

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

**МЕТОДЫ ФИНИШНОГО УПРОЧНЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ для студентов  
направления 15.04.01 «Машиностроение»  
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик  
при изготовлении изделий в автоматизированном  
машиностроительном производстве»)  
всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 621.01 (07)  
ББК 34.5я7

**Составитель**

д-р техн. наук, профессор С. Ю. Жачкин

**Методы финишного упрочнения поверхностей деталей машин:** методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точностных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 14 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по технологиям упрочнения поверхностей деталей машин, рассматриваются вопросы обеспечения качества упрочнения технических объектов.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.ПР.МФУПДМ. pdf.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 621.01(07)**  
**ББК 34.5 я7**

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## Практическая работа № 1

### КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Методы упрочнения металлов можно условно разделить на шесть основных классов (табл. 1). Методами одного класса осуществляются процессы различных типов.

Таблица 1

Классификация методов упрочнения

Класс методов упрочнения	Метод	Типы процессов
1. Упрочнение созданием пленки на поверхности изделия	Осаждение химической реакции	Химическое оксидирование, никелирование, сульфидирование, кадмирование, фосфатирование, нанесение упрочняющего смазочного материала, осаждение из газовой фазы
	Электролитическое осаждение	Электролитическое хромирование, никелирование, никельфосфатирование, борирование, борохромирование, хромофосфатирование.
	Осаждение твердых осадков из паров	Электроискровое легирование, катодно-ионная бомбардировка, прямое электронно-лучевое испарение, реактивное электронно-лучевое испарение, электрохимическое испарение, термическое испарение тугоплавких соединений
	Напыление износоустойчивых соединений	Плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление
2. Упрочнение изменением химического состава поверхностного слоя металла	Диффузионное насыщение	Химико-термическое нитрооксидирование, нитроцементация, цементация, карбонитрация, карбохромирование, азотирование, хромоазотирование, хромотитанирование, хромосилицирование, хромоалитирование, борохромирование, борирование, цианирование, сульфоцианирование, диффузионное хромирование, диффузионное никелирование, циркосилицирование, бороциркование, легирование маломощными пучками ионов
3. Упрочнение изменением структуры поверхностного слоя	Физико-термическая обработка	Лазерная закалка, плазменная закалка
	Электрофизическая обработка	Электроимпульсная обработка, электроконтактная обработка, электроэрозионная обработка, ультразвуковая обработка
	Механическая обработка	Упрочнение вибрацией, фрикционно-упрочняющая обработка, дробеструйная обработка, обработка взрывом, термомеханическая обработка, прокатывание, волочение, редуцирование, термопластическая обработка

	Наплавка легированного металла	Наплавка газовым пламенем, электрической дугой, плазмой, лазерным лучом, пучком ионов
4. Упрочнение изменением энергетического запаса поверхностного слоя	Обработка в магнитном поле	Обработка: электроферромагнитная, в импульсном магнитном поле
5. Упрочнение изменением шероховатости поверхности	Электрохимическое полирование	Окувание в ванну (в струе электролита)
	Обработка резанием	Шлифование, суперфиниширование, хонингование
	Пластическое деформирование	Накатка, раскатка
6. Упрочнение изменением структуры всего объема металла	Термическая обработка при положительных температурах	Закалка: светлая, несквозная, сквозная, изотермическая, с самоотпуском, с подстуживанием, с непрерывным охлаждением и ступенчатая. Отпуск высокий и низкий
	Криогенная обработка	Закалка с обработкой холодом от температуры закалки или охлаждение от нормальной температуры, термоциклирование

Внешние условия протекания процессов упрочнения неодинаковы:

- в газовой среде; в жидкости; в пасте;
- без использования или с использованием теплоты при нормальном, повышенном или высоком давлении; в низком, среднем или глубоком вакууме;
- в атмосфере водяного, водогазового или ионного пара;
- в контролируемых атмосферах экзогаза или эндогаза;
- в электропроводящей или диэлектрической среде;
- в среде с поверхностно-активными или абразивными свойствами;
- в магнитном, электрическом, гравитационном или термическом поле.

Выбор сочетаний внешних условий и характеризует специфические особенности технологических процессов.

