

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»  
Факультет технологии конструкционных материалов  
Кафедра «Материаловедение и композиционные материалы»

## **Материаловедение**

### **СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

*Методические указания  
семестровой работе*



Волгоград  
2018

УДК 621.78(075)

*Рецензент*

канд. техн. наук, доцент *В.Ф. Даненко*

Издаётся по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**Составление технологического процесса на поверхностное упрочнение деталей термической и химико-термической обработкой:** метод. указ. /сост. Л. М. Гуревич/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 24 с.

Даны необходимые теоретические пояснения, изложен порядок выполнения работы, дан ряд типовых задач на термическую и химико-термическую обработку деталей.

Предназначены для студентов, выполняющих семестровую работу «Составление технологического процесса на поверхностное упрочнение деталей термической и химико-термической обработкой» по дисциплине «Материаловедение».

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2018

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. В процессе выполнения работы научиться обоснованному выбору состава стали, обеспечивающей при минимально возможной стоимости необходимую надежность и стойкость в эксплуатации.

1.2. Научиться обоснованному выбору вида упрочняющей (термической или химико-термической) обработки, назначению режимов обработок, обеспечивающих необходимый ресурс работы детали при минимальной себестоимости и энергоемкости.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Студент выполняет семестровую работу по заданию, выданному преподавателем. Для студентов, обучающихся по проектно-ориентированным образовательным программам, задание должно соответствовать ожидаемой тематике выпускных квалификационных работ бакалавров, представляемой ежегодно выпускающей кафедрой. В остальных случаях варианты заданий могут быть взяты из приведенных в разделе 8 настоящих методических указаний.

2.2. В процессе выполнения работы студенту необходимо:

выбрать вид технологического процесса упрочнения детали и толщину упрочненного слоя, позволяющие получить необходимые прочностные характеристики поверхностного слоя и сердцевины деталей;

выбрать марку стали, обеспечивающую при минимально возможной стоимости необходимую надежность и стойкость в эксплуатации;

выбрать вид заготовки;

рекомендовать вид и режимы предварительной термической обработки, обеспечивающей хорошую обрабатываемость резанием;

выбрать последовательность операций термической обработки и рекомендовать режимы их выполнения;

указать микроструктуру сердцевины и упрочненного слоя после различных операций термической или химико-термической обработки;

определить твердость упрочненного поверхностного слоя и механические характеристики готового изделия.

2.3. Результатом выполнения семестровой работы должны явиться заполненная карта технологического процесса термической обработки и пояснительная записка. Пример заполненной карты и пояснительной записки приведен в разделе 7 настоящих методических указаний.

### **3. ВЫБОР ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИЛИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

3.1. В зависимости от условий работы деталей машин, их упрочнение достигается закалкой и отпуском, поверхностной закалкой или химико-термической обработкой (чаще цементацией или нитроцементацией с последующей закалкой и низким отпуском, реже азотированием, борированием, алитированием и др.). При выборе технологического процесса необходимо учитывать как требования, предъявляемые к свойствам поверхности, так и к свойствам сердцевины детали. Зачастую, необходимый уровень свойств может быть получен несколькими видами термического или химико-термического упрочнения. В этом случае следует отдавать предпочтение процессам с наименьшей себестоимостью (трудоемкостью и энергоемкостью).

3.2. Поверхностная закалка при индукционном нагреве применяется для деталей машин, испытывающих в работе изгиб, кручение и контактные напряжения, т.е. в тех случаях, когда рабочие напряжения максимальны на поверхности. Чаще закалка при индукционном нагреве применяется для валов машин, коленчатых и распределительных валов двигателей, мало- и средненагруженных зубчатых колес и многих других деталей машин. Индукционная закалка позволяет получить в зависимости от марки стали твердость поверхности 45...63 HRC и показатели прочности сердцевины в зависимости от предшествующей термической обработки  $\sigma_b = 700 - 1200$  МПа;

$\sigma_T = 500 - 1000$  МПа;  $\delta = 16 - 30\%$ . Поверхностная закалка при индукционном нагреве по сравнению с химико-термической обработкой менее трудоемка и, во многих случаях, не уступает цементации (нитроцементации), но предъявляет ряд требований к конфигурации и размерам деталей.

Цементация и нитроцементация применяется для деталей машин, которые должны сопротивляться износу при различных давлениях, обладать высокой прочностью при изгибе, а также высокими значениями сопротивления усталости при изгибе, контактных напряжениях. Цементация и нитроцементация рекомендуется для наиболее напряженных деталей машин - зубчатые колеса, валы, шпиндели, вал-шестерни, крупногабаритные подшипники качения и др. Цементация и нитроцементация позволяет получить твердость поверхности 58 – 64 HRC и показатели прочности сердцевины в зависимости от марки стали до  $\sigma_B = 1300$  МПа,  $\sigma_T = 1200$  МПа,  $\delta = 12\%$ ,  $\psi = 55\%$ .

