

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к практическим работам по дисциплине  
**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ»**  
для направления подготовки  
**22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»**  
(уровень магистратуры)

Составитель:  
Л.В. Картонова

Владимир – 2022 г

УДК 620.22

*Рецензент:*

*Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология машиностроения»  
Жданов Алексей Валерьевич*

**Методические указания** к практическим работам по дисциплине «Современные методы термической и химико-термической обработки» для направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень магистратуры)/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. 2022. - 40 с.

Содержат методические указания к практическим работам по дисциплине «Современные методы термической и химико-термической обработки». Разработаны для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень магистратуры)

Табл. 7. Библиогр.: 30 назв.

## ВВЕДЕНИЕ

Цель освоения дисциплины «Современные методы термической и химико-термической обработки» – приобретение универсальных и профессиональных компетенций, предусмотренных требованиями ФГОС ВО, связанных с формированием теоретических и практических знаний в области термической и химико-термической обработки, научных основ выбора видов и режимов термической обработки в условиях производства для достижения требуемых свойств.

Задачи:

- знать физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры – на свойства современных металлических материалов;
- знать обо всех способах термического упрочнения сплавов, которые могут обеспечить долговечность и работоспособность изделий;
- иметь правильно сформированные научные представления о реальных возможностях улучшения каких-либо свойств сплавов путем изменения структуры;
- уметь назначать обоснованные режимы термической обработки для достижения требуемых свойств;
- уметь разрабатывать рекомендации по способам обработки конструкционных, инструментальных и иных материалов для достижения заданных свойств.

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций) представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

### Требования к результатам освоения программы магистратуры

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции	
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
1	2	3
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1. Знает этапы жизненного цикла проекта, принципы формирования концепции проекта в рамках обозначенной проблемы, основные требования, предъявляемые к проектной работе и	Знает физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния

Продолжение табл. 1

1	2	3
	критерии оценки результатов проектной деятельности.	на структуру, а структуры – на свойства современных металлических материалов
	УК-2.2. Умеет разрабатывать концепцию проекта, формулируя цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения.	Умеет разрабатывать рекомендации по способам обработки конструкционных, инструментальных и иных материалов с целью решения задач в профессиональной деятельности
	УК-2.3 Владеет навыками составления плана реализации проекта и контроля его выполнения.	Владеет навыками составления плана реализации проекта и контроля его выполнения
ПК-3. Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности	ПК-3.1. Знает рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности	Знает рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности; способы термического упрочнения сплавов в условиях производства для достижения требуемых свойств.
	ПК-3.2. Умеет анализировать данные о химическом составе и структуре материалов, способах их формирования; устанавливать связь состава, структуры и свойств материалов с технологическими и эксплуатационными свойствами; разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности	Умеет анализировать данные о химическом составе и структуре материалов, способах их формирования; устанавливать связь состава, структуры и свойств материалов с технологическими и эксплуатационными свойствами; разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
	ПК-3.3. Владеет навыками математического моделирования состава материалов, комплекса физико-механических свойств и их методов исследования	Владеет способностью решать производственные и исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов.

Продолжение табл. 1

1	2	3
<p>ПК-4. Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики.</p>	<p>ПК-4.1. Знает методы анализа и обработки результатов экспериментов, правила оформления отчетной документации.</p>	<p>Знает методы анализа и обработки результатов экспериментов, правила оформления отчетной документации.</p>
	<p>ПК-4.2. Умеет анализировать структуру новых материалов; адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики</p>	<p>Умеет анализировать структуру новых материалов; адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики</p>
	<p>ПК-4.3. Владеет навыками статистической обработки и анализа результатов исследований, формулирования выводов и заключений, оформления отчетной документации</p>	<p>Владеет навыками статистической обработки и анализа результатов исследований, формулирования выводов и заключений, оформления отчетной документации</p>
<p>ПК-7. Способен разрабатывать инновационные технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов</p>	<p>ПК-7.1. Знает основные рекомендации по разработке инновационных технологических процессов в области материаловедения и технологии материалов</p>	<p>Знает основные рекомендации по разработке инновационных технологических процессов в области материаловедения и технологии материалов</p>
	<p>ПК-7.2. Умеет прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материале; оценивать соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам</p>	<p>Умеет прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материале; оценивать соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам</p>
	<p>ПК-7.3. Владеет способностью разрабатывать инновационные технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов</p>	<p>Владеет способностью разрабатывать инновационные технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов; способностью назначать обоснованные режимы термической обработки для достижения требуемых свойств.</p>

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

## Определение технологических параметров термической обработки легированных сталей

**Цель работы:** изучить особенности термической обработки легированных сталей, причины возникновения дефектов, возникающих при термической обработке, и меры их предупреждения.

### Задания

1. По литературным источникам изучить особенности термической обработки легированных сталей.
2. Для указанного сплава (часть 1) определить технологические параметры процессов термической обработки. Описать возможные дефекты, возникающие при термообработке, и меры их предупреждения.
3. Для указанного изделия (часть 2) подобрать легированную сталь. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред, определить достигаемые механические свойства.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

### Общие положения

С целью изменения строения и свойств сталей в их состав вводят легирующие элементы. Примеси (постоянные, случайные, скрытые), неизбежно содержащиеся в сталях, нельзя рассматривать как легирующие элементы. Легирование не только повышает прочность и пластичность, но и придает сталям ряд свойств.

Легирующие элементы, растворяющиеся в феррите, изменяют параметры решетки и повышают твердость, но при этом они снижают пластичность металла. Следует понимать, что хром, вольфрам, молибден упрочняют феррит в меньшей степени, чем кремний, марганец и никель. Такие элементы, как молибден, вольфрам, марганец и кремний снижает вязкость феррита. Хром в меньшей степени по сравнению с другими элементами снижает вязкость, а никель достаточно интенсивно упрочняя феррит, не снижает его вязкости, кроме этого никель по-

нижает порог хладноломкости.

При нагреве легирующие элементы сдерживают рост зерна аустенита, т.е. способствуют образованию мелкозернистой структуры. Исключением является марганец и бор, которые способствуют росту зерна.

Большинство легирующих элементов являются  $\alpha$ -стабилизаторами, т.е. расширяют область существования  $\alpha$ -железа. Кроме марганца и никеля. Данные элементы являются  $\gamma$ -стабилизаторами.

В основном легирующие элементы, растворяясь в аустените, замедляют диффузию углерода, а следовательно, и распад аустенита, что имеет большое практическое значение, так как способствует более глубокой прокаливаемости. Прокаливаемость стали может быть значительно увеличена за счет легирования несколькими элементами. Однако, следует иметь в виду, что повышенное содержание легирующих элементов может ухудшить механические и технологические свойства, поэтому для обеспечения равномерных свойств по всему сечению необходимо выбирать сталь с оптимальным количеством легирующих элементов, обеспечивающих необходимую для требуемых размеров и условий охлаждения сквозную прокаливаемость.

