



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

***КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ В
МАШИНОСТРОЕНИИ***

Направление подготовки (специальность)
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Направленность (профиль/специализация) программы
Материаловедение и технологии материалов (в машиностроении)

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Литейных процессов и материаловедения
Курс	3, 4
Семестр	6, 7

Магнитогорск
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 701)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения
08.02.2023, протокол № 6

Зав. кафедрой  Н.А. Феоктистов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры ЛПИМ, д-р техн. наук  Н.В. Копцева

Рецензент:
доцент кафедры ТОМ, канд. техн. наук  Ю.Ю. Ефимова

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Н.А. Феоктистов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины является приобретение студентами знаний о закономерностях физико-химических процессов, определяющих особенности химического состава и свойства конструкционных и инструментальных сталей различного назначения в машиностроении, а также процессов, наблюдающихся при их обработке или во время службы, необходимых бакалавру по профилю «Материаловедение и технологии материалов (в машиностроении)» для плодотворной научно-исследовательской, расчетно-аналитической, производственной и проектно-технологической деятельности.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Физическая химия

Метрология, стандартизация и сертификация

Физика

Теория строения материалов

Материаловедение

Технология получения изделий в машиностроении

Теория термической обработки

Основы структурного анализа материалов

Экспериментальная техника материаловедения

Учебная - ознакомительная практика

Введение в направление

Общая и неорганическая химия

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Выбор материалов и технологий термообработки в машиностроении

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Оборудование для термической и химико-термической обработки

Производственная - технологическая (проектно-технологическая) практика

Учебная - научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Продвижение научной продукции

Производственная - преддипломная практика

Экспертиза дефектообразования в сквозной технологии

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3	Способен выбирать материалы при разработке технологических процессов в области материаловедения и технологии материалов в машиностроении
ПК-3.1	Выбирает металлические и неметаллические материалы для деталей машин, приборов и инструмента

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц 324 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 204,55 акад. часов;
- аудиторная – 195 акад. часов;
- внеаудиторная – 9,55 акад. часов;
- самостоятельная работа – 48,05 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 71,4 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. 1. Введение								
1.1 Основные понятия и определения. Классификация легирующих элементов. Классификация легированных сталей	6	4			1,75	Проработка теоретического (лекционного) материала.	Текущий контроль Устный опрос	ПК-3.1
Итого по разделу		4			1,75			
2. 2. Углеродистые стали								
2.1 Роль углерода в формировании свойств стали.	6	4		4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
2.2 Влияние углерода на превращения при нагреве, охлаждении и при отпуске стали		4	10	4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к лабораторным и практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа Защита лабораторных работ	ПК-3.1

2.3 Достоинства, недостатки и области применения углеродистой стали.		2		4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
Итого по разделу		10	10	12	6			
3. 3. Теоретические основы легирования								
3.1 Влияние легирующих элементов на фазовый состав стали.	6	4		4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
3.2 Влияние легирующих элементов на превращения в стали		4		4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
3.3 Влияние легирующих элементов на технологические свойства стали. Дефекты легированной стали		2		4	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
Итого по разделу		10		12	6			
4. 4. Конструкционные стали								
4.1 Принципы и основные тенденции легирования	6	2		6	2	Проработка лекционного материала; подготовка к практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
4.2 Стали повышенной деформируемости. Сталь для холодной штамповки. Стали для автомобилестроения		4	8		2	Проработка лекционного материала; подготовка к лабораторным и практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Контрольная работа Защита лабораторных работ	ПК-3.1

4.3 Свариваемые стали. Литейные стали		3	4		3	Проработка лекционного материала; подготовка к лабораторным занятиям; подготовка к контрольной работе	Текущий контроль Защита лабораторной работы Контрольная работа	ПК-3.1
4.4 Улучшаемые стали. Автоматные стали		4	8		3	Проработка лекционного материала; подготовка к лабораторным и практическим занятиям; подготовка к контрольной работе	Контрольная работа Защита лабораторных работ	ПК-3.1
4.5 Стали для закалки с нагревом токами высокой частоты		3			2	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
4.6 Рессорно-пружинные стали		3			3	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
4.7 Стали для подшипников качения		2			6	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
Итого по разделу		21	20	6	21			
5. Экзамен								
5.1 Экзамен	6					Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала. Подготовка к экзамену	Экзамен	ПК-3.1
Итого по разделу								
Итого за семестр		45	30	30	34,75		экзамен	
6. 5. Конструкционные стали (продолжение)								
6.1 Стали для химико-термической обработки (цементуемые, азотируемые)	7	6	4		2	Проработка лекционного материала. Подготовка к лабораторным работам		ПК-3.1