3.3. Азотирование применяется для деталей машин, склонных к короблению, работающих на износ и испытывающих небольшие контактные нагрузки. Азотирование повышает прочность деталей машин в 5 - 10 раз, предел выносливости при изгибе на 30 - 60% и сопротивление коррозии. Твердость поверхности колеблется в широких пределах HV = 6500 - 12000 МПа в зависимости от состава стали и режима обработки. Показатели прочности сердцевины соответствуют прочности используемой стали при выбранном режиме предварительной термической обработки (обычно закалка с высоким отпуском) и могут составлять до  $\sigma_B = 1100$  МПа,  $\sigma_T = 950$  МПа,  $\delta = 12\%$ ,  $\psi = 50\%$ . Азотирование используют для упрочнения шпинделей, направляющих скольжения и ходовых винтов металлорежущих станков, мало- и средненагруженных зубчатых колес, деталей топливной аппаратуры, клапанов, коленчатых и распределительных валов, гильз цилиндров двигателей и ряда других.

3.4. Кроме закалки ТВЧ, цементации, нитроцементации, азотирования могут использоваться и другие виды поверхностного упрочнения - упрочнение пластическим деформированием, лазерная закалка, газопламенная закалка,

закалка в электролитах, борирование, хромирование, алитирование, силицирование, напыление или наплавление износостойких или коррозионностойких покрытий. Подробная характеристика методов упрочнения приведена в [2, 3, 4].

#### **4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ**

Для поверхностной индукционной закалки применяют стали, содержащие 0,4 - 0,5% С, которые после закалки имеют высокую твердость 50 – 60 НРС, сопротивляемость износу и не склонны к хрупкому разрушению. В том случае, если наряду с требованиями к твердости поверхности предъявляются и требования к прочности и вязкости сердцевины, используют низко- и среднелегированные стали типа 40Х, 40ХН, 40ХНМ ГОСТ 4543, изделия из которых предварительно подвергают нормализации или улучшению. Выбор степени легированности стали производится исходя из размеров детали и прокаливаемости стали.

Для получения равномерного закаленного слоя на деталях сложной формы типа шестерни среднего модуля, колец подшипников используют стали пониженной прокаливаемости 55ПП и регламентированной прокаливаемости 47ГТ.

Марочный состав сталей приведен в [1, 3, 4, 6].

4.1. В зависимости от размеров и формы деталей и необходимых свойств заготовкой может служить прокат, поковка, отливка.

4.2. Технологический процесс поверхностного упрочнения термической обработкой ТВЧ включает предварительную термическую обработку, обеспечивающую необходимые обрабатываемость резанием и уровень механических свойств сердцевины, и поверхностную индукционную закалку с последующим низким отпускком.

4.3. Основными видами предварительной термической обработки, назначаемыми в зависимости от марки стали, вида полуфабриката и

требований к прочностным характеристикам сердцевины, являются отжиг, нормализация и закалка с высоким отпуском (улучшение).

Отжиг позволяет получить мелкозернистую равновесную перлито-ферритную структуру с хорошей обрабатываемостью, но низкими прочностными характеристиками. Как правило, прокат подвергается отжигу на заводе-производителе.

При повышенных требованиях к прочностным характеристикам сердцевины используют нормализацию, обеспечивающую показатели прочности и пластичности несколько ниже, чем при улучшении, но вероятность появления трещин при нормализации в отличие от закалки практически исключена.

Режимы отжига и нормализации, получаемые прочностные характеристики для различных марок сталей приведены в [6].

4.4. Закалка с последующим высоким отпуском (термическое улучшение) создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали, позволяя получить при твердости НВ = 2550 МПа следующие показатели прочности  $\sigma_B = 1100$  МПа,  $\sigma_T = 950$  МПа,  $\delta = 12\%$ ,  $\psi = 50\%$ .

Температура закалки выбирается для используемой марки стали по данным [6].

Общее время нагрева складывается из времени нагрева до данной температуры ( $\tau_n$ ) и времени выдержки при этой температуре ( $\tau_B$ ).

Величина  $\tau_n$  зависит от нагревающей способности среды, от размеров и формы деталей, от их укладки в печи;  $\tau_B$  зависит от скорости фазовых превращений, которая определяется степенью перегрева выше критической точки и дисперсностью исходной структуры. Практически величина может быть принята равной 1 мин для углеродистых сталей и 2 мин для легированных сталей. Точно установить время нагрева можно лишь опытным путем для данной детали в данных конкретных условиях, а приближенно - способом расчета. Один из возможных расчетов проводится по формуле

$$\tau_n = 0,1 \times D \times K_1 \times K_2 \times K_3,$$

где  $D$  - размерная характеристика изделия (минимальный размер максимального поперечного сечения) в мм;  $K_1$  - коэффициент среды (для газа - 2, соли - 1, металла - 0,5);  $K_2$  - коэффициент формы (для шара - 1, цилиндра - 2, параллелепипеда - 2,5, пластины - 4);  $K_3$  - коэффициент равномерности нагрева (всесторонний - 1, односторонний - 4).

Для предохранения изделий от окисления и обезуглероживания в рабочее пространство печи вводят защитную газовую атмосферу (эндотермическую или экзотермическую).