Легирующие элементы, как правило, не влияют на кинематику мартенситного превращения, они влияют на температурный интервал мартенситного превращения, что безусловно отражается на количестве остаточного аустенита в закаленной стали. При этом большинство легирующих элементов снижает мартенситную точку, а вследствие этого увеличивает количество остаточного аустенита. Такие элементы как, алюминий, кобальт, повышая мартенситную точку, уменьшают количество остаточного аустенита, другие же не влияют на нее (кремний).

Кроме этого, легирующие элементы (хром, молибден, кремний и др.) замедляют процесс распада мартенсита, что позволит поднять температуру отпуска и увеличит его продолжительность. Никель и марганец влияют незначительно,

По суммарному количеству легирующих элементов различают низколегированные, среднелегированные и высоколегированные стали. Стали, содержащие не более 2,5 % легирующих элементов, относятся к низколегированным сталям; 2,5 – 10 % легирующих элементов – среднелегированные стали; более 10 % легирующих элементов – высоколегированные стали.

В зависимости от назначения легированные стали подразделяются на

- конструкционные стали,
- инструментальные стали,
- стали с особыми свойствами.

В свою очередь, конструкционные легированные стали подразделяются на машиностроительные и строительные.

Машиностроительные стали используются для производства деталей машин и механизмов, корпусных конструкции и т.п. Следует отметить, что в большинстве случаев они подвергаются термической обработке.

Строительные стали по своему составу могут быть близки к конструкционным сталям, они широко используются для изготовления металлических конструкций и сооружений из сортового металла, например, сварные металлоконструкции промышленных зданий. Строительные стали редко подвергаются термической обработке.

Инструментальные стали применяются для изготовления режущего, штампового, измерительного и прочего инструмента.

К сталям и сплавам с особыми свойствами относятся стали, которые обладают каким либо резко выраженным свойством: жаропрочные, жаростойкие, нержавеющие, с особенностями теплового расширения, с особенностями линейного расширения, с особыми магнитными свойствами и т.д. В некоторых случаях данные стали содержат такое большое количество легирующих элементов, что их можно отнести не к железоуглеродистым сплавам, а к сложным многокомпонентным сплавам. В виду отсутствия четкой границы между такими сплавами и сталями, их, как правило рассматривают вместе со сталями.

В строительстве наиболее широкое применение получили низколегированные стали, в машиностроении – среднелегированные и высоколегированные стали.

Одним из наиболее распространенных способов достижения заданных эксплуатационных свойств металлов и сплавов является термическая обработка. Термообработка может применяться как в качестве предварительной обработки, например, для улучшения обрабатываемости резанием, так и в качестве окончательной операции для достижения необходимых свойств.

Еще одним методом улучшения механических свойств деталей является химико-термическая обработка (ХТО), заключающаяся в со-



четании термического и химического воздействий на металлы и сплавы для изменения в поверхностном слое химического состава, структуры и свойств. В приложении 1 представлены область применения и краткая характеристика наиболее применяемых видов ХТО.

### **Порядок выполнения работы**

При выполнении первого задания следует обратить внимание на особенности термической обработки разных групп легированных сталей. Знать, как правильно назначить температуру закалки, как она влияет на структуру и свойства легированных сталей. Эта часть работы выполняется студентами при подготовке к работе.

Второе и третье задание выполняется в соответствии с вариантом, предложенным преподавателем (табл. 2).

При выполнении второго задания каждому студенту указывается легированная конструкционная или инструментальная сталь. Необходимо определить группу, к которой относится указанный сплав, его химический состав, область применения. Далее описывается влияние легирующих элементов на структуру и свойства стали. Назначается оптимальная термическая обработка (при необходимости также указывается химико-термическая обработка) с указанием технологических режимов и охлаждающих сред, определяются достигаемые механические свойства. Следует описать протекающие при этом превращения.

Кроме этого при выполнении второго задания необходимо указать дефекты, которые могут возникнуть при термической обработке в указанной стали, причины их возникновения и меры предупреждения этих дефектов.

При выполнении третьего задания следует провести анализ условий эксплуатации указанной детали. В результате этого анализа необходимо сформулировать требования, предъявляемые к материалу, и определить группу сталей, обладающих свойствами наиболее близкими к требуемым. Затем из этой группы выбирается один сплав.

При проработке сплава указывается его химический состав, влияние постоянных примесей и легирующих элементов, определяются вид и режимы термической, а в случае необходимости химико-термической обработки.

## Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание 1 по варианту, указанному преподавателем.
3. Задание 2 по варианту, указанному преподавателем.
4. Список использованной литературы.

*Таблица 2*

### Задание к практической работе №1

<b>1 часть</b>			
Вариант	Сталь	Вариант	Сталь
1	ШХ15ГС	6	Н18К9М5Т
2	60С2А	7	12Х2Н4А
3	09Х15Н8Ю	8	Х12Ф1
4	5ХНМ	9	ХВГ
5	12Х18Н10Т	10	40ХНР
<b>2 часть</b>			
Вариант	Задание		
1	Подобрать сталь и назначить термическую обработку для изготовления шестерни диаметром 50 мм. Требуется вязкость и прочность сердцевины.		
2	Подобрать сталь для изготовления цилиндров двигателей. Назначить термическую обработку.		
3	Подобрать сталь и назначить режим термообработки для изготовления вала диаметром 70 мм с одинаковыми свойствами по всему сечению.		
4	Подобрать сталь для изготовления пружин, работающих при температуре 250-300 °С. Назначить режим термообработки.		
5	Подобрать сталь для изготовления колец тяжело нагруженных роликовых подшипников для букс железнодорожных вагонов. Назначить термическую обработку.		
6	Подобрать сталь для изготовления деталей, работающих на износ в условиях абразивного трения и ударов. Назначить термическую обработку.		
7	Подобрать сталь для изготовления пружин, работающих в условиях агрессивной среды. Назначить режим термообработки.		
8	Подобрать сталь для клапанных пружин с сечением проволоки 5-6 мм. Назначить режим термообработки.		
9	Подобрать сталь для изготовления деталей газовых турбин. Назначить термическую обработку.		
10	Подобрать сталь и назначить термическую обработку для изготовления деталей паросилового оборудования.		