6.2 Высокопрочные стали		6	6		2	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
Итого по разделу		12	10		4			
7. 6. Инструментальные стали и сплавы								
7.1 Требования и принципы легирования инструментальных сталей	7	6			1	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
7.2 Стали и сплавы для режущего инструмента		8	6		2	Проработка лекционного материала. Подготовка к лабораторным работам	Текущий контроль Контрольная работа Защита лабораторных работ	ПК-3.1
7.3 Штамповые стали для холодного деформирования		8	6		2	Проработка лекционного материала. Подготовка к лабораторным работам.	Текущий контроль Контрольная работа Защита лабораторных работ	ПК-3.1
7.4 Штамповые стали для горячего деформирования		8	6		2	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
7.5 Стали для прокатных валков		6	4		1	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
7.6 Стали для мерительного инструмента		6	4		1,3	Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль Контрольная работа	ПК-3.1
Итого по разделу		42	26		9,3			
8. Экзамен								
8.1 Консультации	7					Проработка лекционного материала. Изучение дополнительного материала. Подготовка к экзамену	Экзамен	ПК-3.1
Итого по разделу								
Итого за семестр		54	36		13,3		экзамен	
Итого по дисциплине		99	66	30	48,05		экзамен	

5 Образовательные технологии

При проведении учебных занятий преподавание дисциплины «Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» реализуется с использованием результатов научных исследований, проводимых на кафедре, а также в центре коллективного пользования МГТУ, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей (ММК, ММК-МЕТИЗ, Белмаг и др.).

В процессе преподавания дисциплины «Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» применяются традиционная, интерактивная и информационно-коммуникационная образовательные технологии. При использовании традиционных образовательных технологий учебные занятия выполняются в форме информационных лекций и лабораторных работ. Эта технология сочетается с использованием информационно-коммуникационных образовательных технологий, когда лекции проводятся в форме лекций-визуализаций, при реализации которых изложение содержания сопровождается презентацией с демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в том числе иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов.

Лекционный материал закрепляется в ходе лабораторных работ и практических занятий, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме. При проведении лабораторных работ используется интерактивные образовательные технологии, что предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников и достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Занятия организуются в виде лабораторного эксперимента с последующим групповым анализом полученных результатов. Используется также разбор конкретных ситуаций с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение учебной и научной литературы, а также самостоятельную проработку тем в процессе подготовки к текущему и промежуточному контролям.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Дмитренко, В. П. Материаловедение в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. П. Дмитренко, Н. Б. Мануйлова. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 432 с. + Доп. материалы. — Режим доступа: <http://new.znanium.com/bookread2.php?book=949728>. – Загл. с экрана. (дата обращения 22.01.2023).

2. Никулин, С.А. Материаловедение: специальные стали и сплавы [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.А. Никулин, В.Ю. Турилина. – Электрон. дан. – М.: МИСИС, 2013. – 123 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/117183/#5>. – Загл. с экрана.(дата обращения 22.01.2023).

б) Дополнительная литература:

1. Конструкционные стали и сплавы / Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Ерофеев В.К. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 440 с.: 60x90 1/16 ISBN – Режим доступа: <https://znanium.com/read?id=187938>. – Загл. с экрана. (дата обращения 22.01.2023).

2. Специальные стали и сплавы [Текст]: учебное пособие / А.А. Ковалева, Е.С. Лопатина, В.И. Аникина – Красноярск: СФУ, 2016. – 232 с.: ISBN 978-5-7638-3470-3 – Режим доступа: <https://znanium.com/read?id=328572>. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-7638-3470-3. (дата обращения 22.01.2023).

в) Методические указания:

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ представлены в приложении 3.

2. Методические указания по выполнению практических работ представлены в приложении 4.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Университетская информационная система РОССИЯ	https://uisrussia.msu.ru
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО	https://dlib.eastview.com/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена:

- техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;

- специализированной мебелью.

2. Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий оснащены лабораторным оборудованием:

«Лаборатория пробоподготовки»:

- отрезными, шлифовальными и полировальными станками;

- оборудованием для травления шлифов;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория оптической микроскопии»:

- оптическими микроскопами MICRAY "СМІ-400", METAM 32M, МИМ-6, МИМ-7;

- компьютерными системами обработки изображений на базе ПО «Thixomet PRO» и «SIAMS-600»;

- коллекциями микро- и макрошлифов углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов, порошковых материалов;

- коллекцией макрошлифов с дефектами макроструктуры сталей;

- альбомами микроструктур углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория механических испытаний»:

- микротвердомером BuehlerMicromet 5103 Buehler;

- твердомерами для испытания твердости по методу Роквелла и по методу Бринелля;

- универсальным твердомером M4C075G3 EmcoTest, МЕТОЛАБ 701;

- напольной универсальной испытательной двухколонной машиной AG IC-300 kN Shimadzu Corp;

- напольной универсальной испытательной двухколонной машиной AG IC-50 kN Shimadzu Corp;

- видеоэкстензометром TRView XShimadzu Corp;

- копром маятниковым МК 300 ООО «ИМПУЛЬС»;

- мерительным инструментом;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория сканирующей электронной микроскопии»:

- электронным сканирующим микроскопом JEOL JSM – 6490LV;

- системой микроанализа с программным обеспечением INCA Energy 450 x-MAX 50;

- системой анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов с программным обеспечением Crystal 400;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория термической обработки»:

- термическими камерными печами;

- соляными ваннами;

- установкой плазменной закалки;

- специализированной мебелью.

3. Учебная аудитория для проведения практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;

- специализированной мебелью.

4. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;

- специализированной мебелью.

5. Помещение для самостоятельной работы оснащено:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;

- специализированной мебелью.

6. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:

- специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;

- станочным парком и инструментами для ремонта учебного оборудования.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

6.1 Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач и выполнение контрольных работ на практических занятиях.

6.1.1 Перечень вопросов для подготовки к контрольным аудиторным работам

Тема 1. Железоуглеродистые сплавы

1. Дайте характеристику феррита.
2. Дайте характеристику аустенита.
3. Что такое графит?
4. Что такое цементит?
5. Какое превращение характеризуется линией ES, GS, CD, ECF, PSK, PQ, AB, BC?
6. Назовите линию, по которой выделяется первичный цементит, вторичный цементит, третичный цементит, феррит из аустенита.
7. Назовите линию перитектического, эвтектического, эвтектического превращения.
8. Назовите линии полиморфных превращений.
9. Назовите критические точки стали.
10. Какой феррит называют пересыщенным и почему?
11. Дайте характеристику основных фаз в стали.
12. Объясните структуру белого доэвтектического, эвтектического, заэвтектического чугуна.
13. Объясните структуру технического железа, доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной стали.
14. Опишите образование аустенитно-графитовой колонии.
15. Опишите образование ледебурита. Какой ледебурит называют превращенным?
16. В каких сплавах в структуре наблюдается вторичный цементит?
17. Какие сплавы имеют структуру, состоящую из феррита и перлита? Какие разновидности таких структур вы знаете?
18. Какие сплавы имеют структуру, состоящую из феррита и цементита? Какие разновидности таких структур вы знаете?
19. Какие сплавы имеют структуру, состоящую из феррита и графита? Разновидности таких структур?
20. Какая форма графита в меньшей степени ослабляет металлическую основу чугуна?
21. Какие сплавы имеют структуру, состоящую из перлита и графита? Разновидности таких структур?
22. Какой сплав называют серым чугуном на ферритно-перлитной основе? Как в нем происходит эвтектоидное превращение?
23. Какие сплавы имеют структуру, состоящую из перлита? Разновидности перлита.
24. Какие структуры называют видманштеттовыми?
25. Опишите процесс графитизации в чугунах.
26. Укажите структурный признак стали, белого чугуна, серого чугуна.
27. Почему белый чугун не используют как конструкционный материал?
28. Расшифруйте и дайте характеристику сплаву марки Ст 0кп, Ст 3сп, Ст 5пс, 10кп, 35, 55, 80, 25Л, А12, А20, У7А, У12, СЧ 10, СЧ 30, ВЧ 40, ВЧ 60, КЧ 35-12, КЧ 60-3

Тема 2. Превращения при нагреве сталей

1. Превращения при нагреве сталей с равновесной исходной структурой (отожженная, нормализованная сталь).
2. Превращения при нагреве сталей с исходной неравновесной структурой

(пересыщенный феррит, закаленная сталь, холоднодеформированная сталь).

3. Цели, задачи, формирующаяся структура и свойства, режимы основных видов термической обработки:

- отжиг 1-го рода (рекристаллизационный, гомогенизирующий, для снятия напряжений);
- отжиг 2-го рода;
- закалка (объемная и поверхностная);
- отпуск.

Тема 3. Превращения при охлаждении сталей

1. В каких температурных областях образуется структура мартенсит? Каков механизм его образования?

2. Объясните условия образования структуры сорбит при изотермическом превращении.

3. Механизм перлитного превращения

4. Что такое бейнит?

5. Особенности бейнитного превращения переохлажденного аустенита

6. Дать характеристику продуктам диффузионного распада переохлажденного аустенита

7. Расположить структуры, получаемые при распаде переохлажденного аустенита, в порядке увеличения твердости

8. Характеристика мартенсита

9. Механизм мартенситного превращения

10. Общие черты и отличия в структурах, получаемых при диффузионном распаде аустенита

11. Как изменяются механические свойства стали с увеличением степени переохлаждения аустенита

12. Условия получения структуры мартенсит при непрерывном охлаждении.

13. Механизм формирования структур при диффузионном распаде переохлажденного аустенита

14. Что такое мартенсит?

15. Чем различаются мартенсит закалки и мартенсита отпуска?

16. Как влияет степень дисперсности структуры, полученной при диффузионном распаде переохлажденного аустенита, на твердость стали

17. Влияние степени переохлаждения аустенита на характер превращения переохлажденного аустенита

18. Чем различаются троостит отпуска и сорбит отпуска?

19. Особенности структуры, получаемой при промежуточном превращении переохлажденного аустенита

20. Объясните условия образования структуры троостит при непрерывном охлаждении.

21. Какое превращение переохлажденного аустенита называют бездиффузионным?

22. Чем различаются перлит, сорбит, троостит?

23. Какое превращение переохлажденного аустенита называют диффузионным?

24. Характеристика структуры бейнита

25. Объясните условия образования структуры троостит при изотермическом превращении.

26. В каких температурных областях образуется бейнит? Каков механизм его образования?

27. Объясните условия образования структуры перлит при изотермическом превращении.

28. Что общего имеют и чем различаются бейнит верхний и бейнит нижний?