Охлаждающие среды при закалке должны обеспечить скорость охлаждения выше критической скорости закалки в интервале температур аустенитно-перлитного превращения и замедленное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения. Чаще для закалки углеродистых сталей используют воду или водные растворы солей, для закалки легированных сталей - минеральные масла или водные растворы полимеров.

Температуру отпуска определяют, исходя из необходимого уровня показателей прочности и марки стали [4, 5]. Длительность высокого отпуска составляет 1 - 6 часов в зависимости от габаритов изделия и марки стали (большая длительность для крупногабаритных деталей из среднелегированных сталей). Охлаждение после отпуска во избежание отпускной хрупкости II рода у изделий из легированных сталей производится быстро в воде или масле. Структура стали после улучшения - сорбит.

4.5. Выбор оптимальной толщины упрочненного слоя при индукционной закалке определяется условиями работы детали. Когда изделие работает только на износ или в условиях усталости, толщину закаленного слоя принимают 1,5 - 3 мм; в условиях высоких контактных нагрузок 4 - 5 мм. В случаях особо больших контактных нагрузок, например, для валков холодной прокатки, толщина закаленного слоя достигает 10 - 15 мм. Для получения слоя толщиной 1 мм оптимальная частота тока составляет 50 - 60 кГц, для слоя толщиной 2 мм - 15 кГц, для слоя толщиной 4 мм - 4 кГц.

В связи с высокими скоростями нагрева превращение перлита в аустенит

сдвигается в область высоких температур, что приводит к повышению температуры закалки, определяемой по данным [6].

Охлаждающую жидкость (воду, водные растворы полимеров) для закалки обычно подают через душевые устройства (спрейеры).

После закалки с индукционным нагревом изделия подвергают низкому отпуску при температуре 160 – 200 °С, но иногда используют отпуск за счет собственного тепла детали (самоотпуск).

5. В графе "Структура после каждой операции термической обработки" приводятся отдельно структура поверхностного слоя и структура сердцевины.

## **6. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ И НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ**

6.1. Выбор марки стали производят исходя из размеров детали и требований к ее прочностным характеристикам. Для изделий небольших размеров, работающих на износ и не требующих высокой прочности сердцевины, применяют углеродистые стали марок 10, 15, 20 ГОСТ 1050.

Детали малых и средних размеров, работающие при повышенных удельных нагрузках, изготавливают из малолегированных хромистых 15Х, 20Х, марганцовистых 15Г, 20Г (ГОСТ 4543) сталей. Уровень легирования обеспечивает сквозную закалку диаметров до 10-15 мм.

Детали средних размеров, работающие при высоких удельных нагрузках, изготавливаются из сложнолегированных хромоникелевых 12ХН3А, хромомарганцевых 18ХГТ, 25ХГТ, 18ХГМ (ГОСТ 4543) сталей. Стали с добавкой титана или молибдена наследственно мелкозернисты. При закалке в масле сквозная прокаливаемость обеспечивается при диаметрах 15-20 мм.

Детали больших сечений, работающие при высоких удельных нагрузках, изготавливают из высоколегированных хромоникелевых 12Х2Н4А, хромоникельвольфрамовых 18Х2Н4ВА и хромоникельмолибденовых 18Х2Н4МА сталей. Вследствие высокой устойчивости переохлажденного аустенита детали сечением до 150-200 мм из сталей 18Х2Н4ВА и 18Х2Н4МА

закаливается при охлаждении на воздухе.

Марочный состав сталей приведен в [6].

6.2. В зависимости от размеров и формы деталей заготовкой может служить прокат, поковка, отливка.

6.3. Технологический процесс химико-термической обработки цементованных деталей состоит из предварительной термической обработки, обеспечивающей необходимую обрабатываемость резанием и исходную микроструктуру, операции насыщения углеродом до заданной концентрации в поверхностном слое на заданную глубину (собственно цементацию) и окончательной термической обработки, целью которой является создание в изделии необходимого сочетания структуры и свойств.

6.4. Основными видами предварительной термической обработки, назначаемыми в зависимости от марки стали и вида полуфабриката, являются отжиг, нормализация и высокий отпуск.

Для низкоуглеродистых нелегированных и низколегированных сталей механические свойства и структура после отжига и нормализации близки. Для среднелегированных сталей типа 25ХГТ, 18ХНЗА следует предпочесть изотермический отжиг, так как при нормализации этих сталей возникает более труднообрабатываемая сорбитная структура. Для высоколегированных сталей типа 18Х2Н4ВА используют высокий отпуск при 630-640 °С, так как при отжиге эта сталь не снижает твердости.

Режимы отжига, нормализации, высокого отпуска и получаемая твердость приведены в [6].

6.5 Собственно цементация может проводиться в твердом карбюризаторе, в газовой эндотермической атмосфере с добавлением природного газа или в газовых продуктах разложения жидкого карбюризатора (керосина, синтина). Преимущества газовой цементации (возможность регулирования содержания углерода в поверхностном слое, меньшая длительность процесса, возможность механизации и автоматизации, более простая окончательная термическая обработка) привели к ее более широкому применению на заводах с

крупносерийным и массовым производством. Газовую цементацию выполняют при температуре 930-950 °С. Продолжительность насыщения определяется температурой процесса и необходимой толщиной слоя (табл. 5.1.).