## Контрольные вопросы

1. Как влияют легирующие элементы на кинематику распада аустенита?
2. Какого влияние легирующих элементов на мартенситное превращение?
3. Опишите влияние марганца на структуру и свойства сталей.
4. Как подразделяются легированные стали по назначению?
5. В каком состоянии поставляется металлопрокат?
6. Опишите воздействие нагревающей среды на металл.
7. Как предотвратить окисление и обезуглероживание поверхности стали?
8. Дайте сравнительную характеристику действия полного и неполного отжига на структуру и свойства низколегированных и среднелегированных сталей.
9. Можно ли полный отжиг заменить нормализацией? Сравните воздействие этих видов термической обработки на структуру низкоуглеродистых сталей.
10. Как влияет закалка на структуру и свойства сталей?
11. Как определить оптимальные режимы закалки стали? Укажите температуру закалки стали 40Х.
12. Какие охлаждающие среды вы знаете?
13. Каковы причины возникновения внутренних напряжений, возникающих при закалке?
14. Как повысить прокаливаемость сталей?
15. Опишите технологические особенности изотермической и ступенчатой закалки?
16. Каковы причины возникновения мягких пятен при закалке?
17. Каковы меры предотвращения отпускной хрупкости II рода?
18. Что понимается по термическим улучшением стали? Какие из указанных сталей являются улучшаемыми:
19. В каких случаях применяют цементацию, азотирование, нитроцементацию, цианирование?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

### Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов

**Цель работы:** изучение металловедения и оптимальной термической обработки алюминиевых литейных и деформируемых сплавов.

#### Задания

1. По литературным источникам изучить виды термической обработки разных групп алюминиевых сплавов.
2. Дать характеристику алюминиевого сплава, указанного преподавателем.
3. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки данного сплава.
4. Дать рекомендации по предотвращению термических дефектов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

По технологии изготовления все сплавы алюминия разделяют на

- деформируемые сплавы, предназначенные для изготовления полуфабрикатов (листов, прутков, профилей, труб, проволоки и т.п.), поковок, штампованных заготовок методами холодной и горячей деформации;

- литейные сплавы, предназначенные для получения фасонных отливок;
- спеченные (порошковые) сплавы, получаемые методами порошковой металлургии.

Повышение прочности алюминиевых сплавов достигается либо пластическим деформированием, либо термической обработкой.

По способности к упрочнению термической обработкой деформируемые и литейные сплавы подразделяют на

- сплавы, неупрочняемые термической обработкой,
- сплавы, упрочняемые термической обработкой.

К деформируемым сплавам, неупрочняемым термической обра-

боткой относятся сплавы системы Al-Mn и Al-Mg. Сплавы данной группы характеризуются невысокой прочностью, ненамного превышающей прочность алюминия, но имеют высокую пластичность и коррозионную стойкость. Увеличение их прочностных свойств при некотором уменьшении пластичности достигается нагартовкой.

Широкое применение в промышленности алюминиевых деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой, обусловлено тем, что они в себе сочетают малую плотность с достаточной высокой прочностью. Такие сплавы в равновесном состоянии при цеховой температуре имеют двухфазную структуру: твердый раствор и включения вторичных фаз, например,  $\text{CuAl}_2$ , фаза S ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ),  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Для получения требуемых свойств в данных сплавах применяют отжиг, закалку и старение.

Наиболее применяемыми в деформированном виде среди алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, являются дуралюмины. Изделия из дуралюмина, как правило, подвергают закалке и естественному старению, так как оно обеспечивает более высокую коррозионную стойкость.

Литейные сплавы на основе алюминия в основном применяют в области средненагруженных деталей, так как обладают низкими механическими свойствами. Для них характерны малые температурные интервалы кристаллизации и хорошие литейные свойства.

Двойные силумины (Al-Si) относятся к числу термически неупрочняемых сплавов, поэтому они обладают невысокими прочностными свойствами. Повышение прочности и пластичности таких сплавов достигается модифицированием структуры малыми добавками щелочных металлов, как правило, в виде солей. Для изготовления фасонных отливок кроме простых силуминов широко применяются сплавы на основе других систем (Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Cu-Mg-Ni и др. [9]), которые практически не отличаются от деформируемых. Литейные сплавы отличаются тем, что в своем составе имеют более высокое содержание некоторых легирующих компонентов, добавок и примесей.

Большинство алюминиевых литейных сплавов, также как и деформируемых, подвергается упрочняющей термической обработке, при этом следует понимать, что термообработка силуминов имеет ряд особенностей в сравнении с термической обработкой деформируемых сплавов.

Диффузионные процессы в литых сплавах протекают медленно, поэтому при нагреве под закалку скорость растворения интерметаллидов низкая. Для обеспечения более полного растворения грубых упрочняющих фаз требуется более длительное время выдержки при температурах закалки.

Последующее охлаждение отливок, особенно сложных по форме и большой массы, во избежание их коробления целесообразно проводить с меньшей скоростью по сравнению с деформируемыми заготовками. Эффективное применение в качестве закалочной среды горячей и даже кипящей воды объясняется замедленностью процессов выделения избыточных фаз из твердого раствора.

Следует иметь в виду, что необходимо соблюдать рекомендованную температуру нагрева под закалку во избежание пережога и обеспечить высокую скорость охлаждения.

В зависимости от характера отливки и условий ее работы применяют один из следующих видов термообработки [12]:

1. Искусственное старение (Т1), при температуре  $175\pm 5^\circ\text{C}$  в течении 5-20 ч, без предварительной закалки. При литье ряда сплавов происходит частичная закалка, поэтому данный вид термообработки повышает прочность сплава и улучшает обрабатываемость резанием.

2. Отжиг (Т2) при  $\sim 300^\circ\text{C}$  в течении 5-10 ч в зависимости от назначения отливки с охлаждением на воздухе. Применяется для снятия литейных напряжений, а также остаточных напряжений, вызванных механообработкой. Данный вид обработки несколько повышает пластичность.

3. Закалка и естественное старение (Т3, Т4). Температура закалки  $510-545^\circ\text{C}$  в зависимости от марки сплава. Охлаждение производят в горячей воде ( $40-100^\circ\text{C}$ ).

4. Закалка и кратковременное в течении 2-3 ч искусственное старение при  $175^\circ\text{C}$  (Т5). В ряде случаев старение проводят при  $150^\circ\text{C}$ . При данных температурах и продолжительности процесс старения не заканчивается полностью. При этом отливки приобретают высокую прочность при сохранении повышенной пластичности.

5. Закалка и полное искусственное старение (Т6), которое, как правило, проводят при  $200^\circ\text{C}$  в течении 3-5 ч. При таком режиме детали приобретают наибольшую прочность, однако пластичность при этом снижается.

6. Закалка и стабилизирующее старение (Т7). Температура старения  $230-250^\circ\text{C}$  в зависимости от марки сплава в течении 2-10 часов.

Данный вид обработки применяется для стабилизации структуры и объемных изменений отливки при сохранении достаточной прочности.

7. Закалка и смягчающее старение (Т8) проводится при 240-260°C (3-5 ч). При этом повышается пластичность и стабильность размеров, однако заметно снижается прочность.