29. В каких температурных областях образуются структуры: перлит, сорбит, троостит? Каков механизм их образования?
30. Объясните понятие критическая скорость закалки.
31. Объясните условия образования структуры троостит при непрерывном охлаждении.
32. Какой аустенит называют остаточным и почему?
33. Что общего в структурах троостит отпуска и сорбит отпуска?
34. Чем характеризуется устойчивость переохлажденного аустенита?

Тема 4. Влияние легирующих элементов фазовые превращения, структуру и свойства стали.

1. Как распределяются легирующие элементы в сталях?
2. Каковы особенности твердых растворов, образуемых при легировании железоуглеродистых сплавов?
3. Каковы особенности карбидных фаз в легированных сталях?
4. Как легирующие элементы влияют на:
 - на полиморфизм железа,
 - на термодинамическую активность углерода,
 - на устойчивость переохлажденного аустенита,
 - на склонность зерна аустенита к росту при нагреве,
 - на мартенситное превращение, критическую скорость закалки,
 - на прокаливаемость и закаливаемость.
 - на превращения при нагреве закаленной стали,
5. Как в маркировке легированных сталей указывается:
 - содержание углерода,
 - вид легирующего элемента и его содержание,
 - качество.
6. В чем особенности микролегирования стали.

6.1.2 Вопросы для подготовки к практическим занятиям по темам:

Тема 1: Обоснование выбора марки стали и технологии ее термической обработки при изготовлении конструкций и деталей машин

1. Принципы легирования конструкционных сталей.
2. Основные группы конструкционных сталей.
3. Роль углерода и принципы легирования строительных сталей 09Г2СД, 16Г2АФ, 09Г2ФБ. Есть ли различия в свойствах? Принципы упрочнения сталей этой группы.
4. Сущность термоупрочнения строительных сталей. Привести примеры марок сталей и их свойств после т.о.
5. Что означает запись АІ 380/240, АІV 1050/800? Чем будут отличаться друг от друга материалы, соответствующие этим обозначениям?
6. Чем отличаются стали 08пс, 08кп, 08, 08Ю, 08Ф (назначение, состав, свойства, структура, т.о.)?
7. Какая из перечисленных сталей лучшая по свойствам: 40, 40Х, 40ХР, 40ХФА, 40Г2, 40ХМФА, 40ХГТР, 40ХН, 40Х2Н2, 40ХН2МА, 30ХГСА? Объяснить особенности легирования и свойств каждой из них.
8. Какие стали можно предложить для закалки с нагревом ТВЧ и почему? Как поступают, если нежелательна большая прокаливаемость?
9. Что обозначают буквы ПП или РП в марках машиностроительных сталей? Что это за стали?
10. Какие стали называют улучшаемыми и почему? Закономерности их легирования и т.о. Приведите примеры марок стали.
11. Какая из перечисленных марок сталей может быть использована для

непосредственной закалки с цементационного нагрева и почему: 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Г, 20ХГНТЦ, 12ХН3А, 20ХНМ?

12. Зачем после науглероживания шестерен из стали 20Х2Н4ВА делают высокий отпуск?

13. Роль углерода и легирующих элементов в сталях для цементации и нитроцементации.

14. Роль углерода и легирующих элементов в сталях для азотирования. Особенности их т.о.

15. Какова роль углерода и легирующих элементов в шарикоподшипниковых сталях? Особенности требований к этим сталям и их т.о. Привести примеры марок сталей.

16. Какова роль углерода и легирующих элементов в рессорно-пружинных сталях? Особенности требований к этим сталям и их т.о. Привести примеры марок сталей.

17. Объяснить принцип легирования высокопрочных сталей Н18К9М5Т, 40Х5М2СФБ, 40Х2АФЕ, указать особенности их т.о.

18. Где используются стали марок М71, М75, М76? Какой состав этих сталей и способы упрочнения?

Тема 2. Обоснование выбора марки стали и технологии ее термической обработки при изготовлении инструментов

1. Можно ли использовать сталь У10 для изготовления инструмента для обработки мягких материалов и при небольших скоростях резания? Пояснить.

2. Можно ли использовать сталь У10 для изготовления инструмента для обработки твердых, вязких материалов, при больших скоростях резания? Пояснить.

3. Можно ли использовать стали Х, 9ХС для изготовления инструмента для обработки мягких материалов и при небольших скоростях резания? Пояснить.

4. В чем преимущества стали 9ХС перед сталью У9?

5. Резец при эксплуатации разогревается до температуры 650 °С. Какую сталь предпочесть: Р9, Р6М5, Р9К10 и почему?

6. Инструмент должен подвергаться чистовой шлифовке. Какую сталь предпочесть: Р9, Р9Ф5 или Р9К5 и почему?

7. Для высокопроизводительных токарных станков изготавливается режущий инструмент. Какую сталь предпочесть: Р6М5, Р18, Р6М5К5 и почему?

8. Какие материалы можно выбрать для инструмента сверхскоростной чистовой обработки резанием жаропрочных сталей: Р6М5, Р18, Р10К5Ф5, алмаз, КНБ, Т30К4, ВК3?

9. Зачем делается обработка холодом при термообработке измерительных калибров из стали ХВГ?

10. Какую сталь предпочли бы для изготовления штампов для холодной вытяжки (сечением 100 мм) и почему: Х, У12, Х12?