Таблица 5.1. Средние значения скорости газовой цементации при различных температурах

Глубина слоя, мм	Скорость цементации (мм/ч) при температуре °С			
	900	925	950	975
До 0,5	0,45	0,55	0,75	---
0,5-1,0	0,30	0,40	0,55	0,75
1,0-1,5	0,20	0,30	0,40	0,55
1,5-2,0	0,15	0,20	0,25	0,35
2,0-2,5	0,12	0,15	0,20	0,25

Толщина цементованного слоя для деталей из стали с содержанием углерода менее 0,17 %, составляет 15 % от наименьшей толщины или диаметра цементуемого сечения. При содержании в стали более 0,17 %С толщину слоя уменьшают до 5-9 %, а для деталей, работающих на износ, не испытывающих больших удельных нагрузок, до 3-4 % от наименьшей толщины или диаметра цементуемого сечения (но не менее величины допустимого износа). Чаще всего толщина цементованного слоя 0,5-2,0 мм. Концентрация углерода в поверхностном слое обычно составляет 0,8-1,0 %С.

6.6. Окончательные свойства цементованных изделий достигаются в результате термической обработки, выполняемой после цементации. Этой обработкой можно измельчить зерно сердцевины и цементованного слоя, увеличивающееся во время длительной выдержки при высокой температуре; получить высокую твердость цементованного слоя и хорошие механические свойства сердцевины.

Наиболее простым видом термической обработки является закалка непосредственно из цементационной печи после подстуживания изделия до 840- 860 °С и отпуск при 180-200 °С. Такой способ позволяет уменьшить

коробление деталей, не требует дополнительной печи. Способ может быть применим только для наследственно мелкозернистой стали, так как не позволяет измельчить зерна.

При использовании наследственно крупнозернистых сталей при газовой цементации детали после насыщения охлаждают, а затем производят нагрев и закалку при температуре 820-850 °С (т.е. полная закалка для упрочненного слоя и неполная закалка сердцевины) и отпуск при температуре 180-200 °С. Такой вид обработки позволяет получить мелкоигольчатый мартенсит на поверхности и частично измельчает зерно сердцевины, получая для легированных сталей структуру мартенсита и небольшого количества феррита.

При проведении цементации в твердом карбюризаторе иногда используют двойную термическую обработку и отпуск. После охлаждения деталей их снова нагревают в печи до температур 880-900 °С (выше  $A_{C3}$  для сердцевины) и нормализуют. В результате сердцевина становится мелкозернистой. Температура 880-900 °С значительно выше  $A_{C3}$  для науглероженной поверхности, поэтому зерно на поверхности вновь может вырасти. Для его измельчения деталь вновь подвергают закалке от температуры 760-780 °С. При этом получают структуру мелкоигольчатого мартенсита на поверхности и неполностью закаленную мелкозернистую сердцевину.

Время нагрева до температур закалки и время выдержки при отпуске определяется по методике, приведенной в п. 4.5. Закалка изделий из сталей 10, 15, 20 производится в воду, из легированных сталей - в масло. Температура закалки приведена в [6].

6.7. Процесс нитроцементации проводится при температуре 840-860 °С в газовой среде из эндотермического газа с добавкой природного газа и аммиака. Одновременная диффузия углерода и азота ускоряет диффузию углерода. Скорость роста нитроцементованного и цементованного слоя на глубину до 0,5 мм практически одинакова, хотя температура нитроцементации почти на 100°С ниже температуры цементации. Толщина нитроцементованного слоя составляет до 1,2 мм. Для нитроцементации используют те же стали, что и для

цементации.

После нитроцементации следует закалка непосредственно из печи для наследственно мелкозернистых сталей или после повторного нагрева. После закалки проводят отпуск при 160-180 °С. Структура нитроцементованного слоя - мелкоигльчатый мартенсит, мелкие карбонитриды и остаточный аустенит.

## 7. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ

7.1. В том случае, если главным требованием, предъявляемым к азотированному слою, является высокая твердость на поверхности и износостойкость, то применяют сталь 38Х2МЮА. Одновременное присутствие алюминия, хрома и молибдена позволяет получить твердость HV до 12000 МПа.

В связи с тем, что алюминий придает азотированному слою повышенную хрупкость, все шире применяют стали, легированные 1-3% хрома, 0,2-0,4% молибдена, до 1,2% ванадия. Эти стали имеют пониженную твердость на поверхности 7000-9000 HV, но позволяют получить большую толщину азотированного слоя. Для повышения коррозионной стойкости можно азотировать и углеродистые стали.

7.2. В зависимости от размеров и формы деталей заготовкой может служить прокат, поковка, отливка.