Любой экономически обоснованный метод упрочнения требует проверки типовой технологии в конкретных условиях для каждого вида упрочняемого изделия. Применяемость метода определяют по основным факторам, характеризующим внешние и внутренние условия эксплуатации упрочненных изделий и технико-экономические возможности использования метода в сложившихся условиях и в перспективном периоде. В каждом конкретном случае, для каждого вида упрочняемого изделия, на выбор и принятие обоснованного решения о целесообразности использования метода упрочнения влияет своя, специфическая группа факторов. Наиболее полная оценка приемлемости метода для данных условий возможна в том случае, если рассматривается наиболее полное число факторов и связи между ними. С этой целью

рационально изучить и классифицировать основные факторы, действующие в данных конкретных условиях.

Внедрение технологии упрочняющей обработки требует проведения большого комплекса подготовительных работ, в их числе:

- определение номенклатуры изделий, деталей и поверхностей, упрочнение которых целесообразно и необходимо;
- выбор наиболее эффективного, экономически оптимального метода упрочнения, его экспериментальная проверка в лабораторных условиях;
- подготовка материальной базы – приобретение и изготовление стандартизованного и нестандартизованного оборудования, различных приборов и инструментов;
- подготовка производственных помещений и коммуникаций; накопление основных и вспомогательных материалов;
- обучение кадров, комплектование специализированных служб и производств, разработка технической документации и др.

При всей условности такой классификации она позволяет выбрать принципиальные направления, процессы и методы упрочняющей обработки в зависимости от исходных требований к работоспособности изделия. В необходимых случаях ею можно воспользоваться как инструментом для создания новых, оригинальных технологических процессов путем комбинирования и перемещения методов и условий выполнения известных способов.

## **Практическое занятие № 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, 7Х3, ХВ4, 6ХВ2С осуществляют при температуре 670-700 °С; марок Х12, Х12М,

X12Ф1 – при 730-750 °С; марок P18, P9 – при 760-780 °С. Не более одного часа 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, на 20-30 °С, выдерживают до полного прогрева, после чего охлаждают медленно до 600 °С, а затем – с любой скоростью.

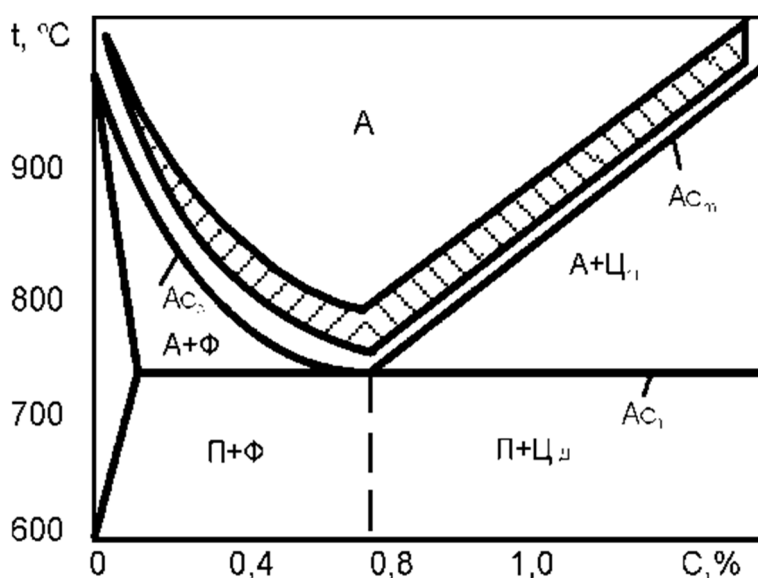


Рис. 1. Диаграмма температур нагрева при нормализации:  
А – аустенит; П – перлит; Ф – феррит; ЦII – вторичный цементит

*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. 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 (рисунок 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. 2.

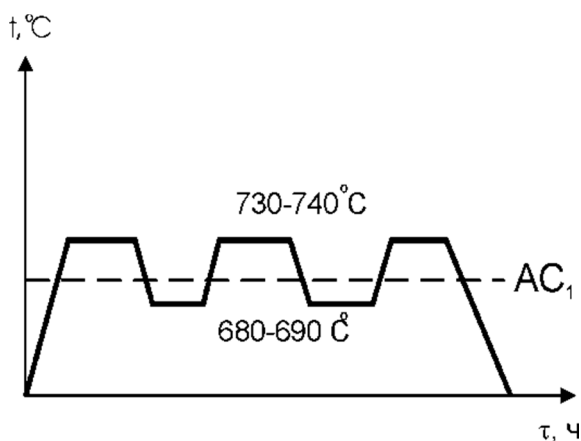


Рис. 2. Схема циклического режима отжига

Таблица 2

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

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

Для выбора режимов отжига различных инструментальных сталей следует пользоваться данными справочников. Скорость нагрева при отжи-

ге 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 стали и 3-8 ч для быстрорежущей стали. 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. 3. 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.

