

**Цель работы:** изучить технологию основных видов термической обработки углеродистых сталей (отжига, нормализации, закалки, отпуска) и установить зависимость твёрдости сталей от скорости охлаждения и температуры отпуска.

**Оборудование рабочего места:** образцы сталей 45, У8, У12, электропечи, термометры, милливольтметры, клещи, бачки с охлаждающей жидкостью (вода и масло), заточный станок, учебная литература.

## **1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучить теоретические основы термообработки стали.
2. Определить твёрдость отожжённых образцов сталей 45, У8, У12.
3. По диаграмме состояния сплавов железо – цементит установить температуру нагрева различных исследуемых сталей для проведения отжига, нормализации и закалки.
4. Определить время выдержки сталей при выбранных температурах нагрева для проведения отжига, нормализации и закалки.
5. Провести нагрев, выдержку в электропечи, отжиг образцов различных сталей с охлаждением вместе с печью, нормализацию с охлаждением на воздухе, закалку с охлаждением в масле и воде.
6. Определить твёрдость образцов различных сталей после отжига, нормализации, закалки в масле и воде.
7. Вычертить график зависимости твёрдости сталей от скорости охлаждения.
8. Оформить результаты исследований в виде табл. 1.
9. Провести низкий, средний и высокий отпуск предварительно закалённых в воде образцов исследуемых сталей. Для этого образцы сталей нагреть до соответствующей температуры отпуска, выдержать в электропечи требуемое время и охладить на воздухе.
10. Замерить твёрдость образцов исследуемых сталей после низкого, среднего и высокого отпуска.
11. Вычертить график зависимости твёрдости сталей от температуры отпуска.
12. Оформить результаты исследований в виде табл. 2.

Таблица 1. Результаты исследований твёрдости и структуры сталей после отжига, нормализации и закалки

№ п/п	Марка стали и её исходная термообработка	Исходная твёрдость, HRC	Вид термообработки	Температура нагрева $t$ , °C	Время выдержки $t_v$ , мин	Охлаждающая среда	Скорость охлаждения $V_o$ , град/с	Твёрдость после термообработки, HRC	Структура после термообработки

Таблица 2. Результаты исследований твёрдости и структуры сталей после низкого, среднего и высокого отпуска

№ п/п	Марка стали и её исходная термообработка	Исходная твёрдость, HRC	Вид отпуска	Температура отпуска $t$ , °C	Время выдержки $t_v$ , мин	Охлаждающая среда	Твёрдость после отпуска, HRC	Структура после отпуска

## 2. ОСНОВЫ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ

Термической обработкой называют технологический процесс, проводимый для получения требуемых структур и свойств сталей, обеспечивающих надёжную эксплуатацию изготавливаемых из них деталей машин. Процесс состоит из нагрева стали до определённой температуры, выдержки необходимой длительности и последующего охлаждения с заданной скоростью. Режим термической обработки может быть представлен графически в координатах температура – время (рис. 1). Основные параметры режима обработки: температура нагрева  $T_n$ ; скорость нагрева  $V_n$ ; время выдержки  $t_v$  при выбранной температуре нагрева  $T_n$  и скорость охлаждения  $V_o$ . В результате необходимые свойства получают, изменяя микроструктуру стали без изменения её химического состава.

Нагрев или охлаждение с постоянной скоростью на графике термической обработки изображаются прямой линией с определённым углом наклона. При неравномерной скорости нагрева или охлаждения

истинная мгновенная скорость определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой нагрева или охлаждения при заданной температуре, т. е. является первой производной от температуры по времени:

$$V = dT / dt.$$

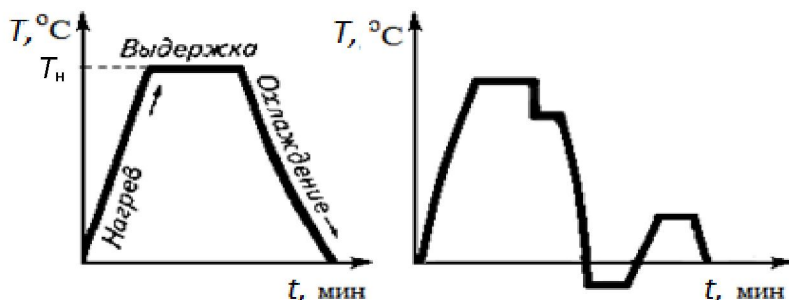


Рис. 1. Графики простой и сложной термической обработки

Термическая обработка может быть простой и сложной (рис. 1), состоящей из многочисленных нагревов, прерывистого и ступенчатого нагрева и охлаждения, охлаждения в области отрицательных температур и т. д.