7.3. Технологический процесс химико-термической обработки азотированных деталей предусматривает предварительную термическую обработку, обеспечивающую как необходимую обрабатываемость резанием, так и прочностные характеристики сердцевины, и насыщение деталей азотом (собственно азотирование).

7.4. Предварительная термическая обработка включает отжиг (нормализацию) проката, производимый на металлургическом заводе-изготовителе, и улучшение (закалку и высокий отпуск) стали для получения повышенной прочности и вязкости в сердцевине изделия. Режимы отжига (нормализации) и свойства материала приведены в [6].

Выбор температурно-временных режимов закалки производится по методике, приведенной в п. 4.5. Закалка осуществляется в масле, так как для азотирования используют среднелегированные стали. Отпуск проводят при температуре 600 -675 °С, превышающей температуру последующего азотирования и обеспечивающей получение твердости, при которой сталь можно обрабатывать резанием. Структура стали после отпуска - сорбит.

7.5. Азотирование изделий из стали 38Х2МЮА рекомендуется выполнять при 500-520°С. Длительность процесса зависит от толщины азотированного слоя [6]. Обычно при азотировании желательно иметь слой 0,3-0,6 мм. Для ускорения процесса азотирования применяют двухступенчатый процесс: сначала при температуре 500-520 °С, а затем при 540-560 °С. Стали, не содержащие алюминий, азотируют при 570 °С в течение 6 -10 часов, что обеспечивает толщину слоя 0,3 - 0,4 мм и твердость HV=8000 МПа. Охлаждение после азотирования проводят вместе с печью в потоке аммиака во избежание окисления.

Механические свойства в сердцевине готового изделия приведены в [6].

7.6. В графе «Структура после каждой операции термической обработки» приводятся отдельно структура поверхностного слоя и структура сердцевины.

## **8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СЕМЕСТРОВОЙ РАБОТЫ**

8.1. Задание: «Предприятие изготавливает роликовые подшипники диаметром 100 мм, работающие в условиях значительных динамических нагрузок. Подберите сталь и режим упрочняющей обработки для изготовления наружного кольца подшипника толщиной 8 мм (заполняется левый верхний угол карты технологического процесса термической обработки (КТП ТО)).

8.2. Для изготовления колец подшипников диаметром 40 - 150 мм, работающих в условиях значительных динамических нагрузок используют сталь 18ХГТ, подвергаемую цементации на толщину 1,4 - 2,0 мм [6] (заполняются графы «Марка и состав стали», «Термическая операция», «Контроль после термической обработки. Глубина упрочненного слоя» КТП ТО).

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ					Марка и состав стали			
Предприятие изготавливает роликовые подшипники диаметром 100 мм, работающие в условиях значительных динамических нагрузок. Подберите сталь и режим упрочняющей обработки для изготовления наружного кольца подшипника толщиной 8 мм					18ХГТ	0,17-0,23 %С; 1,0-1,3 %Cr; 0,8-1,1 %Mn; 0,17-0,37 %Si; <0,035 %S; 0,06-0,12 %Ti		
					<b>Вид заготовки</b>	<b>Состояние поставки</b>	<b>Твердость</b>	
					Поковка	Отоженное t = 900 °С	НВ ≤ 2170 МПа	
					<b>Термическая операция</b>			
					Цементация			
Номер операции	Наименование операции	Структура после каждой операции термической обработки	Температура операции, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Контроль после термообработки		
						Твердость		Глубина слоя
						61...65 HRC		
1	Цементация	Поверхность – перлит+карбиды; Сердцевина – феррит+перлит	940-960	7	Эндогаз	<b>Механические свойства в готовом изделии (сердцевина)</b> $\sigma_b = 1300$ МПа; $\sigma_T = 1100$ МПа; $\delta = 12\%$ ; $\psi = 60\%$ ; KCV = 0,8 МДж/м <sup>2</sup>		
2	Закалка	Поверхность – мартенсит+карбиды; Сердцевина – низкоуглеродистый мартенсит	810-830	0,14	Масло			
3	Низкий отпуск	Поверхность – отпущенный мартенсит+карбиды; Сердцевина – отпущенный низкоуглеродистый мартенсит	150-170	4 -5	Эндогаз	Технологический процесс	Фамилия, имя, отчество	Группа
						Составил		
						Проверил		

8.3. В качестве заготовки используется прокат (труба), обеспечивающий минимальный расход металла и высокие прочностные характеристики. Для обеспечения обрабатываемости резанием прокат поставляется в отожженном состоянии. Отжиг проводится при температуре 900 – 930 °С, твердость НВ менее 2170 МПа [6] (заполняются графы «Вид заготовки», «Состояние заготовки», «Твердость» КТП ТО).