Следует понимать, что при закалке в холодной воде алюминиевых заготовок и полуфабрикатов возникают значительные внутренние напряжения. На практике для предотвращения закалочных дефектов применяют охлаждение в горячих средах или проводят изотермическую закалку. Однако, коробления возникают не только при охлаждении в процессе закалки, но и неравномерном и быстром нагреве под закалку, во избежание этого рекомендуют замедленный или ступенчатый нагрев.

Во избежание получения заниженных механических свойств, что является наиболее распространенным браком при закалке и последующим старении, необходимо соблюдать установленные режимы термической обработки.

### **Порядок выполнения работы**

При выполнении первого задания следует обратить внимание на классификацию алюминиевых сплавов и виды термической обработки, применяемые для сплавов каждой группы. Это задание выполняется студентами при подготовке к работе.

При выполнении второго задания (табл. 3) необходимо определить группу, к которой относится указанный преподавателем сплав, указать его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов для указанного сплава. Показать диаграммы состояния алюминия с легирующими элементами. Описать область применения указанного сплава.

При выполнении третьего задания следует указать возможную термическую обработку заданного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства. Необходимо сделать заключение об оптимальных режимах и охлаждающих средах, привести механические свойства, полученные в результате указанной термообработки.

Описать возможные дефекты (задание 4), возникающие при термической обработке в данном сплаве и меры их предупреждения.

## Задание к практической работе №2

Вариант	Сплав	Вариант	Сплав
1	АК7Ц9 (АЛ11)	6	АК8М
2	В93	7	Д18
3	АК5М2 (АЛ15)	8	В65
4	Д19	9	АМг6
5	АМг5К	10	АМц

**Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Выполненные пункты 2, 3 и 4 задания (в соответствии с вариантом, указанным преподавателем).
3. Список использованной литературы.

**Контрольные вопросы**

1. Как классифицируют алюминиевые сплавы?
2. Какое влияние оказывают примеси и легирующие элементы на свойства алюминиевых сплавов?
3. Почему в алюминиевых литейных сплавах допускается большее содержание железа?
4. Почему невозможно термическое упрочнение двойных силуминов? Как повысить их прочность?
5. Каким образом достигают увеличения прочностных свойств сплавов системы Al-Mn и Al-Mg?
6. Какие особенности имеет термическое упрочнение литейных сплавов в сравнении с деформируемыми?
7. Как влияет закалка и последующее старение на структуру и свойства дуралюминов?
8. Почему необходимо жестко соблюдать температуру закалки дуралюминов?
9. Какое преимущество имеет естественное старение по сравнению с искусственным применительно к дуралюминам?
10. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе алюминия?
11. Каким образом можно предотвратить коробления алюминиевых отливок сложной формы в процессе закалки?



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

### Металловедение и термическая обработка медных сплавов

**Цель работы:** изучение металловедения и оптимальной термической обработки сплавов на основе меди.

#### Задания

1. По литературным источникам изучить виды термической обработки разных групп сплавов на основе меди.
2. Дать характеристику медного сплава, указанного преподавателем.
3. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки данного сплава.
4. Дать рекомендации по предотвращению термических дефектов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

По химическому составу медные сплавы подразделяются на медно-никелевые, латуни и бронзы. Кроме того, медные сплавы классифицируют по технологии изготовления (деформируемые и литейные), а также по способности к упрочнению термической обработкой (термически упрочняемые и термически не упрочняемые).

При разработке технологии термической обработки медных сплавов учитывают две особенности: высокую теплопроводность и активное взаимодействие меди с газами при нагреве.

Медные сплавы активно взаимодействуют с кислородом и парами воды при высоких температурах, в связи с этим, при термической обработке заготовок и готовых изделий из меди часто применяют защитные атмосферы.

Большинство медных сплавов подвергаются отжигу, но их нельзя упрочнить термической обработкой. В сплавах на основе меди отсутствуют полиморфные превращения, а также невозможно провести их дисперсионное твердение. Исключением являются бериллиевые

бронзы. Принципиальным отличием данных бронз является возможность термического упрочнения.

Высокие прочностные свойства бериллиевых бронз достигаются закалкой и последующим старением за счет дисперсионного твердения.

Следует отметить, что из-за высокой теплопроводности при процессах термической обработки не возникают проблемы прокаливаемости, поэтому на практике используемые заготовки и изделия прокаливают насквозь.

### **Порядок выполнения работы**

При выполнении первого задания студенты изучают классификацию сплавов на основе меди и виды термической обработки, применяемые для сплавов каждой группы. При этом следует обратить внимание на механизм упрочнения бериллиевых бронз и возможность совмещения в цеховых условиях операций литья и горячей обработки давлением с термической обработкой. Это задание выполняется студентами при подготовке к работе.

При выполнении второго задания (табл. 4) необходимо определить группу, к которой относится указанный преподавателем сплав, указать его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов. Показать диаграммы состояния меди с легирующими элементами и вредными примесями. Описать область применения указанного сплава.

При выполнении третьего задания следует указать возможную термическую обработку заданного сплава, описать её, привести достигаемые механические и технологические свойства. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред.

Описать возможные дефекты (задание 4), возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Выполненные пункты 2, 3 и 4 задания (в соответствии с вариантом, указанным преподавателем).

### 3. Список использованной литературы.

Таблица 4

#### Задание к практической работе №3

Вариант	Сплав	Вариант	Сплав
1	БрБ2	6	МН19
2	Л96	7	Л59
3	БрА5	8	БрАЖН10-4-4
4	БрКМц3-1	9	БрС30
5	Л70	10	Л060-1

#### Контрольные вопросы

1. Какова классификация сплавов на основе меди?
2. Какое влияние оказывают примеси и легирующие элементы на свойства меди и её сплавов?
3. Как влияет цинк на свойства латуней?
4. Опишите технологические свойства сплава МН19. Назначьте возможную термическую обработку.
5. Каким видам отжига подвергают медные сплавы? С какой целью их проводят?
6. Какая группа бронз особо нуждается к гомогенизационном отжиге?
7. Какие медные сплавы подвергаются упрочняющей термической обработке? Поясните природу увеличения прочностных свойств.
8. Опишите возможные технологические процессы термической обработки применительно к сплаву БрБ2.
9. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе меди?
10. Чем объясняется более широкое применение защитных сред при термообработке медных сплавов по сравнению с алюминиевыми сплавами?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### Металловедение и термическая обработка титановых сплавов

**Цель работы:** изучение металловедения и оптимальной термической обработки сплавов на основе титана.

#### Задания

1. По литературным источникам изучить влияние легирующих элементов на полиморфизм титана и виды термической обработки титановых сплавов.
2. Дать характеристику титанового сплава, указанного преподавателем.
3. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для данного сплава.
4. Дать рекомендации по предотвращению термических дефектов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

Титановые сплавы классифицируются по способу производства (деформируемые и литейные), структуре ( $\alpha$ -,  $\alpha+\beta$ -,  $\beta$ -сплавы), механическим свойствам (нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластичности) и способности упрочняться термической обработкой (упрочняемые и неупрочняемые).