Температуру нагрева углеродистой стали в зависимости от вида термической обработки и содержания углерода выбирают по диаграмме железо – цементит ( $Fe - Fe_3C$ ), а также по справочникам и уточняют экспериментально. Поскольку мы рассматриваем термообработку стали, то нас будут интересовать только железоуглеродистые сплавы с концентрацией углерода до 2,14 %. Интересующий нас участок диаграммы  $Fe - Fe_3C$  с указанием видов термообработки стали приведён на рис. 2. Температура нагрева и длительность выдержки должны обеспечить превращение исходной структуры полностью или частично в аустенит.

При последующем рассмотрении температур нагрева для проведения различных видов термообработки примем, что критическая температура  $A_1$  лежит на линии  $PSK$  ( $727^\circ C$ ),  $A_3$  – на линии  $GS$ ,  $A_m$  – на линии  $SE$ . При нагреве и охлаждении стали температуры критических точек  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_m$  могут не совпадать, поэтому критические точки при нагреве обозначаются соответственно  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{cm}$ , а при охлаждении –  $A_{r1}$ ,  $A_{r3}$ ,  $A_{rm}$ .

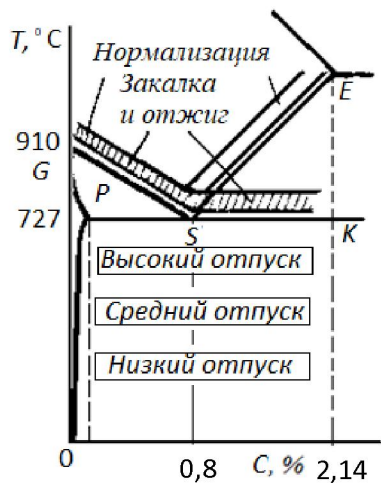


Рис. 2. Температуры нагрева стали для проведения основных видов термообработки

Как видно из рис. 2, существуют четыре основных вида термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

**Отжиг** – термическая обработка, при которой сталь нагревают до температур ( $A_{c3}$  или  $A_{c1}$ ) + (30...50) °C и после длительной выдержки, необходимой для прохождения фазовых превращений, медленно охлаждают вместе с печью.

**Полный отжиг** применяется для получения мелкозернистой структуры в основном доэвтектоидных сталей, содержащих менее 0,8 % углерода. Сталь нагревают выше температур  $A_{c3}$  (до аустенитного состояния). После медленного охлаждения получается равновесная структура феррит + перлит. В результате измельчается зерно, увеличивается пластичность, ударная вязкость, снижается твёрдость.

**Неполный отжиг** характеризуется нагревом до температур выше критической точки  $A_{c1}$ . Его применяют для эвтектоидных и в основном заэвтектоидных сталей. После отжига получается следующая структура: для эвтектоидных сталей – перлит, для заэвтектоидных – перлит + цементит вторичный с твёрдостью 15...20 HRC и высокой пластичностью. В результате заэвтектоидные стали приобретают структуру зернистого перлита, в связи с чем металл менее склонен к перегреву, об-

разованию трещин и деформации при последующей закалке, а также хорошо обрабатывается резанием.

**Нормализация** – операция термической обработки, состоящая в нагреве сталей до температур ( $A_{c3}$  или  $A_{cm}$ ) + (30...50) °С (см. рис. 2), выдержке при этой температуре с последующим охлаждением на спокойном воздухе. После нормализации стали начинают отклоняться от структурно равновесного состояния, однако имеют ту же структуру, что и после отжига, т. е. феррит + перлит, перлит или перлит + цементит вторичный (в зависимости от содержания углерода) с твёрдостью 20...25 HRC. По сравнению с отожжёнными нормализованные стали менее пластичны, более тверды и прочны, имеют более измельчённую структуру, что очень важно для устранения крупнозернистости, полученной при предшествующей обработке, например при литье, ковке, прокате. Нормализацию часто используют для улучшения свойств стали вместо закалки и отпуска. Заводы-изготовители чаще поставляют стальной прокат в отожжённом или нормализованном состоянии.