8.4. Технологический процесс упрочнения состоит из насыщения (цементации), закалки и низкого отпуска. Цементация в связи с массовым производством подшипников проводится в газовой атмосфере эндотермического газа с добавкой природного газа в проходных агрегатах. Сталь 18ХГТ содержит титан, обеспечивающий мелкозернистость, поэтому процесс цементации ведут при температурах 940 – 960 °С, приводящих к высоким скоростям насыщения - при толщине слоя 1,4 - 2,0 мм скорость насыщения 0,25 мм/ч (см. табл. 5.1). При средней толщине слоя 1,7 мм время цементации - 7 часов. Содержание углерода в поверхностном слое после окончания насыщения 0,8-1,0 %. Структура слоя при температуре насыщения - аустенит, после медленного охлаждения в атмосфере агрегата - перлит или перлит+цементит. Структура сердцевины при температуре насыщения - аустенит, после медленного охлаждения - феррит+перлит (заполняется строка 1 граф «Наименование операций», «Структура после термической обработки», «Температура операции», «Время выдержки», «Условия охлаждения (среда)» КТП ТО).

8.5. Для гарантированного получения мелкоигльчатого мартенсита детали после цементации охлаждают до температуры ниже 600 °С, а затем повторно нагревают под закалку до температуры 810 – 830 °С. Закалку для легированной стали 18ХГТ производят в масле. Время нагрева колец толщиной 8 мм  $\tau_n = 0,1 \times D \times K_1 \times K_2 \times K_3 = 0,1 \times 8 \times 2 \times 4 \times 1 = 6,4$  мин (расчет времени нагрева кольца ведется как для пластины по методике, приведенной в п.4.5.), время выдержки  $\sigma_v$  для легированных сталей 2 мин.

Общее время нагрева - 8,4 мин. Нагрев под закалку проводится в защитной атмосфере. Структура поверхностного слоя - мартенсит или мартенсит+карбиды, структура сердцевины - низкоуглеродистый мартенсит или низкоуглеродистый мартенсит+феррит (заполняется строка 2 граф «Наименование операций», «Структура после каждой операции термической обработки», «Температура операции», «Время выдержки», «Условия охлаждения» КТП ТО).

8.6. После закалки детали подвергаются низкому отпуску при температуре 150-170 °С [6]. Учитывая заниженную температуру, отпуска, время операции увеличивается до 4-5 часов. Низкий отпуск и охлаждение проводятся в защитной эндотермической атмосфере. Структура поверхностного слоя - отпущенный мартенсит или отпущенный мартенсит + карбиды, структура сердцевины - низкоуглеродистый отпущенный мартенсит или низкоуглеродистый отпущенный мартенсит и феррит (заполняется строка 3 граф «Наименование операций», «Структура после каждой операции термической обработки», «Температура операции», «Время выдержки», «Условия охлаждения» КТП ТО).

8.7. Твердость поверхности 61-65 HRC, сердцевины 30 - 40 HRC (заполняется графа «Контроль после термической обработки. Твердость» КТП ТО).

8.8. Механические свойства в сердцевине готового изделия:  $\sigma_b$  - 1300 МПа;  $\sigma_T$  - 1100МПа;  $\delta$  - 12%;  $\psi$  - 60%; KCV -0,8МДж/м<sup>2</sup> (заполняется графа «Механические свойства готового изделия» КТП ТО).

## **9. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ СЕМЕСТРОВЫХ РАБОТ**

1) Коленчатые валы диаметром 80 мм, работающие при повышенных напряжениях, изготавливают на одном заводе из качественной углеродистой стали, а на другом - из легированной. Укажите сталь, которую следует предпочесть, ее марку и химический состав, рекомендуйте режим термической обработки и сопоставьте механические свойства в готовом

изделии из качественной углеродистой и легированной сталей.

2) Подобрать марку стали для изготовления тяжело нагруженных коленчатых валов двигателей диаметром 60 мм; предел прочности стали должен быть не ниже 750 МПа. Рекомендовать химический состав стали, режим термической обработки, микроструктуру и механические свойства после упрочнения.

3) Ось вагонной тележки диаметром 100 мм, работающей на износ и изгиб, можно изготовить из стали обыкновенного качества, из углеродистой качественной или легированной стали. Указать марки и химический состав сталей этого класса, применяемых для изготовления осей. Рекомендовать режим термической обработки и сопоставить механические свойства и структуру стали выбранных марок в готовой оси.

4) На заводе изготавливаются коленчатые валы для двигателей внутреннего сгорания диаметром 60 мм. Указать марку стали, ее химический состав и микроструктуру после окончательной термической обработки, обеспечивающие получение следующих свойств: а) предел текучести  $\sigma_T$  не ниже 600 МПа и ударная вязкость 0,6 МДж/м<sup>2</sup>; б) предел текучести  $\sigma_T$  не ниже 800 МПа и ударная вязкость 0,8 МДж/м<sup>2</sup>; в) предел текучести  $\sigma_T$  не ниже 250 МПа и относительное удлинение  $\delta = 20-22\%$ .

5) Для некоторых мощных механизмов изготавливают валы большого диаметра, которые должны обладать высокой прочностью не только в поверхностных слоях, но и в сердцевине. Выберите марку конструкционной легированной стали с содержанием углерода 0,4% для изготовления вала диаметром 100 мм. Предложите технологический процесс ее упрочнения, обеспечивающий твердость на поверхности не менее 50 HRC и предел прочности  $\sigma_B$  не менее 750 МПа на глубине от поверхности 35 мм при структуре сорбита.