В промышленных условиях сплавы на основе титана в зависимости от их состава и назначения подвергают отжигу, закалке и старению, также возможна их химико-термическая обработка (азотирование, силицирование).

Сплавы, имеющие однофазную структуру  $\alpha$ -раствора, не упрочняются термически, как правило их подвергают рекристаллизационному отжигу. Для  $\alpha + \beta$ -сплавов могут применять изотермический отжиг, а некоторые сплавы этой группы подвергаются упрочняющему двойному отжигу.

Упрочнение данных сплавов при закалке и последующем старении определяется фазовым составом закаленного металла и количеством метастабильных фаз. В титановых сплавах возможна закалка с полиморфным превращением и без него. Все промышленные титановые сплавы, имеющие фазовые превращения, способны упрочняться термически. Однако практика показывает, что лучшее сочетание механических и эксплуатационных свойств дает закалка без полиморфного превращения, т.е. в случае, когда отсутствуют мартенситные фазы.

Следует отметить, что закалку и старение проводят для полуфабрикатов небольшого сечения, тогда как крупные полуфабрикаты редко подвергают упрочняющей обработке в виду низкой прокаливаемости, их значительной деформации при быстром охлаждении и большой чувствительности к концентраторам напряжений.

### **Порядок выполнения работы**

При выполнении первого задания следует обратить внимание на классификацию сплавов на основе титана, влияние легирующих элементов на полиморфизм титана и виды термической обработки. Это задание выполняется студентами при подготовке к работе.

При выполнении второго задания (табл5) необходимо определить группу, к которой относится указанный преподавателем сплав. Указать его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов. Показать диаграммы состояния титана с легирующими элементами и примесями. Описать область применения указанного сплава.

*Таблица 5*

Задание к практической работе №4

Вариант	Сплав	Вариант	Сплав
1	BT35	6	BT4
2	OT4-1	7	BT16
3	BT23	8	BT15
4	BT8	9	4201
5	BT18	10	BT30

При выполнении третьего задания следует указать возможную термическую обработку заданного сплава, описать её, привести достигаемые механические и технологические свойства. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред.

Описать возможные дефекты (задание 4), возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Выполненные пункты 2, 3 и 4 задания (в соответствии с вариантом, указанным преподавателем).
3. Список использованной литературы.

### **Контрольные вопросы**

1. Как классифицируют титановые сплавы?
2. Какое влияние на структуру титановых сплавов оказывают примеси и легирующие элементы?
3. Чем объясняется наиболее широкое применение  $\alpha+\beta$ -сплавов?
4. Каким видам отжига подвергают титановые сплавы?
5. Почему в сплавах на основе титана не применяется отжиг с полной фазовой перекристаллизацией с целью измельчения зерна?
6. Опишите механизм упрочнения применительно к титановым сплавам?
7. Почему не проводят упрочняющую термическую обработку для крупных деталей, изготовленных из сплавов на основе титана?
8. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе титана? Каковы меры по их предотвращению.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5**

### **Металловедение и термическая обработка магниевых сплавов**

**Цель работы:** изучение металловедения и оптимальной термической обработки сплавов на основе магния.

#### **Задания**

1. По литературным источникам изучить виды термической обработки разных групп сплавов на основе магния.
2. Дать характеристику магниевому сплаву, указанного преподавателем.
3. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для данного сплава.
4. Дать рекомендации по предотвращению термических дефектов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### **Общие положения**

В машиностроении находят значительное применение различные сплавы магния. Их отличительной особенностью является низкая плотность при достаточной пластичности. Сплавы магния имеют высокую удельную прочность, хорошо гасят вибрации, однако они имеют низкий модуль нормальной упругости и плохо сопротивляются коррозии.

По технологии изготовления различают деформируемые и литейные магниевые сплавы.

Наиболее прочными деформируемыми сплавами на основе магния являются сплавы системы Mg-Al и Mg-Zn, которые дополнительно легируют кадмием, цирконием, редкоземельными металлами и другими элементами. Алюминий и цинк, обладающие хорошей растворимостью в магнии, эффективно упрочняют твердые растворы.

Литейные магниевые сплавы по химическому и фазовому составу близки к деформируемым. Недостаток литейных сплавов – низкие механические свойства из-за усадочной пористости и крупнозернистой

структуры. Повышения механических свойств добиваются измельчением зерна путем перегрева расплава или его модифицированием.

Для достижения необходимых свойств магниевые сплавы подвергают разным видам отжига: гомогенизационному, рекристаллизационному, отжигу для снятия остаточных напряжений, а также закалке и старению.

Закалка и старение сплавов на основе магния имеет свои особенности. Это объясняется небольшой скоростью распада твердых растворов. Для получения пересыщенных твердых растворов на основе магния, как правило, применяют сравнительно небольшие скорости охлаждения, это достигается охлаждением на воздухе. Также магниевые сплавы с температуры закалки могут охлаждать в горячей воде. Выдержка закаленных сплавов при комнатной температуре не вызывает структурных изменения (исключение сплавы системы Mg-Li), поэтому их подвергают искусственному старению.

### **Порядок выполнения работы**

При выполнении первого задания следует обратить внимание на особенности термической обработки магниевых сплавов. Следует понимать, термообработка магниевых и алюминиевых сплавов имеет много общего, так как в этих сплавах отсутствует полиморфное превращение. Это задание выполняется студентами при подготовке к работе.

При выполнении второго задания (табл.6) необходимо определить группу, к которой относится указанный преподавателем сплав. Указать его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов. Показать диаграммы состояния магния с легирующими элементами и примесями. Описать область применения указанного сплава.

При выполнении третьего задания следует указать возможную термическую обработку заданного сплава, описать её, привести достигаемые механические и технологические свойства. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред.

Описать возможные дефекты (задание 4), возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.



## Задание к практической работе №5

Вариант	Сплав	Вариант	Сплав
1	МА5	6	МЛ10
2	МЛ5	7	МА19
3	МА18	8	МЛ8
4	МЛ19	9	МА1
5	МА14	10	МА20

**Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Выполненные пункты 2, 3 и 4 задания (в соответствии с вариантом, указанным преподавателем).
3. Список использованной литературы

**Контрольные вопросы**

1. Какими особенностями обладает совмещение гомогенизации и нагрева под обработку давлением магниевых деформируемых сплавов?
2. Какую термическую обработку проводят для уменьшения внутренних напряжений в деформированных полуфабрикатах из магниевых сплавов?
3. Какие металлы являются эффективными упрочнителями твердых растворов сплавов на основе магния?
4. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе магния? Каковы меры предупреждения этих дефектов?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

### Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов

**Цель работы:** изучение металловедения и оптимальной термической обработки сплавов на основе никеля.

#### Задания

1. По литературным источникам изучить виды термической обработки разных групп сплавов на основе никеля.
2. Дать характеристику никелевого сплава, указанного преподавателем.
3. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для данного сплава.
4. Дать рекомендации по предотвращению термических дефектов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

Промышленные сплавы на основе никеля разделяют на

- жаростойкие;
- жаропрочные;
- коррозионностойкие;
- специальные (с особыми физическими свойствами).

