

необходимых случаях ею можно воспользоваться как инструментом для создания новых, оригинальных технологических процессов путем комбинирования и перемещения методов и условий выполнения известных способов.

## **Глава 2**

# **УПРОЧНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

### **Отжиг и нормализация сталей**

**Отжиг.** Для получения структур, близких к равновесному состоянию, применяют отжиг – нагрев стали до заданной температуры, выдержку при ней и последующее медленное охлаждение. В процессе отжига улучшаются механические свойства и выравнивается химический состав стали, улучшается обрабатываемость ее на станках, уменьшаются остаточные деформации, осуществляется подготовка структуры стали для последующей термической обработки, изменяются свойства наклепанного металла. Поэтому отжиг как технологическая операция включается составной промежуточной частью в большинство комплексных технологических процессов упрочняющей обработки.

Проведение отжига способствует достижению заданных конечных свойств стали, упрочняемой другими методами обработки.

Различают следующие виды отжига: рекристаллизационный, полный, неполный; отжиг на зернистый перлит (сфероидизация); изотермический, низкотемпературный; диффузионный (гомогенизация).

*Рекристаллизационный отжиг* применяют для снятия наклепа холоднодеформированного металла. Нагрев при рекристаллизационном отжиге сталей марок У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, Х, 9ХС, ХВГ, 7ХЗ, ХВ4, 6ХВ2С осуществляют при температуре 670-700 °С; марок Х12, Х12М, Х12Ф1 – при 730-750 °С; марок Р18, Р9 – при 760-780 °С. Не более 1 ч детали выдерживают при температуре рекристаллизации.

*Полный отжиг* применяют для уменьшения твердости, снятия напряжений и исправления структуры послековки в случае неправильного нагрева для охлаждения технологической оснастки, изготовленной из доэвтектоидных и эвтектоидных сталей. В результате полного отжига происходит полная перекристаллизация металла, структура получается мелкозернистая с равномерным распределением перлита и феррита. При полном отжиге сталь нагревают до температуры, превышающей температуру, соответствующую точке  $A_{c3}$  (рис. 1) диаграммы железо-углерод (см. табл. 25), на 20-30 °С, выдерживают до полного прогрева, после чего охлаждают медленно до 600 °С, а затем – с любой скоростью.

*Неполному отжигу* подвергают доэвтектоидную сталь, прошедшую правильный режимковки. При этом сталь нагревают до температуры, находящейся между точками  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ , и выдерживают до полного прогрева.

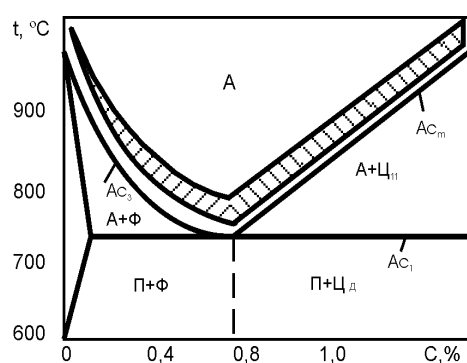


Рис. 1. Диаграмма температур нагрева при нормализации:  
 А – аустенит; П – перлит;  
 Ф – феррит; ЦII – вторичный цементит

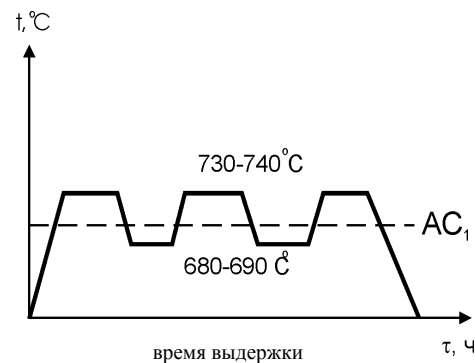


Рис. 2. Схема циклического режима отжига

Режим охлаждения такой же, что и при полном отжиге.