**Закалка** – операция термической обработки, состоящая в нагреве доэвтектоидных сталей выше критической точки  $A_{c3}$  на 30...50 °С, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше критической точки  $A_{c1}$  также на 30...50 °С (см. рис. 2), выдержке при этой температуре с последующим быстрым охлаждением в воде, минеральном масле и других охлаждающих средах со скоростью больше критической  $V_{кр}$ .

Критической скоростью закалки называют минимальную скорость охлаждения, обеспечивающую превращение переохлаждённого аустенита в мартенсит (рис. 3). При образовании мартенсита происходят значительные искажения кристаллической решётки, создается высокая плотность дислокаций, нарушается равенство межатомных сил и в стали накапливается значительная потенциальная энергия. Сталь приобретает высокую твёрдость и прочность, что и является целью закалки, но пластичность при этом падает.

Закалке подвергают углеродистые стали, содержащие более 0,3 % углерода. При меньшем содержании углерода стали практически не закаляются, так как скорость охлаждения даже в воде меньше необходимой критической скорости закалки.

При скорости охлаждения  $V$  меньше критической  $V_{кр}$  происходит превращение аустенита в троостит закалки, сорбит закалки и перлит, т. е. образуется ферритно-цементитная механическая смесь по схеме  $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}(C) + Fe_3C$ .

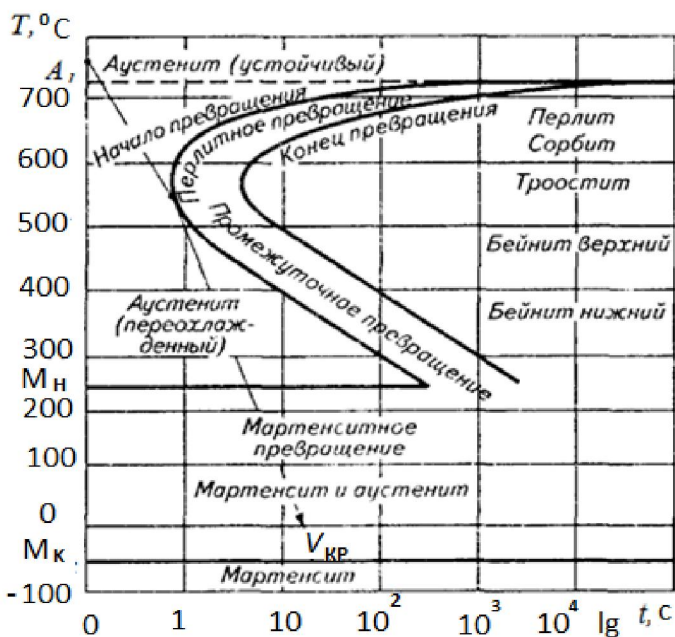


Рис. 3. Диаграмма изотермического превращения аустенита в стали, содержащие 0,8 % углерода

Получаемые структуры отличаются друг от друга размером зёрен и степенью дисперсности цементита  $Fe_3C$ . Троостит закалки  $T_3$  – более дисперсная структура, чем сорбит закалки, а сорбит закалки  $C_3$  – более дисперсная структура, чем перлит П. Частички цементита у этих структур имеют пластинчатое строение.

Троостит закалки – высокодисперсная механическая смесь феррита и цементита ( $\Phi + \Psi$ ), имеет меньшую твёрдость (35...55 HRC), чем мартенсит закалки. Сталь с этой структурой имеет хорошую вязкость, упругость и высокий предел пропорциональности.

Сорбит закалки – дисперсная механическая смесь феррита и цементита ( $\Phi + \Psi$ ), обладает меньшей твёрдостью (25...35 HRC), чем троостит закалки, но имеет большую вязкость при сравнительно высоком пределе пропорциональности.

Перлит – эвтектоидная механическая смесь феррита и цементита ( $\Phi + \Psi$ ), имеет меньшую твёрдость (20...25 HRC), чем сорбит закалки.