6) Коленчатый вал мощного двигателя диаметром 90 мм должен иметь высокую прочность по всему сечению и предел текучести не менее 750 МПа. Выберите марку стали, отвечающую заданным требованиям и

рекомендуйте режим упрочнения, обеспечивающий, кроме того, высокую износостойкость шеек.

7) Червяк редуктора диаметром 35 мм должен иметь в сердцевине предел прочности  $\sigma_B$  не менее 600 МПа и высокую износостойкость поверхности. Выберите марку стали и режимы упрочняющей обработки.

8) Цех изготавливает зубчатые колеса диаметром 50 мм из цементуемой стали. Подобрать марку стали, указать химический состав, рекомендовать режимы обработки: а) для зубчатых колес, работающих в условиях обычного износа и удара; б) для зубчатых колес, работающих при повышенных удельных нагрузках.

9) Конические зубчатые колеса диаметром 50 мм в электротележке работают в условиях динамических нагрузок и повышенного износа. По требованию конструктора сталь должна обладать высокой вязкостью в сердцевине. Укажите необходимую марку стали, ее химический состав, рекомендуйте режимы упрочняющей обработки.

10) Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и срез и должен, кроме того, обладать высокой износоустойчивостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине. Укажите необходимую марку стали, ее химический состав, рекомендуйте режимы упрочняющей обработки.

11) Заводу поручили изготовление зубчатых колес сложной формы диаметром 500 мм и высотой 100 мм, которые должны обладать твердостью на поверхности не ниже 58 HRC, а в сердцевине пределом прочности  $\sigma_B$  не ниже 400 МПа и ударной вязкостью не ниже 0,5 МДж/м<sup>2</sup>. Подберите марку стали и рекомендуйте режимы термической обработки. Укажите микроструктуру стали в сердцевине и на поверхности.

12) Стаканы цилиндров мощных моторов должны обладать особо повышенной износостойкостью на рабочей поверхности и поэтому высокой твердостью (HV = 9500 - 10000 МПа). Одновременно требуются высокие механические свойства в сердцевине (предел текучести  $\sigma_T$  должен быть не менее 750 МПа). Укажите необходимую марку стали, ее химический состав,

рекомендуйте режимы упрочняющей обработки.

13) Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35 мм, сталь в готовом изделии должна иметь предел текучести  $\sigma_T$  не ниже 300 МПа и ударную вязкость не ниже 0,5 МДж/м<sup>2</sup>. Кроме того вал должен обладать повышенной износоустойчивостью не по всей поверхности, а только в шейках. Подберите марку стали и рекомендуйте режимы термической обработки. Укажите микроструктуру стали в сердцевине и на поверхности.

14) Поршневые пальцы диаметром 30 мм и длиной 150 мм должны иметь по условиям работы вязкую сердцевину и твердую поверхность, хорошо сопротивляющуюся износу (58 - 62 HRC). Укажите вид и режимы упрочняющей обработки, если пальцы изготавливаются массовыми партиями: а) из стали марки 20; б) из стали марки 45.

15) Тракторный завод выпускает большие бортовые шестерни, передающие значительные крутящие моменты. Диаметр шестерни 350 мм, высотой 70 мм, модуль  $m = 12$  мм. Укажите вид и режимы упрочняющей обработки, марку стали, обеспечивающие получение твердости на поверхности не менее 58 HRC и высокую усталостно-изгибную прочность зуба.

16) Комбинат по производству силикатного кирпича прессует брикет в штампах, состоящих из пластин размером 300×150×12 мм. Пластины, в основном, работают в условиях абразивного износа. Подберите марку стали и рекомендуйте режимы термической обработки. Укажите микроструктуру стали в сердцевине и на поверхности.

17) Предложите сталь и вид упрочнения, которые следует выбрать для изготовления поршневого пальца двигателя внутреннего сгорания диаметром 35 мм, если материал детали должен иметь  $\sigma_T$  не менее 600 МПа, твердость 60 HRC.

18) Выберите материал и режим упрочнения для изготовления шестерен коробки передач легкового автомобиля, если толщина зуба 6 мм. Твердость в поверхностном слое глубиной 1,5 мм должна быть не ниже

60 HRC. Изгибающее усилие в зубе может достигать до 500 МПа.

19) Иглы форсунок жидкого топлива должны иметь очень точные размеры, высокую износостойкость и коррозионную стойкость в потоке топлива, что определяет качество распыла топлива при сжигании. Предложите материал и термообработку для их изготовления?

20) Какой из материалов и в состоянии какой термической обработки можно использовать для изготовления шестерен коробок перемены передач грузовых автомобилей, если необходимо при модуле зуба 5 мм иметь твердость поверхности не менее 57 HRC, а сердцевины 35-45 HRC?

21) Завод металлорежущих станков использовал копиры (кулачки) из стали 45 после закалки ТВЧ, но они имели низкую износостойкость. Предложите материал и вид термической обработки, обеспечивающие повышенный срок службы копиров диаметром до 60 мм и толщиной до 40мм.