Таблица 3

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



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

### 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 линии  $A_{cm}$ , 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.

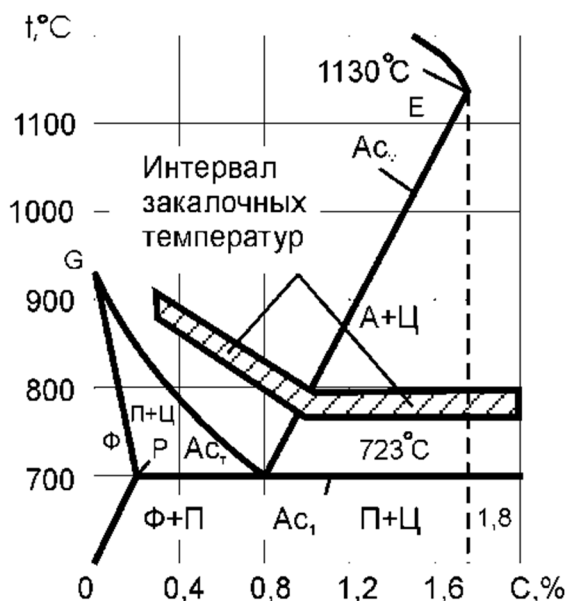


Рис. 3. Диаграмма закалочных температур для углеродистых сталей

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, наиболее отвечающую требованиям работоспособности изделия.

При *полной закалке* температура нагрева должна быть выше критических точек  $A_{c3}$  или  $A_{c1}$ ; при *неполной закалке* должна находиться в интервале

закалочных температур. Если закалку проводят со скоростью охлаждения выше критической, то структура стали после охлаждения состоит из мартенсита и остаточного аустенита, а если проводят со скоростью охлаждения ниже критической, то – из ферритокарбидной смеси различной степени дисперсности (сорбит и троостит закалки).

Закалку с непрерывным охлаждением проводят в воде, масле и других средах, причем температура среды должна быть ниже точки начала мартенситного превращения  $M_n$  (рис. 4); на рисунке  $M_k$  – температура конца мартенситных превращений.

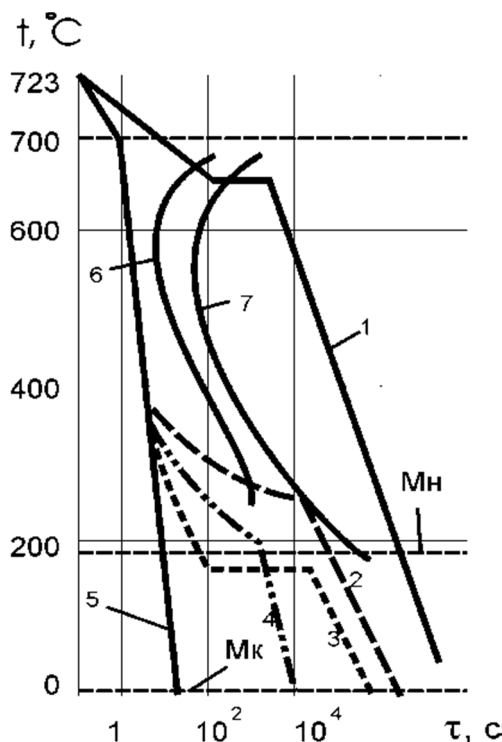


Рис. 4. Кривые охлаждения при различных способах термической обработки стали:  
 1 – изотермический отжиг; 2 – изотермическая закалка;  
 3 и 4 – ступенчатая закалка

Закалку с самоотпуском проводят в такой последовательности: нагревают инструмент до температуры закалки, опускают рабочую часть в воду до потемнения, вынимают инструмент, быстро зачищают рабочую часть шлифовальной шкуркой или напильником. При появлении цвета побежалости, соответствующего заданной температуре отпуска, инструмент охлаждают в масле или воде.

