, длительной выдержке (10—15 часов) при этой температуре и последующем медленном охлаждении. В результате диффузионного отжига происходит выравнивание неоднородности стали по химическому составу. Благодаря высокой температуре нагрева и продолжительной выдержке получается крупнозернистая структура, которая может быть устранена последующим полным отжигом.



**Рекристаллизационный отжиг** предназначен для снятия наклепа и внутренних напряжений после холодной деформации и подготовки структуры к дальнейшему деформированию. Нагрев необходимо осуществлять выше температуры рекристаллизации, которая для железа составляет  $450^{\circ}\text{C}$ . Обычно для повышения скорости рекристаллизационных процессов применяют значительно более высокие температуры, которые, однако, должны быть ниже линии PSK диаграммы Fe—Fe<sub>3</sub>C. Поэтому температура нагрева для рекристаллизационного отжига составляет  $650\text{—}700^{\circ}\text{C}$ .

В результате рекристаллизационного отжига образуется однородная мелкозернистая структура с небольшой твердостью и значительной вязкостью.

1. **Дробеструйный наклёп** — упрочнение, которое достигается за счёт кинетической энергии потока круглой чугунной или стальной дроби, а также других круглых дробей, например керамической, направляемым скоростным потоком воздуха или роторным дробомётотом.

2. **Центробежно-шариковый наклёп (нагартовка)** — создаётся за счёт кинетической энергии шариков (роликов), расположенных на периферии обода, которые взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и отбрасываются вглубь гнезда.

**Низкий отжиг** применяется в тех случаях, когда структура стали удовлетворительна и необходимо только снять внутренние напряжения, возникающие при кристаллизации или после механической обработки. В этом случае сталь нагревают значительно ниже линии PSK диаграммы Fe—Fe<sub>3</sub>C ( $200\text{—}600^{\circ}\text{C}$ ).

**Нормализация** состоит из нагрева стали на  $30\text{—}50^{\circ}\text{C}$  выше верхней критической точки (линии GSE диаграммы Fe—Fe<sub>3</sub>C), выдержки при этой температуре и последующего охлаждения на воздухе. Более быстрое охлаждение по сравнению с обычным отжигом приводит к более мелкозернистой структуре.

Нормализация — более дешёвая термическая операция, чем отжиг, так как печи используют только для нагрева и выдержки. Для низкоуглеродистых сталей (до 0,3%С) разница в свойствах между нормализованным и отожжённым состоянием практически отсутствует и эти стали лучше подвергать нормализации. При большем содержании углерода нормализованная сталь обладает большей твердостью и меньшей вязкостью, чем отожжённая. Иногда нормализацию считают самостоятельной разновидностью термической обработки, а не видом отжига.

### 3. Нормализация стали, её сущность достоинства и недостатки

**Дефекты отжига и нормализации.** Дефекты возникают вследствие нарушения режимов нагрева (перегрев или недогрев, нарушение времени выдержки, нагрев в неподходящей атмосфере), а также ускоренного нагрева и охлаждения.

При слишком быстром нагреве происходит тепловое расширение только наружных слоев, поэтому в середине изделия возникают растягивающие напряжения, которые могут вызывать образование трещин. Это наиболее опасно для крупных заготовок. Вероятность возникновения трещин возрастает при нагреве сталей с плохой теплопроводностью и высоким температурным коэффициентом линейного расширения. Это стали, в состав которых входит большое количество легирующих элементов (например, коррозионно-стойкие хромоникелевые стали).

При слишком высоких температурах отжига и чрезмерно длительных выдержках происходит образование крупнозернистой структуры, называемой *структурой перегрева*. Перегрев характеризуется крупнокристаллическим блестящим изломом. Он может быть устранен отжигом с перекристаллизацией, нормализацией или улучшением (закалкой с высокотемпературным отпуском).

При весьма значительном превышении температуры сверх оптимальной возникает *пережог*. При пережоге происходит не только очень сильный рост зерна, но и оплавление металла по границам зерен. Пережог — неисправимый брак, который невозможно устранить термической обработкой.



Качество поверхности металла определяется атмосферой нагрева. Обычная печная атмосфера, как правило, окислительная из-за наличия окислительных газов (кислорода, водяного пара, углекислого газа и др.). Такая атмосфера вызывает **окалинообразование** и **обезуглероживание**. Наличие углеродсодержащих газов — оксида углерода, углеводородов — напротив, вызывает **науглероживание** поверхности.

Обезуглероживание связано с тем, что углерод окисляется (реагирует с кислородом) раньше, чем железо. Если скорость окисления больше скорости диффузии притекающего изнутри углерода, то происходит окалинообразование, так как в этом случае кислород окисляет и углерод, и железо.

С целью защиты изделия от обезуглероживания и окалинообразования применяют печи с защитной атмосферой или вакуумные, а при их отсутствии нагрев следует проводить в герметизированных, например с помощью глины, контейнерах (ящиках или трубах) с засыпкой древесным углем или чугуновой стружкой.