*Отжиг на зернистый перлит* применяют для снижения твердости, улучшения обрабатываемости и подготовки структуры стали к последующей закалке. При таком отжиге проводят нагрев выше температуры  $A_{c1}$  на 10-25 °С и выдерживают при этой температуре до полного прогрева. Отжиг на зернистый перлит можно проводить по циклическому режиму (рис. 2). Отжигаемые изделия несколько раз попеременно выдерживают при температуре, которая на 15-20 °С выше или ниже точки  $A_{c1}$ , после чего охлаждают с печью до температуры 550 °С.

*Изотермический отжиг* применяют для обработки легированных и высокоуглеродистых сталей. Назначение его такое же, что и назначение полного отжига. При изотермическом отжиге доэвтектоидную сталь нагревают до температуры выше точки  $A_{c3}$  на 30-50 °С, а заэвтектоидную сталь – на 30-50 °С выше точки  $A_{c1}$ . Выдерживают до полного прогрева, затем быстро охлаждают до температуры несколько ниже точки  $A_{c1}$ , выдерживают при этой температуре, после чего охлаждают с любой скоростью. Для проведения изотермического отжига требуется меньше времени, чем для полного отжига. Для быстрого охлаждения изделие переносят в печь с меньшей температурой или охлаждают при открытой дверце с последующим выравниванием температуры. Режимы изотермического отжига приведены в табл. 1.

*Низкотемпературный отжиг* применяют для снижения твердости и снятия внутренних напряжений в технологической оснастке из заэвтектоидных сталей. Изделие нагревают до температуры, которая на диаграмме несколько ниже линии  $A_{c1}$  [примерно до температуры 680 °С (температура отпуска)], выдерживают до полного прогрева, затем охлаждают вместе с печью или на воздухе. Процесс называют отжигом условно.

*Диффузионный отжиг* применяют для крупных литых кубиков из штампованных сталей. При этом изделия нагревают выше  $A_{c3}$  на 150-250 °С и после длительной выдержки медленно охлаждают с печью. Цель процесса – устранение химической неоднородности и грубой структуры литых сталей.

### 1. Режимы изотермического отжига инструментальных сталей

Сталь	Температура, °С		Твердость НВ
	Нагрева	Изотермической выдержки	
У9, У10	740—750	600—650	170—197
У11, У12, У13	750—780	620—660	187—207
Х, ХВГ	770—800	670—720	190—228
9ХС, Х12М, Х12Ф1	850—870	720—750	217—255
Р18, Р9	830—850	720—750	217—255

После диффузионного отжига необходим полный отжиг для устранения структурных изменений, вызванных перегревом.

Для выбора режимов отжига различных инструментальных сталей следует пользоваться данными табл. 25. Скорость нагрева при отжиге должна быть такой, при которой обеспечивается равномерный нагрев всей садки, и для углеродистой и легированной стали принимается равной 100 °С/ч; для высокохромистой и быстрорежущей стали – равной 50 °С/ч.

Выдержка при отжиге составляет 1-2 ч в камерных печах и 2-4 ч в шахтных неветилируемых печах (из-за замедленного прогрева центральной части партии заготовок). Время выдержки в камерных печах отсчитывают от момента достижения температуры печи, равной температуре окончательного нагрева и определяемой по показаниям приборов. До этого момента происходит выравнивание температуры по всему объему садки.

Охлаждение после отжига проводят по одной из двух технологических схем:

I схема – непрерывное охлаждение с печью до температуры 500 °С со скоростью 50 °С/ч для углеродистых сталей и 25-30 °С/ч – для легированных и быстрорежущих; дальнейшее охлаждение проводят на воздухе, скорость его охлаждения не регламентируется. Отжиг с непрерывным охлаждением проводят в камерных и шахтных печах при общей массе партии заготовок более 300 кг;

II схема – охлаждение с изотермической выдержкой, дальнейшее охлаждение до температуры 500 °С с печью, а затем на воздухе. Охлаждение от температуры отжига до температуры изотермической выдержки при этой схеме не регламентируется. Оно проводится при выключенной печи. Дверцы открывать запрещается во избежание неравномерного охлаждения заготовок. Время на охлаждение с изотермической выдержкой составляет 1-2 ч для углеродистой стали, 3-4 ч для легированной и 3-8 ч для быстрорежущей. Изотермический отжиг следует проводить в камерных или шахтных печах с программным регулированием температуры.