При сквозной закалке изделие прокаливают насквозь. Оно имеет практически однородную структуру (мартенсит и остаточный аустенит) и одинаковые свойства по сечению. При несквозной закалке сечение имеет неоднородную структуру (неравномерное распределение продуктов распада аустенита при температуре, располагающейся на диаграмме выше точки  $M_n$ ) и разные свойства.

Обычная закалка характеризуется наличием оксидов на поверхности.

*Чистая закалка* проводится при нагреве в печах с контролируемой атмосферой. При этом на поверхности изделий могут образоваться пригары масла или цвета побежалости.

Преимущество светлой закалки с охлаждением нагретой стали в расплавленных щелочах заключается в том, что деталь, прошедшая такой вид термообработки, имеет светлую поверхность, меньшее коробление и более высокую твердость.

Состав охлаждающей ванны выбирают в зависимости от требуемой рабочей температуры. Для закалки инструментальных сталей наиболее целесообразно применять смесь из 75% едкого калия и 25% едкого натра. Щелочь расплавляют в тигле из углеродистой стали. Коррозионностойкую сталь для тиглей применять не рекомендуется. Закаливающая способность ванны, работающей при температуре до 250 °С, повышается при перемешивании и зависит от количества введенной воды. Наибольшей охлаждающей способностью обладает смесь, содержащая 6-10% воды.

*При светлой закалке* в расплавленной щелочи выполняют такие операции: подогрев в расплавленной поваренной соли при температуре 800-840 °С; нагрев под закалку в ванне при температуре, превышающей на 10-20 °С соответствующую температуру закалки (ванны, имеющие в составе хлористый барий, для светлой закалки применять нельзя, так как последний загрязняет щелочную ванну, целесообразнее использовать хлористый кальций); охлаждение в расплавленной щелочи до полного выравнивания температуры при ступенчатой закалке и до окончания превращения – при изотермической (время выдержки в щелочной ванне при ступенчатой закалке принимают равным 15 с на 1 мм сечения); промывка в воде, имеющей температуру 70-90 °С; промывка в проточной воде; окунание в 2-5 %-ный водный раствор нитрита натрия, предохраняющего от коррозии.

Детали с твердостью 60 HRC<sub>э</sub> и выше не следует после закалки в щелочной ванне сразу промывать в горячей воде, так как это может привести к растрескиванию и значительному короблению. В этом случае детали необходимо охлаждать примерно до 100 °С на воздухе, а затем промывать в горячей воде. Детали, подвергаемые светлой закалке, не должны иметь следов жира во избежание появления в этих местах темных пятен.

В результате такого метода термообработки можно повысить качество детали благодаря минимальной деформации, снизить трудоемкость процесса и сократить время на термообработку.

*Закалку с последующей обработкой холодом* применяют для более полного разложения аустенита. При этом закаленную деталь дополнительно охлаждают ниже 0 °С. Закалку с обработкой холодом выполняют в такой последовательности: нагрев до температуры закалки, закалка, дополнительное охлаждение до температур ниже 0 °С, отпуск.

**Особенности закалки инструментов.** Определяя необходимость разложения остаточного аустенита, нужно учитывать, что при наличии в структуре стали более 25 % остаточного аустенита твердость стали заметно снижается, а износостойкость возрастает. Положительное влияние на износостойкость

стойкость оказывают мелкозернистая структура, наличие остаточного аустенита и отсутствие нерастворенных карбидов. Для обеспечения высокой абразивной износостойкости хрупкая и твердая структуры не должны иметь карбидов: в мягкой и пластичной структуре должны содержаться высокодисперсные карбиды, распределенные по всей матрице.

Достаточно широко применяют *быстрорежущие стали* с 1,05-1,15% С. Эти стали подвергают аустенизации при температуре 1190-1210 °С и отпуску при 540-570 °С (67-70 HRCэ). Второй отпуск проводят при температуре на 30 °С ниже, чем первый. Перед аустенизацией эффективен нагрев с выдержкой при 950 °С в течение 30 мин. Для повышения качества быстрорежущей стали карбиды в ее структуре должны быть дисперсными и равномерно распределенными. Температура нагрева должна точно регулироваться на всех стадиях термической обработки.