Большинство термически упрочняемых сплавов на основе никеля относится к группе жаропрочных сплавов. Повышенные характеристики сплавов данной группы достигаются не только за счет легирования, а также за счет термической обработки. Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов имеет ряд особенностей [21]:

- высокая температура закалки в виду малой скорости растворения сложных по своему составу и структуре фаз-упрочнителей;
- длительная выдержка при температурах закалки для обеспечения полного растворения этих фаз;
- медленное охлаждение в виду малой скорости распада пересыщенного твердого раствора;

– относительно высокая температура отпуска (старения) для ускорения распада и длительная выдержка.

При закалке жаропрочные сплавы на основе никеля в основном охлаждаются на воздухе. Охлаждение с большими скоростями вызывает образование трещин, особенно в высоколегированных сплавах.

Для данных сплавов достаточно часто применяют ступенчатое старение. При этом температура второй ступени ниже, чем первой.

### Порядок выполнения работы

При выполнении первого задания следует обратить внимание на классификацию сплавов на основе никеля и особенности термической обработки этих сплавов. Это задание выполняется студентами при подготовке к работе.

При выполнении второго задания (табл.7) необходимо определить группу, к которой относится указанный преподавателем сплав. Указать его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов. Показать диаграммы состояния никеля с легирующими элементами и примесями. Описать область применения указанного сплава.

Таблица 7

Задание к практической работе №6

Вариант	Сплав	Вариант	Сплав
1	ЖС3	6	ХН73МБТЮ
2	ХН70ВМТЮ	7	ХН77ТЮ
3	ХН77ТЮР	8	ХН70ВМФТЮ
4	ХН62ВМКЮ	9	ХН55ВМТФКЮ
5	ЖС6	10	ЖС6К

При выполнении третьего задания следует указать возможную термическую обработку заданного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред.

Описать возможные дефекты (задание 4), возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.

## Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Выполненные пункты 2, 3 и 4 задания (в соответствии с вариантом, указанным преподавателем).
3. Список использованной литературы

## Контрольные вопросы

1. Какова классификация сплавов на основе никеля?
2. Какое влияние оказывают примеси и легирующие элементы на свойства никелевых сплавов?
3. Опишите возможную термическую обработку сплавов на основе никеля.
4. Какие характерные особенности имеет термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов?
5. Почему необходима длительная выдержка жаропрочных никелевых сплавов при температурах закалки?
6. Можно ли жаропрочные никелевые стали при закалке охлаждать в горячей воде?
7. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе никеля? Каковы меры предупреждения этих дефектов?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Основные виды и режимы химико-термической обработки

Вид ХТО	Группа сталей, примеры марок сталей	Область применения	Термическая обработка	Свойства поверхностных слоев	Примечание
Цементация	Углеродистые стали с 0,05-0,25% С: Ст2, Ст3, Ст5, 08, 8кп, 15, 20 и др.	Детали с максимальным рабочим сечением 15-25 мм, работающие на износ: шестерни, звездочки, червяки, кулачковые валы, храповики и др.	Для деталей, от которых требуется только поверхностная твердость: закалка с цементационного нагрева (900 – 950 °С или с подстуживанием до 820 – 840°С), низкий отпуск (150 – 200°С). При повышенных требованиях к структуре и свойствам детали: закалка с температуры 850 – 900°С, низкий отпуск 150 – 200 °С. При особо высоких требованиях к механическим свойствам: 1-я за-	Высокая твердость (58 – 62 HRC) и износостойкость после ТО (твердость сердцевины 25 – 35 HRC для легированных сталей и менее 20 HRC для углеродистых). Теплостойкость (сохранение твердости при высоких температурах) до 200 – 225 °С	Крупнозернистая структура (следствие перегрева). Увеличение предела контактной выносливости
	Легированные стали средней прочности с 0,12-0,15% С: 15Х, 20Х, 15ХФ, 15ХМ, 20ХМ, 20ХР, 12ХН2, 15ХМ, 15ХР, 18ХГТ, 20ХН и др.	Более нагруженные детали с максимальным рабочим сечением 35 мм			
	Легированные стали повышенной прочности с прочностью с 0,12-0,2% С: 1ХМА, 12Х2Н4А, 15Х2ГН2ТА, 20ХГТ, 18ХСНРА, 15ХГХГНТА, 20ХГР, 18 ХСНРА, 15ХГНТА, 12ХН2, 15Х2ГН2ТРА	Ответственные нагруженные шестерни разного модуля и другие детали, работающие в условиях высоких удельных нагрузок, с максимальным рабочим сечением 50-70 мм (18ХМА, 20ХРГ – 40-60 мм).			

<p>Легированные стали высокой прочности с 0,12-0,3% С: 25ХГТ, 30ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 20ХГНР, 20ХГР, 25Х2ГНТА, 20ХН3А, 20ХГВТ, 20ХГСВТ, 20ХГН и др.</p>	<p>Особо ответственные шестерни средних и крупных модулей для тяжелых условий работы с максимальным рабочим сечением 100-120 мм (25ХГТ, 30 ХГТ, 20ХГВТ, 20ХТСВТ, 20ХГН -60-80 мм)</p>	<p>калка 850 – 900 °С (для измельчения структуры сердцевины и устранения цементитной сетки на поверхности), 2-я закалка 750 – 800 °С, низкий отпуск 150 – 200 °С.</p>		
<p>Штамповая полутеплостойкая и теплоустойкая сталь; легированная с 0,3-0,5% С: 50ХНВ, 50ХНМ, 50ХНТ, 40ВФС, 40Х4М2, 45Х5В4МФС, 40Х, 38ХГСА, 3Х2В8, 45Х3В3МФС и др.</p>	<p>Детали технологической оснастки и штамповый инструмент холодной и горячей обработки металлов, наиболее ответственные детали машин</p>			
<p>Инструментальные и шарикоподшипниковые стали: 9ХС, Х12Ф, Х12М, ШХ9, ШХ15, ШХ15СМ и др.</p>	<p>Детали технологической оснастки и штамповый инструмент холодной обработки металлов, некоторые детали машин</p>			
<p>Высокохромистые нержавеющие стали: 10Х13, 20Х13, 10Х17, 10Х16Н2АМ, 14Х17Н2 и др.</p>	<p>Детали, работающие на износ в коррозионных средах; инструмент режущий, мерительный, хирургический, холодной и горячей обработки ме-</p>			