Детали из сталей У7, У7А, У8, У8А, У10, У10А, У12, У12А сечением до 8 мм<sup>2</sup> (метчики сечением до 12 мм<sup>2</sup>) охлаждают в расплаве солей или щелочей, а сечением более 8 мм<sup>2</sup> – в 5-10%-м водном растворе поваренной соли или щелочи до температур, указанных в табл. 1. Отжиг инструмента из быстрорежущей стали в карбюризаторе или в чистом древесном угле не разрешается, так как при этом происходит поверхностное науглероживание, в результате чего в процессе последующей закалки оплавляются режущие кромки. Отжиг такого инструмента проводят в контролируемой атмосфере, в отработанном карбюризаторе либо в

угле с добавлением 10-15% кальцинированной соды.

**Нормализация.** Процесс нагрева стали на 30-50 °С выше температур, соответствующих линии  $A_{c3}$  (см. рис. 1); выдержку при этой температуре и последующее охлаждение на спокойном воздухе называют нормализацией.

## 2. Температура нагрева сталей при нормализации

Содержание С, %	$t_{\text{норм}}, ^\circ\text{C}$	Содержание С, %	$t_{\text{норм}}, ^\circ\text{C}$
0,1	От 920 до 940	0,8	От 775 до 790
0,2	» 890 » 910	1,0	» 830 » 850
0,4	» 850 » 870	1,2	» 900 » 920
0,6	» 800 » 820	1,4	» 950 » 970

**Примечание.** С – углерод;  $t_{\text{норм}}$  – температура нагрева при нормализации.

Нормализацию применяют, в основном, для снятия внутренних напряжений и улучшения обрабатываемости стали. Практически температуру нормализации углеродистых сталей можно выдерживать в пределах, указанных в табл. 2.

## Закалка сталей

**Способы закалки.** Операцию, при которой доэвтектоидную сталь нагревают на 20-30 °С выше температур, соответствующих линии  $A_{c3}$ , а эвтектоидную и заэвтектоидную стали – на 20-30 °С выше линии  $A_{c1}$  и после выдержки при этой температуре быстро охлаждают в воде, масле или на воздухе (в зависимости от состава стали), называют *закалкой* (рис. 3).

В результате закалки получают неравномерные структуры, так как быстрое охлаждение препятствует фазовым превращениям. После закалки сталь становится твердой и хрупкой. Структура закаленной стали состоит из мартенсита, нерастворившихся карбидов и остаточного аустенита. Заэвтектоидную сталь не следует нагревать перед закалкой до температур, находящихся на диаграмме выше

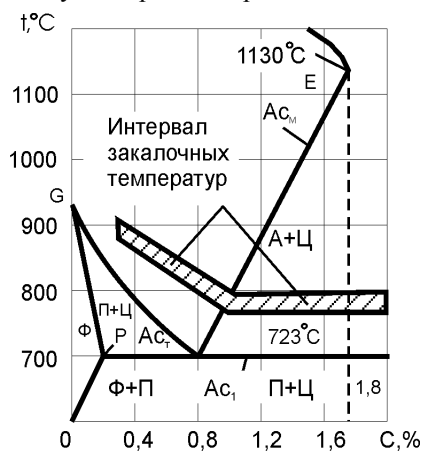


Рис. 3. Диаграмма закалочных температур для углеродистых сталей

линии  $A_{c_m}$ , так как при этой температуре происходит перегрев стали и снижается качество технологической оснастки. Способы закалки отличаются условиями нагрева и охлаждения стали. Выбор способа закалки зависит от состава стали, требуемых свойств и сложности изделий.

Различают следующие способы закалки: полную, неполную, с непрерывным охлаждением, изотермическую, ступенчатую, с подстуживанием, проводимую в двух жидких средах или с ограниченным пребыванием в охлаждающей среде, с самоотпуском, сквозную, несквозную, обычную, чистую, светлую, с обработкой холодом. Сочетание способов позволяет создать в закаленной стали структуру,