Закалку классифицируют по следующим признакам: температуре нагрева и применяемым охлаждающим средам.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку стали.

**Полную закалку** применяют только для доэвтектоидных сталей. Она заключается в нагреве стали выше температуры критической точки  $A_{c3}$  на 30...50 °С. При этой температуре происходит полное превращение исходной структуры в аустенит. После охлаждения со скоростью больше критической получается микроструктура, состоящая из мелкоигольчатого мартенсита. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении. Для каждой стали данный процесс начинается и заканчивается при определённой температуре. Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой  $M_n$ , а температуру окончания превращения –  $M_k$ . Температуры точек  $M_n$  и  $M_k$  зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения. Повышенное содержание углерода в сталях снижает температуры начала и конца мартенситного превращения (рис. 4). В сталях, содержащих более 0,6 % углерода, кроме мартенсита сохраняется остаточный аустенит. Полное мартенситное превращение для таких сталей уходит в область отрицательных температур (рис. 3, 4).

Изменение температурного интервала нагрева стали приводит к следующему. При нагреве доэвтектоидных сталей выше критической точки  $A_{c1}$ , но ниже  $A_{c3}$ , т. е. между линиями  $GS$  и  $PS$  (см. рис. 2), получается микроструктура, состоящая из аустенита и феррита. После закалки в данном температурном диапазоне структура состоит из мартенсита и феррита и называется пятнистой. Наличие в структуре феррита ведёт к снижению твёрдости и ударной вязкости закалённой стали. Такая закалка доэвтектоидных сталей называется неполной и приводит к получению производственного брака. Перегрев доэвтектоидных сталей, т. е. нагрев их до температур, превышающих температуру критической точки  $A_{c3}$  на 150...200 °С, вызывает рост зерна аустенита, что увеличивает склонность стали к появлению деформаций. Структура перегретой закалённой стали состоит из крупнозернистого мартенсита, обладает пониженной ударной вязкостью, склонна к образованию трещин при закалке. Такая сталь также относится к браку.

**Неполная закалка** применяется для эвтектоидных и заэвтектоидных сталей, которые в основном являются инструментальными, и заключается в нагреве выше температуры критической точки  $A_{c1}$  на 30...50 °С с последующей выдержкой и охлаждением со скоростью

больше критической. Микроструктура заэвтектоидной стали после неполной закалки состоит из мартенсита, вторичного цементита и остаточного аустенита.

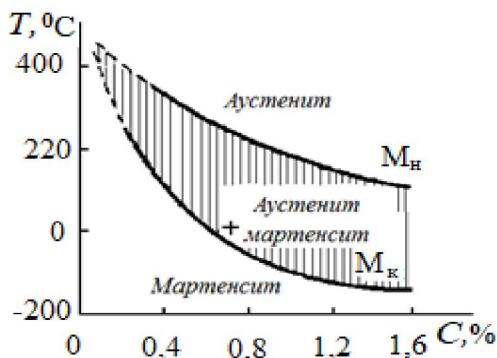


Рис. 4. Влияние содержания углерода на температуры начала и конца мартенситного превращения

Такая закалка позволяет использовать одно из свойств цементита — его высокую твёрдость, что необходимо для инструментальных сталей. Наличие остаточного аустенита нежелательно, так как он значительно мягче мартенсита, снижает общую твёрдость и является нестабильной фазой, склонной к превращению.

Полная закалка заэвтектоидных сталей с нагревом до температур, превышающих температуры на линии  $A_{cm}$ , ведёт к получению структуры крупноиглочатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита без вторичного цементита. Такую структуру считают браком, так как она вызывает повышение внутренних напряжений, коробление, трещины, пониженные ударную вязкость и твёрдость.

В зависимости от применяемой охлаждающей жидкости различают непрерывную, прерывистую, ступенчатую и изотермическую закалку.

Охлаждающими средами при закалке углеродистых сталей служат вода, водные растворы солей, щелочей, кислот, масло. Охлаждающие среды должны обеспечивать высокую скорость охлаждения (см. рис. 3) в интервале температур диффузионного превращения аустенита (интервал I — температура от  $727^\circ\text{C}$  до  $M_n$ ), а во избежание распада переохлаждённого аустенита в ферритно-цементитную смесь необходима низкая скорость охлаждения в интервале мартенситных превращений (интервал II — от  $M_n$  до  $M_k$ ). Мартенситное превращение чувствительно

к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше  $M_n$ .

