

## Тема 4. Термическая и химико-термическая обработка металлов и сплавов

### 4.3 Закалка стали

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.

#### *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 выравняться 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 стали — закаливаемость и прокаливаемость.

### **Закаливаемость**

Эта характеристика 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 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.

На прокаливаемость влияет критическая скорость закаливания — чем она (скорость) ниже, тем глубже прокаливается сталь. К примеру, крупнозернистая сталь, у которой небольшая критическая скорость закалки, прокаливается глубже, чем мелкозернистая сталь, у которой высокая критическая скорость закалки.

Глубина прокаливаемости зависит от исходной структуры закаливаемого сплава, температуры нагрева и закалочной среды. Прокаливаемость стали определяется по излому, микроструктуре и твердости.

### **Виды закалки стали**

Способов закаливания металла существует множество. Их выбор обусловлен составом стали, характером изделия, необходимой твердостью и условиями охлаждения. Часто используется ступенчатая, изотермическая и светлая закалка.

### **Закаливание в одной среде**

Большое содержание углерода в стальных деталях может вызвать объемные изменения структурных напряжений, а это, в свою очередь, грозит появлением трещин. Заэвтектонидные стали, имеющие простую форму, лучше закаливать в одной среде. Для закалки более сложных форм применяется закалка в двух средах или ступенчатая закалка.

Закаливание в двух средах применяется для инструментов, изготовленных из высокоуглеродистой стали. Сам метод состоит в том, что *сталь вначале охлаждается в воде до 300-400 градусов*, после чего ее переносят в масляную среду, где она прибывает пока полностью не охладится.

### Ступенчатая закалка

При ступенчатом закаливании стальная деталь помещается вначале в соляную ванну. Температура самой ванны должна быть выше температуры, при которой *происходит мартенситное превращение (240–250 градусов)*. После соляной ванны сталь перемешают в масло, либо на воздух. Используя ступенчатую закалку можно не бояться, что деталь покоробится или в ней образуются трещины. Недостаток такой закалки заключается в том, что ее можно применять лишь для заготовок из углеродистой стали с небольшим сечением (8–10 мм). Ступенчатая закалка может применяться для деталей из легированной стали с большим сечением (до 30 мм).

### Изотермическая закалка

Изотермическое закаливание проводится аналогично ступенчатой закалке. Однако, в горячей ванне сталь выдерживается дольше. Это делается так, чтобы *вызвать полный распад аустенита*. На схеме выдержка показывается на S-образной линии точками а и в. Сталь, прошедшая изотермическую закалку, может охлаждаться с любой скоростью. Средой охлаждения могут служить расплавленные соли.

Преимущества изотермического закаливания:

- сталь почти не поддается короблению;
- не появляются трещины;
- вязкость.

### Светлая закалка

Для проведения такого закаливания требуется специально оборудованная печь, снабженная защитной средой. На производстве, чтобы получить чистую и светлую поверхность у закаленной стали следует использовать ступенчатую закалку. После нее сплав охлаждается в расплавленной едкой щелочи. Перед процессом закалки *стальная деталь нагревается в соляной ванне из хлористого натрия с температурой на 30–50 градусов выше точки Ac1 (см «Схему критических точек»)*. Охлаждение детали проходит в ванне при 180–200 градусов. Охлаждающей средой служит смесь состоящая из 75% смеси едкого калия, 25% едкого натрия, в которую добавляется 6–8% воды (от веса соли).

### Закалка с самоотпуском

Светло-желтый	220°	
Желтый	230°	
Темно-желтый	240°	
Коричневый	255°	
Коричнево-красный	265°	
Фиолетовый	285°	
Темно-синий	295–310°	
Светло-синий	315–325°	
Серый	330°	

Рис. 20

Применяется при производстве инструментальной стали. Основная идея закалки заключается в изъятии стальной детали из охлаждающей среды до

момента ее полного охлаждения. Изъятие происходит в определенный момент. В сердцевине стальной детали сохраняется определенное количество тепла. За его счет и производится последующий отпуск. После того как за счет внутреннего тепла стальное изделие достигнет нужной температуры для отпуска, сталь помещают в закалочную жидкость, для окончательного охлаждения.

*Рисунок №20 — Таблица побежалости.*

Отпуск контролируется по цветам побежалости, которая формируется на гладкой поверхности металла при 220–330 градусах.

При помощи закалки самоотпуском изготавливаются кувалды, зубила, слесарные молотки и другие инструменты, от которых требуется высокая твердость на поверхности с сохранением внутренней вязкости.

#### Способы охлаждения при закаливании

При быстром охлаждении стальных изделий при закалке существует угроза возникновения больших внутренних напряжений, что приводит к короблению материала, а иногда и трещинам. Для того чтобы этого избежать там, где возможно, стальные детали лучше охлаждать в масле. Углеродистую сталь, для которой такое охлаждение невозможно, лучше охлаждать в воде. Кроме среды охлаждения на внутренне напряжение изделий из стали влияет, каким образом они погружаются в охлаждающую среду. А именно:

- изделия, имеющие толстую и тонкую часть, лучше погружать в закалочную жидкость сначала объемистой частью;
- если изделие имеет вытянутую форму (сверла, метчики), нужно погружать строго вертикально, в противном случае они могут покоробиться.

Иногда требуется закалить не всю деталь, а только ее часть. Тогда применяется местная закалка. Изделие нагревается не полностью, зато в закалочную жидкость погружают всю деталь.

#### Дефекты закалки сталей.

**Неполная закалка** — после закалки получается недостаточная твердость. Этот дефект образуется либо в результате недогрева перед закалкой (например, при нагреве доэвтектоидной стали ниже  $A_{с3}$ ).

Этот дефект устраняется повторной закалкой с правильным режимом. Коробление, закалочные трещины, изменение формы изделия — эти дефекты являются следствием возникновения внутренних напряжений I и II рода.

Закалочные трещины — образуются в изделиях после охлаждения их при температурах ниже точки  $M_n$ . С повышением содержания углерода возможность возникновения трещин увеличивается. Кроме того, этому способствуют повышенные температура закалки и скорость охлаждения (в интервале мартенситного превращения), резкие изменения сечения. Иногда трещины возникают в закаленных изделиях в процессе их вылеживания. Основная причина во всех случаях — внутренние напряжения I и II рода. Своевременный отпуск после закалки способствует предотвращению трещинообразования. Трещины — дефект неисправимый.

**Деформация и коробление** — происходят в результате термических и структурных неравномерных напряжений. Один из способов уменьшения

образования этих дефектов — медленное охлаждение деталей в области температур мартенситного превращения.

**Перегрев** — закалка с завышенной температуры. В результате получается крупноигольчатый мартенсит, изделия обладают повышенной хрупкостью. Мягкие пятна на поверхности детали (т. е. участки с пониженной твердостью) — результат образования при закалке на поверхности детали паровой рубашки, уменьшающей скорость охлаждения. Дефект исправляется повторной закалкой.

**Окисление и обезуглероживание поверхности изделия** — этот дефект возникает в результате взаимодействия печной атмосферы с поверхностными слоями детали при нагреве. Устраняется в результате проведения правильного режима термической обработки или нагревом, проведенным в нейтральных атмосферах (азоте, аргоне и т. д.).