11. Штамповая сталь для холодной высадки Х12 целесообразно обрабатывать на первичную твердость, а стали Х12М и Х12Ф1 - на вторичную твердость. Какая разница в технологии т.о. и в свойствах? Объяснить.

12. Штампы для молотовых прессов из стали 5ХНМ, закаленные по одинаковому режиму (от 980-1020 °С в масле), отпускают при разных температурах: 480-520 °С, 520-540 °С, 540-580 °С. Объяснить, зачем это делается? Какие будут различия в свойствах?

13. Штамповая сталь для холодной высадки У12, закаленная по одному режиму (от 770-820 °С в воде), подвергается отпуску при разных температурах: 150-160 °С, 250-270 °С, 275-325 °С. Какие будут отличия в свойствах? Привести примеры инструментов, обрабатываемых по таким режимам.

14. Какие из штамповых сталей имеют повышенную износостойкость, а какие - повышенную вязкость: 9ХС, 7ХГ2ВМ, Х12М, 4ХС, 6ХВ2С, Х6ВФ? Объяснить.

15. Какие из штамповых сталей имеют наибольшую теплостойкость: 4Х5МФС, 3Х3М3Ф, 3Х2В8Ф, 3Х2МНФ, 5ХНМ, 2Х2В8М2К8? Объяснить. Когда они используются?

16. Сверло диаметром 9мм в процессе работы нагревается до температуры 490-520 °С. Выбрать марку стали и назначить режим т.о.

17. Высадочная матрица для холодной штамповки головки болта должна иметь после т.о. твердость HRC 56-62. Выбрать марку стали и назначить режим т.о.

18. Фреза диаметром 35мм предназначена для обработки мягких материалов с небольшой скоростью резания. Выбрать марку стали и назначить режим т.о.

6.1.3 Варианты задач для практических занятий по темам

Тема 1. Превращения в сталях при нагреве

Вариант 1

1. Горячекатаные прутки из стали 35, предназначенные для холодного выдавливания, подвергнуты нагреву при 700 °С с выдержкой 10 часов и 1 час. Какие будут различия в структуре и свойствах после термообработки?

2. Почему при производстве холоднокатаного листа для глубокой вытяжки степень обжатия в последней клетке стана горячей прокатки должна быть не ниже 15-20 % ?

Вариант 2

1. В каком случае можно выбрать более высокую температуру нормализации горячекатаной листовой стали – спокойной или кипящей?

2. Лист из стали 10кп подвергнут холодной пластической деформации со степенью обжатия 8 %? Как восстановить пластичность стали?

Вариант 3

1. Как устранить наклеп и восстановить пластичность стали 08кп после холодной пластической деформации со степенью 70 %?

2. Сталь У8 после одного вида термообработки получила структуру перлит пластинчатый, а после другой – перлит зернистый. Какая термообработка была применена в каждом случае и какие превращения обеспечили получение указанных структур?

Вариант 4

1. Сталь 40 подверглась отжигу при температурах 800 °С и 1000 °С с одинаковыми выдержками и последующим охлаждением с печью. Будут ли различия в структуре и свойствах?

2. Почему при холодной прокатке листа для глубокой вытяжки (впоследствии подвергаемого рекристаллизационному отжигу) оптимальной величиной обжатия считается 50-60% ?

Вариант 5

1. Горячекатаный прокат из стали 50 подвергнут индукционному нагреву до 880 °С с последующим охлаждением на воздухе и печному нагреву до 700 °С с выдержкой 20 час. с таким же охлаждением. Какова разница в структуре и свойствах?

2. В каком случае холоднокатаная сталь 08 после рекристаллизационного отжига будет иметь лучшую штампуемость - после деформации со степенью 30 % или 8 %?

Вариант 6

1. При рекристаллизационном отжиге холоднокатаной ленты из стали 08кп охлаждение в интервале температур 680 – 370 °С ведут с малой скоростью. Почему это необходимо?

2. Как исправить видманштеттовую структуру, полученную в крупной отливке из стали 35Л?

Вариант 7

1. Как изменятся свойства стали с 0,06 %С, если ее охладить водой от температуры 720 °С

и выдержать при комнатной температуре 1 сутки, при 60 °С 10 час. и 100 час., при 100 °С 1 час. и 10 час. Сделайте выводы о влиянии температуры и времени нагрева на свойства.

2. Как исправить структуру в горячекатаной стали 45?

Вариант 8

1. Сталь 40 при печном нагреве нагревают под закалку до температуры 840-860 °С, при индукционном – до 880-920 °С, а при скоростном – до 930-980 °С. Объясните, почему?

2. Режущий инструмент из стали У10 был перегрет при закалке. Чем вреден этот дефект, как его можно исправить?

Вариант 9

1. Горячекатаные прутки из стали 35 для холодного выдавливания подвергнуты нагреву при 700 °С с выдержкой 10 часов и 1 час. Какие будут различия в структуре и свойствах после термообработки?

2. Почему при производстве холоднокатаного листа для глубокой вытяжки степень обжатия в последней клетке стана горячей прокатки должна быть не ниже 15-20 % ?

Вариант 10

1. В каком случае можно выбрать более высокую температуру нормализации горячекатаной листовой стали – спокойной или кипящей?