22) Предложите материал и режимы упрочнения для особо напряженных зубчатых колес металлорежущих станков модулем 4 мм, если изгибающие напряжения в них 500-700 МПа.

23) Коленчатые валы тепловозных двигателей с диаметром шейки 150-300 мм должны обладать высокой износостойкостью и сопротивлением усталости при незначительной деформации. Выберите материал и режимы упрочнения, удовлетворяющие этим требованиям.

24) Втулки звеньев гусениц промышленных тракторов должны обеспечивать высокую стойкость при абразивном износе. Изгибающие напряжения во втулке достигают 400 МПа. Предложите сталь и вид упрочнения для втулок диаметром 70 мм и толщиной стенок 20 мм.

25) Предложите сталь и вид упрочнения для средненагруженных зубчатых колес металлорежущих станков, модуль которых 5 мм, а изгибающие напряжения достигают 450 МПа.

26) Предложите марку стали и технологию упрочнения колец роликового подшипника с наружным диаметром 800 мм и толщиной стенки

40 мм.

27) Шпиндели обрабатывающих центров  $\varnothing 120$  мм ранее изготавливали из стали 45 и подвергали индукционной закалке, но в процессе работы станки требовали частого ремонта из-за повышенного износа шпинделей. Предложите новые марку стали и технологию упрочнения шпинделей, обеспечивающие повышение межремонтного периода в несколько раз.

28) Ходовые винты металлорежущих станков обычно изготавливают из стали 8ХФ и подвергают индукционной закалке до твердости 56-62HRC, что иногда приводит к перегреву вершин витка и их выкрашиванию. Предложите новые марку стали и технологию упрочнения, позволяющие повысить срок службы валов, учитывая, что длина ходового винта до 2 м, а диаметр 60-80 мм.

29) Средненагруженные зубчатые колеса металлорежущих станков с внутренним зацеплением изготавливают из стали 25ХГТ и подвергают цементации. Трудности шлифовки поверхностей внутренних зубьев не позволяет достичь требуемой точности зубчатого колеса. Дайте рекомендации по изменению марки стали и технологии упрочнения, обеспечивающих снижение трудоемкости механической обработки и повышения точности зубчатого профиля.

30) Выберите марку стали и технологию упрочнения для плунжеров диаметром 12 мм топливной аппаратуры дизельного двигателя большегрузного автомобиля.

31) Распределительные валы автомобильных двигателей изготавливают из стали 45 и упрочняют шейки и кулачки закалкой при индукционном нагреве. Для тонкостенных валов это может приводить к значительному короблению. Предложите новые марку стали и технологию упрочнения, обеспечивающие высокую износостойкость шеек и кулачков, отсутствие коробления и прочность сердцевины  $\sigma_b = 800$  МПа.

32) Какую сталь следует выбрать для изготовления поршневого пальца двигателя внутреннего сгорания диаметром 35 мм, если материал детали

должен иметь  $\sigma_T > 600 \text{ МПа}$ ;  $\psi > 40\%$ ;  $KCV > 1 \text{ МДж/м}^2$ , твердость 60 HRC?

33) Какой материал необходимо использовать для изготовления вала диаметром 45 мм зубчатой передачи, чтобы  $\sigma_T > 600 \text{ МПа}$ ;  $\psi > 30\%$ . Какая должна быть термообработка, обеспечивающая требуемые свойства и твердость поверхности шейки вала 48 - 52 HRC?

34) Предложите сталь и способ упрочнения для изготовления шестерен коробки передач с толщиной зуба 6 мм. Изгибающее усилие в ножке зуба достигает 500 МПа. Твердость в поверхностном слое глубиной 1,5 мм должна быть не ниже 60 HRC?

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч.: учеб. для академ. бакалавриата. Ч. 1 / под ред. Г. П. Фетисова. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2016. – 383 с.

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч.: учеб. для академ. бакалавриата. Ч. 2 / под ред. Г. П. Фетисова. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2016. - 388 с.

3. Сироткин, О. С. Основы современного материаловедения: учебник / О. С. Сироткин. - Москва: ИНФРА-М, 2015. - 362 с.

4. Материаловедение в машиностроении: учеб. для бакалавров / А. М. Адашкин [и др.] . - Москва: Юрайт, 2015. - 535 с. -

5. Материаловедение: учеб.-метод. пособие / В. Н. Арисова [и др.] ; ВолгГТУ. - Волгоград: ВолгГТУ, 2017. - 160 с.

6. Шмыков А. А. Справочник термиста. - М.: Машиностроение, 1961.- 496с.

7. Агафонова Г. В. Методология выбора материалов и упрочняющие технологии: учеб.-метод. пособие / Г. В. Агафонова ; ВолгГТУ. - Волгоград: ВолгГТУ, 2017. - 96 с.

Леонид Моисеевич Гуревич

**Составление технологического процесса на поверхностное упрочнение  
деталей термической и химико-термической обработкой**

*Методические указания*

Темплан 2018 г. (учебно-методическая литература). Поз.№ .  
Подписано в печать            Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. .  
Тираж 10 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.