		таллов (пресс-формы, вырубные и вытяжные штампы)			
	Быстрорежущие и близкие к ним по составу специальные низкоуглеродистые стали	Режущий и мерительный инструмент (скобы, пробки, сверла, метчики, развертки, фрезы и др.)			
Азотирование	Углеродистые стали: 08, 10, 15, 20, 25, Ст1, Ст 2, А12, А20, 40, У7, У8 и др.	Детали, работающие в атмосферных условиях (винты, гайки, штифты, мелкие зубчатые колеса, фурнитура и др.)	Предварительная термическая обработка: закалка и высокий отпуск. Для стали 38ХМЮА: закалка 940 °С, отпуск 600 – 670 °С	Высокая твердость (для 38Х2МЮА – 1200 НV), износостойкость, теплостойкость до 450 – 500 °С	Повышенные предел выносливости, усталостная прочность, коррозионная стойкость (атмосфера, вода, пар). Наиболее широко применяется сталь 38ХМЮА.
	Конструкционные легированные стали: 38ХМЮА, 38ХВФЮА и др.  30Х2НВФА, 18Х2Н4ВА, 30Х3ВА, 30ХНМФ, 30ХМФ, 30ХН3МФ, 40ХНВА, 40ХНМА и др.	Детали, от которых требуется высокая твердость и износостойкость (гильзы цилиндров двигателей, шпиндели, втулки, валики и др.). Ответственные детали высокой прочности и вязкости, работающие в условиях повторно-переменных нагрузок (коленчатые валы, зубчатые колеса, шатуны и др.).			

	Инструментальные легированные стали: X12Φ1, 3X2B8Φ и др.	Матрицы и пуансоны для горячей штамповки, пресс-формы из инструментальных сталей для литья под давлением			
Нитроцементация	Стали с низким и средним содержанием углерода, нержавеющие стали: 20, 20X, 18XГТ, 18X2H4BA, 25XГМ, 25XГМТ, X17H2 и др.	Детали сложной конфигурации, склонные к короблению	Закалка непосредственно из печи сразу после ХТО, реже повторного нагрева, низкий отпуск 160 – 180 °С	Высокие твердость (60 – 63 HRC) и износостойкость (после закалки и низкого отпуска), коррозионная стойкость Получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя, увеличение выносливости	При одновременной диффузии углерода и азота ускоряется диффузия углерода. В отличие от цементации процесс происходит при более низкой температуре, поэтому происходят меньшие деформации и коробления. Мелкозернистая структура. Повышенный предел выносливости.
	Инструментальные легированные стали: 9X, ШХ15 и др.				



Цианирование	Стали с низким и средним содержанием углерода, нержавеющие стали: 20, 20X, 35X, 18XГТ, 25XГМ, 25XГМТ и др.	Детали сложной конфигурации, склонные к короблению	Закалка из цианистой ванны, низкий отпуск 180 – 200 °С	Высокие твердость (63 – 65 HRC) и износостойкость. Матовая поверхность («товарный» вид продукции).	Повышенный предел выносливости, меньше деформации и коробления деталей сложной формы. Недостаток – ядовитость цианистых солей (специальные меры по охране труда)
	Быстрорежущие и инструментальные стали: P18, P6M5, 3X2B8Ф, 4X5B2ФС, 4X5МС и др.	Режущий инструмент (резьбовые фрезы, метчики, сверла, зенкеры), детали штампов и прессформ			
Борирование	Стали с низким и средним содержанием углерода, нержавеющие: 20, 35, 40, 45, 45X, 50ХФА, 45ХНФА, 12Х18Н9Т и др.	Детали, работающие в абразивной среде (диски пяты турбобура, втулки грязевых нефтяных насосов и др.).	При необходимости закалка 840 – 860 °С и отпуск 200 °С. Закалку желательно проводить с температуры борирования или с более низких температур с предварительным подстуживанием.		При выполнении закалки как самостоятельной операции борированные детали нагревают под закалку в хорошо раскисленных соляных ваннах, так как нагрев под закалку в печах с воздушной средой недопустим
	Инструментальные стали: 4X5B2ФС, 4X5МФС, 3X3М3Ф и др.	Детали технологической оснастки и штамповый инструмент (вытяжные, гибочные и формовочные штампы; детали прессформ и машин для литья под давлением и др.)			
Силицирование	Стали с низким и средним содержанием	Детали, используемые в оборудовании химиче-	Закалка 840 °С, высокий отпуск		Высокая кислотостойкость.

	ем углерода, нержавеющие: 10, 45, 07X3ГНМ, 12X2Г2НМФТ, 13X13, 12X18Н9Т, 20X23Н18 и др.	ской, бумажной и нефтяной промышленности (трубопроводы, валики насосов, трубопроводы, болты, гайки, арматура и др.)			Повышение сопротивления окислению при высоких температурах сплавов молибдена.
Алитирование	Легированные конструкционные стали: 12X18Н9Т, 4X14Н14В2М	Детали машин, работающие при высоких температурах (топливники газогенераторных машин, детали разливочных ковшей, клапаны и др.)	Диффузионный отжиг 1150 °С в течение 5 – 6 ч (для снижения хрупкости алитированного слоя)		Высокая окалиностойкость. Хорошее сопротивление коррозии в атмосфере и морской воде.
Хромирование	Стали с низким и средним содержанием углерода, нержавеющие: 20ХМА, 30ХМА, 10X11Н23Т3МР, 12X18Н10Т и др.	Детали машин, работающих на износ в агрессивных средах (детали паросилового оборудования, пароводяной арматуры, клапаны, вентили, патрубки и др.)	Закалка, отпуск 200 – 230°С		Стали, содержащие свыше 0,06% серы или фосфоры, непригодны для хромирования. Повышенная окалиностойкость, высокая коррозионная стойкость.
	Инструментальные легированные стали: 3X2В8Ф, 45ХВ2ФС и др.	Для повышения стойкости деталей пресс-форм для литья под давлением алюминиевых и медных сплавов, штампов горячей и холодной обработки давлением легированных и высокохромистых сталей при невысоких удельных давлениях.			

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адаскин, А. М.** Материаловедение в машиностроении : учеб. для бакалавров / А. М. Адаскин [и др.]. – М. : Юрайт, 2013. – 535 с. – (Сер. Бакалавр. Углубленный курс). – ISBN 978-5-9916-2867-9.
2. **Антонюк, В. Е.** Конструктору станочных приспособлений : Справ. пособие. – Мн.: Беларусь, 1991. – 400 с. – ISBN 5-338-00229-9.
3. **Гелин, Ф. Д.** Металлические материалы : справочник / Ф. Д. Гелин. – Минск : Высш. шк., 1987. – 368 с.
4. **Геллер, Ю. А.** Материаловедение : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт ; под ред. А. Г. Рахштадта. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1989. – 456 с. – ISBN 5-229-00228-X.
5. **Гуляев, А. П.** Металловедение : учеб. для вузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1986. – 542 с.
6. **Журавлев, В. Н.** Машиностроительные стали : справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с. – ISBN 5-217-01306-0.
7. **Золоторевский, В. С.** Механические свойства металлов : учеб. для вузов по специальности «Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов» / В. С. Золоторевский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1983. – 350 с.
8. **Иванов, Г. П.** Надежность материала в технических расчетах / Г. П. Иванов [и др.] ; под ред. Д. В. Бушенина. – Владимир : Посад, 2002. – 128 с.
9. **Колачев, Б. А.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов : учеб. пособие для вузов по специальности «Металловедение и технология термической обработки металлов» / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М. : МИСИС, 2001. – 414 с. – ISBN 5-8763-027-8.
10. **Конструкционные материалы** : справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 687 с. – (Сер. Основы проектирования машин). – ISBN 5-217-01112-2.
11. **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение : учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с. – (Сер. Для вузов). – ISBN 5-217-00858-X.