2. Лист из стали 10кп подвергнут холодной пластической деформации со степенью обжатия 8 %? Как восстановить пластичность стали?

Вариант 11

1. Как устранить наклеп и восстановить пластичность стали 08кп после холодной пластической деформации со степенью 70 %?

2. Сталь У8 после одного вида термообработки получила структуру перлит пластинчатый, а после другой – перлит зернистый. Какая термообработка была применена в каждом случае, какие превращения обеспечили получение указанных структур?

Вариант 12

1. Сталь 40 подверглась отжигу при температурах 800 °С и 1000 °С с одинаковыми выдержками и последующим охлаждением с печью. Будут ли различия в структуре и свойствах?

2. Почему при холодной прокатке листа для глубокой вытяжки оптимальной величиной обжатия считается 50-60 % ?

Вариант 13

1. Сталь У13А была подвергнута нагреву под закалку до температуры 740 и 1050 °С. Какой режим нагрева выбран правильно и почему?

2. В каком случае холоднокатаная сталь 10 после рекристаллизационного отжига будет иметь лучшую штампуемость - посл деформации со степенью 50 % или 10 %?

Вариант 14

1. При рекристаллизационном отжиге ленты из стали 08кп в колпаковых печах охлаждение в интервале температур 680-400 (иногда 370) °С ведут с малой скоростью. Почему это необходимо?

2. Как исправить видманштеттовую структуру, полученную в крупной отливке из стали 35?

Вариант 15

1. Как изменятся свойства стали с 0,06 %С, если ее охладить водой от температуры 720 °С и выдержать при комнатной температуре 1 сутки, при 60 °С 10 час. и 100 час., при 100 °С 1 час и

10 час? Сделайте выводы о влиянии температуры и времени нагрева.

2. Как исправить структуру в перегретой при закалке стали 40?

Вариант 16

1. Сталь 40 нагрели до температуры 860 °С в печи сопротивления, индукционным методом и струей плазмы с последующим охлаждением водой. Какая получится структура в каждом случае?

2. Какую термообработку можно предложить для улучшения обрабатываемости резанием заготовки для режущего инструмента из стали У10?

Тема 2: Превращения при охлаждении сталей

Примеры вариантов заданий:

Задача № 1

1) Какую структуру будет иметь цилиндрическая деталь из стали марки 35, если центр охлаждать со скоростью 1 °С/с., 200 °С/с.?

2) Какую структуру будет иметь сталь 30ХГС при изотермической выдержке при 700 °С в течение 1 часа, при 500 °С в течение 1,5 часов, при 400 °С в течение 30 мин. с последующим охлаждением в воде?

3) Рассчитать, используя С-диаграмму, $V_{кр}$ для сталей 65 и 20Х13. Как в этих сталях получить мартенсит?

Примечание. Марки стали, температура и время выдержки, скорость охлаждения различные в разных вариантах

Задача № 2

Объясните, какие фазовые превращения происходят при охлаждении стали по указанному режиму. Какая структура образуется? (По конкретной С-диаграмме с нанесенными на нее кривыми непрерывного охлаждения или изотермической выдержки)

Примечание. Диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита и режимы охлаждения в разных вариантах различны

6.1.4 Вопросы к контрольной работе по теме «Обоснование выбора марки стали и технологии ее термической обработки при изготовлении деталей и инструментов»

1. Проанализировать условия работы, обосновать требования к микро- и макроструктуре в состоянии поставки, способы выплавки и т.п.) для указанных изделий.

2. Обосновать выбор марки стали (содержание углерода, роль легирующих элементов и их количество).

3. Обосновать выбор и назначить режимы термической обработки изделия.

4. Указать структуру и свойства изделия после окончательной термообработки.

Варианты индивидуальных заданий

1) Сортовой прокат из стали Ст3.

2) Зубчатые колеса из стали 38ХГН повышенной прочности без динамических нагрузок (станки, металлургическое оборудование).

3) Шестерни из стали 40Х с малым модулем ($m < 4$ мм), умеренно нагруженные, но работающие в условиях повышенного износа (станко- и приборостроение).

4) Шарики для шарикоподшипников диаметром 3мм из стали ШХ15, изготавливаемые методом холодной вытяжки.

5) Ось из стали 30ХГСА, изготавливаемая методом объемной холодной штамповки.

6) Тяжелонагруженные шестерни из стали 18ХГТ с модулем ($m = 10$ мм), упрочненные на глубину 1,5 мм.

7) Болт М20х80 из стали 40ХН, изготавливаемый методом холодного выдавливания.

8) Вал-шестерня из стали 20Х2Н4МА (с большим модулем) с поверхностным упрочнением на глубину 2 мм.

9) Пружинная шайба из стали 65Г.