Вода охлаждает быстро. В интервале I это является её преимуществом, а в интервале II может привести к образованию закалочных трещин. Масло охлаждает медленно. В интервале I это может привести к распаду переохлаждённого аустенита, а в интервале II считается его преимуществом. В масле закалывают легированные стали, которые имеют небольшую критическую скорость закалки.

**Непрерывная закалка**, или закалка в одном охладителе (рис. 5, кривая 1), применяется для изделий несложной формы. Изделия из углеродистых сталей, нагретые до заданной температуры, охлаждают в воде; из легированных – в масле. При использовании воды высокая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения может привести к образованию таких дефектов, как трещины и коробление. Для легированных сталей применяют нагретое минеральное масло с температурой 60...90 °С. Масло обеспечивает относительно невысокую скорость охлаждения, что предотвращает образование закалочных структур.

**Прерывистую закалку**, или закалку в двух средах (рис. 5, кривая 2), применяют для инструментов небольшого сечения. До температуры 300...400 °С охлаждение проводят в воде, а затем в масле. Образуется мартенситная структура. После такой закалки уменьшаются коробление, деформация, микротрещины.

**Ступенчатую закалку** (рис. 5, кривая 3) используют для изделий небольшого сечения. При данной закалке нагретую деталь переносят в расплав соли (селитры) с температурой ~300 °С (несколько выше линии  $M_n$ ), выдерживают в этой среде до выравнивания температуры по всему сечению и затем охлаждают на воздухе. При охлаждении на воздухе превращение аустенита в мартенсит происходит одновременно по всему объёму изделия. В результате значительно уменьшаются внутренние напряжения.

**Изотермическая закалка** (рис. 5, кривая 4) – единственная, при которой не получается мартенсит. Выдержку проводят в соляной ванне при температуре, соответствующей бейнитному превращению (выше критической точки на линии  $M_n$ ), до полного превращения аустенита в нижний бейнит с последующим охлаждением на воздухе.

**При закалке с самоотпуском** охлаждение изделия, нагретого под закалку, ведут не до конца. За счёт тепла внутренних слоёв детали верхний, охлаждённый слой разогревается до 200...260 °С, в результате чего происходит самоотпуск. Закалку с самоотпуском применяют для

зубил, кувалд, слесарных молотков и другого ударного инструмента, который должен иметь достаточно высокую твёрдость на поверхности и сравнительно вязкую сердцевину.

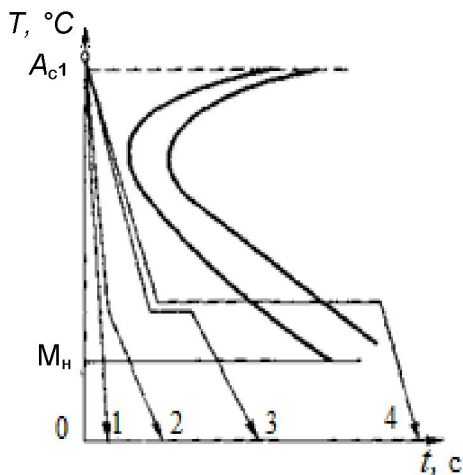


Рис. 5. Кривые охлаждения при различных способах закалки в зависимости от охлаждающей среды:  
 1 – непрерывной; 2 – прерывистой;  
 3 – ступенчатой; 4 – изотермической

**Отпуск** – обязательная операция после закалки. Структура закалённой стали состоит из мартенсита или мартенсита и остаточного аустенита. Эти структуры нестабильные. Кроме того, из-за высоких внутренних напряжений закалённая сталь при высокой твёрдости и прочности имеет низкие ударную вязкость, пластичность и предел упругости, вследствие чего она малопригодна для использования.