12. **Лахтин, Ю. М.** Металловедение и термическая обработка металлов : учеб. для вузов. – 3-е изд. стер. – М. : Metallurgia, 1984. – 360 с.

13. **Лейкин, А. Е.** Материаловедение : учеб. для для машиностроит. специальностей вузов / А. Е. Лейкин, Б. И. Родин. – М. : Высш. шк., 1971. – 416 с.

14. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие для вузов по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / А. В. Шишкин [и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко. – 2-е изд., стер. – М. : Омега-Л, 2006. – 752 с. – (Сер. Высшее техническое образование). – ISBN 5-365-00041-2.

15. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 646 с. – (Сер. Учебник для технических вузов). – ISBN 5-7038-1860-5.

16. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для вузов по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В. Б. Арзамасов [и др.] ; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2009. – 447 с. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение). – ISBN 978-5-7695-6499-4.

17. Материаловедение и технология металлов : учеб. для вузов / Г. П. Фетисов [и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 862 с. – ISBN 5-06-004418-1.

18. Материалы в машиностроении: выбор и применение : справочник. В 5 т. Т. 1: Цветные металлы и сплавы / И. А. Алексахин [и др.] ; под ред. Л. П. Лужникова. – М. : Машиностроение, 1967. – 304 с.

19. **Мозберг, Р. К.** Материаловедение : учеб. пособие для вузов / Р. К. Мозберг. – Изд. 2-е, перераб. – М. : Высш. шк., 1991. – 448 с. – ISBN 5-06-001909-8.

20. **Мухин, Г.Г.** Стали. Чугуны. Т.2 /Г.Г. Мухин, А.И. Беляков, Н.Н. Александров и др.; под общ. ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. — Москва: Машиностроение, 2001. — 784с.

21. **Новиков, И. И.** Теория термической обработки металлов : учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1978. – 392 с.

22. **Плошкин, В. В.** Материаловедение : учеб. пособие / В. В. Плошкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 463 с. – (Сер. Основы наук). – ISBN 978-5-9916-1222-7.

23. Производство отливок из сплавов цветных металлов : учебник / А. В. Курдюмов [и др.] ; под ред. В. Д. Белова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом МИСиС, 2011. – 615 с. – ISBN 978-5-87623-573-2.

24. **Ржевская, С. В.** Материаловедение : учеб. для вузов в области техники и технологии / С. В. Ржевская. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Логос, 2006. – 421 с. – ISBN 5-98704-179-X.

25. **Рогов, В. А.** Современные машиностроительные материалы и заготовки : учеб. пособие для вузов по направлениям «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М. : Академия, 2008. – 330 с. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение). – ISBN 978-5-7695-4254-1.

26. **Роцин, В. Е.** Электрометаллургия и металлургия стали : учебник / В. Е. Роцин, А. В. Роцин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Челябинск : ЮУРГУ, 2013. – 572 с. – ISBN 978-5-696-04354-8.

27. **Сильман, Г. И.** Материаловедение : учеб. пособие для вузов / Г. И. Сильман. – М. : Академия, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-4255-8.

28. **Солнцев, Ю. П.** Материаловедение : учеб. для вузов по металлург., машиностроит. и общетехн. специальностям / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин ; под ред. Ю. П. Солнцева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб. : Химиздат, 2004. – 735 с. – (Сер. Учебник для вузов). – ISBN 5-93808-075-4.

29. **Токмин, А. М.** Выбор материалов и технологий в машиностроении : учебное пособие для студентов вузов, обуч. по направлению 150100 "Материаловедение и технологии материалов" / А. М. Токмин, В. И. Темных, Л. А. Свечникова ; Сиб. федерал. ун-т. - Москва : ИНФРА-М. – СФУ, 2013. – 234 с. : ил. – (Высшее образование – бакалавриат). - Библиогр.: с. 230-231. – ISBN 978-5-16-006377-5.

30. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г. В. Борисенко [и др.] ; под ред. Л. С. Ляховича. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.

## ПЕРЕЧЕНЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ

1. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
2. ГОСТ 1050-2013.Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия.
3. ГОСТ 1435-99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия.
4. ГОСТ 4543-2016. Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия.
5. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия.
6. ГОСТ 14959-2016. Metalлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия.
7. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.
8. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.
9. ГОСТ 28393-89. Прутки и полосы из быстрорежущей стали, полученной методом порошковой металлургии. Общие технические условия.
10. ГОСТ 10994-74. Сплавы прецизионные. Марки.
11. ГОСТ 7293-85. Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки.
12. ГОСТ 1215-79. Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия.
13. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки.
14. ГОСТ 11069-2001. Алюминий первичный. Марки.
15. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки.
16. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия.
17. ГОСТ 859-2014. Медь. Марки.
18. ГОСТ 15527-2004. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки.

19. ГОСТ 17711-93. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки.
20. ГОСТ 5017-2006. Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки.
21. ГОСТ 18175-78. Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки.
22. ГОСТ 613–79. Бронзы оловянные литейные. Марки.
23. ГОСТ 493-79. Бронзы безоловянные литейные. Марки.
24. ГОСТ 492-2006. Никель, никелевые и медно-никелевые сплавы, обрабатываемые давлением. Марки.
25. ГОСТ 19807-91. Титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением. Марки.
26. ГОСТ 25140-93. Сплавы цинковые литейные. Марки.
27. ГОСТ 14957-76. Сплавы магниевые деформируемые. Марки.
28. ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки.
29. ГОСТ 1320-74. Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1</b>	
Определение технологических параметров термической обработки легированных сталей .....	6
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2</b>	
Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов .	12
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3</b>	
Металловедение и термическая обработка медных сплавов .....	17
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4</b>	
Металловедение и термическая обработка титановых сплавов .....	20
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5</b>	
Металловедение и термическая обработка магниевых сплавов .....	23
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6</b>	
Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов .....	26
Приложение .....	29
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	35
ПЕРЕЧЕНЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ .....	38