- 10) Вал из стали 40Х, упрочненный с поверхности на глубину 10мм.
- 11) Холоднокатаный лист из стали 08Ю для глубокой вытяжки.
- 12) Метчик из стали У12 на твердость HRC>60.
- 13) Сверло из стали 9ХС.
- 14) Сверло из стали Р9М5 твердость не менее HRC 60-62.
- 15) Долото из стали У8 на твердость не менее HRC 60.
- 16) Протяжка из стали ХВСГ сечением 60 мм на твердость не менее HRC 60.
- 17) Высадочный пуансон из стали У11А сечением 50 мм на твердость рабочей части HRC 50.
- 18) Измерительные калибры из стали ХВГ повышенной точности.
- 19) Высадочный штамп из стали ХВГ сечением 100 мм.
- 20) Резец из стали Р18 на твердость не менее HRC 60-62.
- 21) Ковочные штампы для заготовок сечением 100 мм из стали 5ХНВ на твердость HRC 35-40.
- 22) Штампы горячего выдавливания из стали 4Х5МФС на твердость HRC 47-49.
- 23) Ножи для резки металла из стали 6ХВ2С на твердость HRC 53-58.

6.2 Вопросы тестирования для самоконтроля

Какая из марок строительной стали будут иметь более высокие прочностные свойства?

- 09Г2С
- 16Г2АФБ
- 16Г2С
- 10ХСНД

Какая из марок холоднокатаной тонколистовой стали предпочтительнее для глубокой вытяжки?

- 08кп
- 08
- 10
- 10пс

Какая из марок холоднокатаной тонколистовой стали для холодной штамповки является нестареющей?

- 08кп
- 08пс
- 08
- 08Ю

Какая из перечисленных марок сталей имеет повышенную обрабатываемость резанием?

- А12
- А12Г
- А20
- АС20

Какую из перечисленных марок стали относят к улучшаемым машиностроительным сталям?

- 20Х13
- 20Х1М2Ф
- 12Х2МФСР
- 30ХН2МА

Какая из перечисленных улучшаемых марок сталей имеет лучший комплекс свойств?

- 40ХГТР
- 40Х2Н2
- 40ХН2МФА
- 40ХМВА

Какая из перечисленных марок имеет лучшую прокаливаемость?

- 40ХГР
- 40ХР
- 40ХГ
- 40ХГС

Какие марки стали целесообразно использовать для изготовления деталей, закаливаемых с индукционного нагрева?

- высоколегированные низкоуглеродистые
- низколегированные среднеуглеродистые
- высокоуглеродистые
- стали с карбонитридным упрочнением

Какая марка стали из перечисленных может использоваться для цементации и нитроцементации?

- 20ХГНМ
- 15Х5ВФ
- 38Х2МЮА
- 25Х2М1Ф

Почему не требуется дополнительной термообработки после азотирования изделий из стали марки 38ХМЮА?

- дополнительная термообработка ухудшает механические свойства
- дополнительная термообработка ухудшает качество поверхности
- дополнительную термообработку на практике осуществить невозможно
- после азотирования получается поверхность с требуемыми высокими свойствами

Почему стали типа ШХ15 должны быть особенно чистыми по неметаллическим включениям?

- для улучшения обрабатываемости
- для повышения прокаливаемости
- для увеличения сопротивления контактной усталости
- для улучшения качества поверхности

Укажите основные легирующие элементы в рессорно-пружинной стали.

- Ni, V, W
- Co, Mo, Nb
- Si, Mn
- Ni, Ti, Cr

В какой из марок пружинной стали выше сопротивление релаксации напряжений?

- 70С2ХА
- 70С3ХМВА
- У10А
- 65Г

Укажите наиболее распространенную область применения аустенитной износостойкой стали?

- изготовление режущего инструмента
- изготовление штампового инструмента
- изготовление отливок, работающих в агрессивных средах

изготовление отливок, работающих в условиях ударно-абразивного износа Каков основной критерий хладостойкости материала?

- $T_{хл}$
- разность между температурой эксплуатации и $T_{хл}$
- δ
- σ_B

Какие стали наиболее часто используются в качестве криогенных?

- аустенитные Cr – Ni, Cr – Mn, Cr – Ni – Mn
- мартенситные

- двухфазные феррито-мартенситные
- двухфазные аустенито-ферритные

Какую из марок стали рекомендуется использовать для изготовления режущего инструмента?

- ХВСГ
- 6ХВ2С
- 60ХС2
- Х6ВФ

Какую твердость должны иметь после окончательной термообработки высокоуглеродистые инструментальные стали?

- HRC 45-50
- HRC 50-50
- HRC 55-60
- HRC 60-69

От чего зависит теплостойкость инструментальной стали?

- от степени раскисления
- от скорости закалки
- от степени легированности твердого раствора
- от содержания углерода

Какую структуру имеет быстрорежущая сталь после отпуска?

- отпущенный мартенсит и карбиды
- сорбит отпуска и карбиды
- зернистый перлит
- троостит отпуска

Чем объясняется вторичное твердение при отпуске быстрорежущей стали?

- образованием дисперсной феррито-карбидной смеси
- увеличением пересыщенности твердого раствора
- возрастанием плотности дислокаций
- дисперсионным трением с выделением специальных карбидов

Какую сталь предпочесть для изготовления резца, который при эксплуатации разогревается до температуры 630 °С

- Р18
- Р9
- Р6М5
- Р9К5

Зачем делается обработка холодом при термообработке измерительных калибров из стали ХВГ?

- снизить закалочные напряжения
- повысить предел упругости
- устранить остаточный аустенит и стабилизировать размеры
- улучшить качество поверхности

Какая сталь предпочтительнее при изготовлении штампов для холодного выдавливания сечением 100 мм

- Х
- У12
- Х12
- 9ХС

Какие из перечисленных штамповых сталей для холодного деформирования имеют повышенную износостойкость?