Цель отпуска – уменьшение внутренних напряжений и получение структуры с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Отпуск – операция термической обработки, заключающаяся в нагреве закалённой (как правило, на мартенсит) стали до температур ниже критической точки  $A_{c1}$ , выдержке при этой температуре с последующим медленным или быстрым охлаждением до температуры окружающего воздуха. Обычно при отпуске охлаждение ведётся на воздухе. У некоторых сталей, легированных хромом и марганцем, в условиях медленного охлаждения на воздухе при температурах отпус-

ка 450...550 °С появляется отпускная хрупкость второго рода. Для её устранения следует охлаждать такие стали не на воздухе, а в масле, а крупные детали даже в воде.

В зависимости от температуры нагрева различают следующие виды отпуска: низкий, средний, высокий.

**Низкий отпуск** применяют для режущего и мерительного инструмента, а также для деталей машин, подвергнутых поверхностной закалке или закалке после цементации и цианирования. Закалённые изделия нагревают до температуры 150...250 °С и выдерживают в течение необходимого времени. В процессе низкого отпуска атомы углерода образуют на гранях решётки высокодисперсный карбид железа ( $\epsilon$ -фазу), что приводит к снижению тетрагональности мартенсита. Полученная структура, называемая **мартенситом отпуска**, обеспечивает почти такую же твёрдость и износостойкость, что и после закалки, но при этом снижаются внутренние напряжения, повышаются ударная вязкость и пластичность.

**Средний отпуск** заключается в нагреве закалённых изделий до температуры 350...500 °С с последующей выдержкой. В указанном интервале температур завершается диффузионное превращение остаточного аустенита в мартенсит отпуска, карбид железа обособляется от решётки мартенсита, происходит диффузия углерода из мартенсита, который превращается в феррит. В результате образуется упругая структура, называемая **троостит отпуска** и представляющая собой мелкодисперсную смесь феррита и цементита. При этом происходит дальнейшее снижение твёрдости, уменьшаются остаточные напряжения. В результате среднего отпуска сталь приобретает повышенную упругость при твёрдости 38...44 HRC. Среднему отпуску подвергают пружины, рессоры, ударный инструмент (зубила, штампы и др.).

**Высокий отпуск** применяют для деталей, испытывающих ударные и знакопеременные нагрузки: шатунов двигателей, полуосей, осей автомобилей и тракторов, болтов, пальцев, валов и др. Закалённые изделия нагревают до температуры 500...650 °С. Происходит коагуляция и сфероидизация, т. е. укрупнение и округление цементитных частиц в ферритной основе. В результате получается структура, называемая **сорбитом отпуска**, твёрдость и прочность при этом понижаются, а пластичность и ударная вязкость возрастают. Закалку с последующим высоким отпуском называют **улучшением**.

Отпуск при температурах 600...700 °С может применяться для отдельных деталей и инструментов (клапаны двигателей внутреннего

сгорания, штампы по горячей штамповке), а также вместо нормализации и отжига для улучшения обрабатываемости резанием термически упрочнённых высокоуглеродистых и легированных сталей.

Время выдержки при отпуске зависит от температуры отпуска и размеров детали. Охлаждение углеродистых сталей после отпуска можно проводить с любой скоростью, поскольку оно не вызывает в стали каких-либо дополнительных структурных изменений. Однако чрезмерно быстрое охлаждение может вызвать образование термических напряжений (особенно в деталях сложной формы). Поэтому углеродистые стали обычно охлаждают на воздухе.

### 3. ПРАКТИКА ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ

При проведении отжига, нормализации и закалки стали температуры нагрева устанавливаются по диаграмме Fe – Fe<sub>3</sub>C, фрагмент которой приведён на рис. 2. Температуры нагрева для отжига и закалки различных сталей приняты на 30...50 °C выше линии *GSK*, для нормализации – на 30...50 °C выше линии *GSE*.

Температуры отпуска находятся на диаграмме Fe – Fe<sub>3</sub>C ниже линии *PSK* (727 °C). Температуру низкого отпуска принимаем равной 200, среднего – 400, высокого – 600 °C.

Для нагрева образцов из различных сталей в лабораторных условиях широко применяются электропечи сопротивления с нагревательными элементами из нихрома (X20H80) или его заменителей.

Контроль температур нагрева (до 1000 °C) проводится с помощью термопар группы ХА (хромель-алюмелевые) и милливольтметров. Могут быть применены и другие термопары, оптические пирометры, сампишущие потенциометры, приборы автоматического контроля и регулирования температур. Визуальный контроль температур проводится по цветам каления и цветам побежалости (плакат).