*Закалка кобальтовых сталей* типа Р9К5, Р9К10, Р12К8Ф2МЗ, Р6К8Ф2М5 с температур, более близких к верхнему пределу оптимальной температуры, и выдержка при нагреве под закалку не менее 8 с/мм<sup>2</sup> сечения обеспечивают высокие режущие свойства инструментов, например, резцов и фрез. Инструменты, закаленные с понижением температур (на 15-20 °С ниже оптимальной температуры), имеют низкие режущие свойства. Уменьшение времени выдержки при оптимальной температуре до 4 с на 1 мм<sup>2</sup> сечения приводит к резкому снижению вторичной твердости и стойкости инструмента.

*Нагрев сталей под закалку.* Температуру нагрева под закалку выбирают в зависимости от формы, размеров, назначения и условий нагружения детали. Температура нагрева зависит от состава стали, а также от положения критических точек Ас1 и Ас3 на диаграмме интервалов закалочных температур железоуглеродистых сплавов.

Нагрев под закалку проводят преимущественно в электропечах-ваннах в расплавах солей. Реже применяют печи сопротивления, газовые печи или установки ТВЧ. Данные для выбора параметров процессов термической обработки стальных изделий и составы соляных ванн для нагрева сталей приведены в справочниках.

Для безопасной работы соляных ванн (устранения разбрызгивания расплавленных солей при загрузке влажных или холодных деталей) применяют ступенчатый нагрев под закалку. Инструмент из углеродистой и легированной стали подогревают один раз для подсушивания и сокращения времени окончательного нагрева; инструмент из быстрорежущей стали подогревают дважды: первый раз – для подсушивания инструмента, второй – для предотвращения его деформации в процессе закалки.

*Для крупногабаритного сложнофасонного инструмента* применяют третий подогрев (при температуре 1050 °С), после которого сокращается продолжительность окончательного нагрева при закалке, а, следовательно, уменьшается обезуглероживание.

Первый подогрев при закалке сталей Р12, Р18, Р18Ф2, Р18К5Ф2, Р14Ф4, Р10К5Ф5, Р9К5, Р9К10, Р6МЗ, У7, У7А, У8, У8А, У10, У10А, У12,

У12А, Х12М, ХВГ, 9ХС проводят до температуры 400-500 °С, второй подогрев при закалке сталей Р12, Р18, Р18Ф2, Р14Ф2, Р10К5Ф5, Р9К5, Р9К10, Р6М5 – до 840-860 °С, а сталей Х12Ф1, Х12М – до 800-820 °С.

Повышение стабильности режущих свойств и износостойкости *инструмента, изготовленного из вольфрамомолибденовых сталей типа Р6М5*, достигается при использовании следующего способа термической обработки [а. с. 628178 (СССР)]. Инструмент подвергают дополнительному высокотемпературному подогреву и последующему подстуживанию перед окончательной термообработкой. Сначала инструмент подогревают 1-2 раза при температурах ниже температуры окончательного нагрева, затем подогревают в соляной ванне при температуре на 40-50 °С выше оптимальной температуры закалки, выдерживают при этой температуре 10-60 с (в зависимости от диаметра или толщины инструмента), переносят в соляную ванну с температурой 850-1050 °С, охлаждают в ней около 2 мин и после этого подвергают закалке и отпуску.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов, Ю. А. Электроискровое легирование сталей твердосплавными электродами // Технология и организация производства. – 1978. – № 3. – С. 45.
2. Анельчик, Д.Е. и др. Ремонт, восстановление и испытание инструмента и технологической оснастки. Справочник / Д.Е. Анельчик, С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Техника, 1981. – 200 с.
3. Аршинов, В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев. – М.: Машиностроение, 1977. – 440 с.
4. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическая работа № 1	
КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ.....	3
Практическое занятие № 2	
УПРОЧНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.....	5
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	13

**МЕТОДЫ ФИНИШНОГО УПРОЧНЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ для студентов  
направления 15.04.01 «Машиностроение»  
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик  
при изготовлении изделий в автоматизированном  
машиностроительном производстве»)  
всех форм обучения

**Составитель**  
**Жачкин Сергей Юрьевич**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 26.05.2022.  
Уч.-изд. л. 0,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84