Скорость нагрева деталей зависит от их формы и размеров, массы электропечи, её мощности, футеровки, тепловых потерь, температуры рабочего пространства электропечи при загрузке деталей и т. д. Температура рабочего пространства электропечи, подготовленной для загрузки деталей, может быть ниже требуемой температуры нагрева или в случае простой конфигурации деталей выше на 50...100 °C.

Температура рабочего пространства электропечи при загрузке деталей должна быть такой, чтобы обеспечить их нагрев без короблений и трещинообразований.

Время выдержки деталей при установленных температурах различных видов термообработки определяется исходя из того, чтобы исходная структура стали полностью превратилась в аустенит или произошли все необходимые структурные превращения. Время выдержки деталей при определённой температуре зависит от температуры нагрева, формы и размеров деталей, плотности их укладки в печи, химического состава стали и других факторов. В табл. 3 приведены примерные значения времени выдержки деталей различной формы в минутах на 1 мм диаметра или толщины, изготовленных из углеродистых сталей, при их нагреве в лабораторных электропечах.

Таблица 3. Время выдержки деталей в лабораторных электропечах  $t$ , мин

Температура нагрева $T$ , °С	Время выдержки на 1 мм диаметра или толщины		
	Форма детали		
	Круг	Квадрат	Пластина
200	4,0	5,5	7,5
400	3,0	4,5	6,0
600	2,0	3,0	4,0
800	1,0	1,5	2,0
100	0,4	0,6	0,8

Скорость охлаждения деталей определяется получением требуемой структуры и регулируется охлаждающими средами (табл. 4). Если скорость охлаждения, например, при закалке будет недостаточной, то не получится наибольшая твёрдость, если завышенной – могут быть коробления и трещины закаливаемой детали. Охлаждающая среда подбирается исходя из выполняемой термической операции и зависит также от формы, размеров деталей и химического состава сталей.

Таблица 4. Скорость охлаждения в различных охлаждающих средах  $V$ , град/с

Охлаждающая среда	Интервал температур, °С	
	650...550	300...200
10%-ный раствор NaCl в воде температурой 18 °С	1100	300
Вода температурой 18 °С	600	270
Вода температурой 50 °С	100	270
Вода температурой 74 °С	30	200
Эмульсия масла в воде	70	200
Мыльная вода	30	200
Минеральное масло	150	30
Воздух	30	20
Стальные плиты	35	15

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать краткое описание основных видов термообработки сталей и их применения, результаты исследований твёрдости и структуры сталей после различных видов термообработки (см. табл. 1, 2), графики зависимости твёрдости термически обработанных сталей от скорости охлаждения и твёрдости сталей от температуры отпуска, выводы по результатам выполненной работы.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы режимы и применение отжига, нормализации, закалки и отпуска сталей?
2. Назовите температуры нагрева при проведении отжига, нормализации, закалки и отпуска сталей.
3. Какие структурные превращения происходят при отжиге, нормализации, закалке и отпуске?
4. Чем объяснить определённые значения твёрдости мартенсита, троостита, сорбита и перлита?
5. Как влияет скорость охлаждения при проведении отжига, нормализации и закалки сталей на их твёрдость?
6. Как влияет температура отпуска на твёрдость сталей?
7. Почему после закалки нужно проводить отпуск сталей?
8. Чем отличаются троостит и сорбит закалки от троостита и сорбита отпуска?
9. Для каких целей применяется низкий, средний и высокий отпуск?
10. Для каких деталей и инструментов применяется низкий, средний и высокий отпуск?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев, Е. Т. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учеб. пособие / Е. Т. Кондратьев. – Москва: Колос, 1992. – 272 с.
2. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов: учеб. пособие / В. А. Оськин [и др.]; под общ. ред. В. А. Оськина, В. Н. Байкаловой. – Москва: КолосС, 2007. – 318 с.: ил.
3. Оськин, В. А. материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник: в 2 кн. / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. – Москва: КолосС, 2007. – Кн. 1. – 447 с.
4. Термическая обработка стали: метод. указания / Белорус. с.-х. акад.; сост.: В. А. Валетов, Н. А. Шилов, В. А. Курочкин. – Горки, 1998. – 16 с.