- 6Х4М2ФС
- Х12М
- 9ХС

- 6Х6В3МС

Какие из перечисленных штамповых сталей для холодного деформирования имеют повышенную вязкость?

- 7ХГНМ
- 8Х6НФТ
- Х12Ф4М
- Х6ВФ

Каковы основные отличия штамповой стали для горячего деформирования от других групп инструментальной стали?

- она должна иметь высокую разгаростойкость, теплостойкость, вязкость
- она должна иметь высокую теплостойкость и твердость
- она должна иметь высокую износостойкость
- она должна иметь высокую твердость и износостойкость

При какой температуре отпускаются крупные штампы для молотовых прессов из стали 5ХНМ?

- 450-470 °С
- 480-520 °С
- 520-540 °С
- 540-580 °С

6.2 Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала по темам дисциплины

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-3 Способен выбирать материалы при разработке технологических процессов в области материаловедения и технологии материалов в машиностроении		
ПК-3.1	Выбирает металлические и неметаллические материалы для деталей машин, приборов и инструмента	<p>Теоретические вопросы (6 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Роль углерода в формировании структуры и свойств углеродистой стали. 2. Основные преимущества и недостатки углеродистой стали. 3. Применение углеродистой стали. 4. Распределение легирующих элементов в стали. 5. Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа. 6. Твердые растворы в легированных сталях. 7. Карбиды и нитриды в легированных сталях. 8. Неметаллические включения в легированных сталях. 9. Влияние легирующих элементов на термодинамическую активность углерода в стали. 10. Структурная наследственность при нагреве стали. 11. Влияние легирующих элементов на склонность зерна аустенита к росту при нагреве. 12. Растворение карбидов и нитридов в аустените при нагреве. 13. Влияние легирующих элементов на устойчивость переохлажденного аустенита. 14. Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение, критическую скорость закалки и закаливаемость. 15. Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске закаленной стали. 16. Влияние легирующих элементов на технологические свойства. 17. Микролегирование стали. 18. Дефекты легированных сталей. 19. Условия эксплуатации, требования и принципы легирования конструкционных сталей. 20. Машиностроительные стали повышенной деформируемости. Штампующие стали для автомобилестроения. 21. Стали повышенной обрабатываемости резанием. 22. Улучшаемые машиностроительные стали. 23. Стали для закалки с индукционного нагрева. 24. Рессорно-пружинные стали. 25. Стали для подшипников качения.

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Теоретические вопросы (7 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Стали, упрочняемые химико-термической обработкой (для цементации и нитро-цементации и азотирования). 2. Высокопрочные стали 3. Условия эксплуатации, требования и принципы легирования инструментальных сталей. 4. Углеродистые стали для режущего инструмента. 5. Легированные стали для режущего инструмента. 6. Быстрорежущие стали. 7. Твердые сплавы для режущего инструмента. 8. Стали для инструмента для холодного деформирования 9. Стали для инструмента для горячего деформирования 10. Стали и чугуны для валков горячей прокатки. 11. Стали для валков холодной прокатки. 12. Стали для мерительного инструмента. <p>Решить задачу из профессиональной области (6 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Горячекатаные прутки из стали 35, предназначенные для холодного выдавливания, подвергнуты нагреву при 700 °С с выдержкой 10 часов и 1час. Какие будут различия в структуре и свойствах после термообработки? 2. Сталь 40 подверглась отжигу при температурах 800 °С и 1000 °С с одинаковыми выдержками и последующим охлаждением с печью. Будут ли различия в структуре и свойствах? 3. Сталь 40 при печном нагреве нагревают под закалку до температуры 840-860 °С, при индукционном – до 880-920 °С, а при скоростном – до 930-980 °С. Объясните, почему? 4. Сталь 40 подверглась отжигу при температурах 800 °С и 1000 °С с одинаковыми выдержками и последующим охлаждением с печью. Будут ли различия в структуре и свойствах? 5. Сталь 40 нагрели до температуры 860 °С в печи сопротивления, индукционным методом и струей плазмы с последующим охлаждением водой. Какая получится структура в каждом случае? 6. Как исправить видманштеттовую структуру, полученную в крупной отливке из стали 35Л? 7. Как исправить структуру в горячекатаной стали 45? 8. Как исправить структуру в перегретой при закалке стали 40? 9. Испытание твердости показало, что после закалки

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>сталь 45 имеет пониженную твердость. Каковы причины этого дефекта? Можно ли его исправить?</p> <p>10. В структуре стали 40 после закалки металлографический анализ показал наличие феррита? Какова причина этого дефекта? Как его исправить?</p> <p>11. Как выбрать закалочную среду при проведении термической обработки изделий из углеродистой стали? Как учесть прокаливаемость стали?</p> <p>12. Как назначить температуру отпуска углеродистой доэвтектоидной стали, закаленной по оптимальному режиму?</p> <p>13. Какая из сталей 35 или 45 будет иметь более высокую твердость после закалки по оптимальному режиму? Какую структуру будут иметь эти стали?</p> <p>14. Какая из сталей 35 или 45 будет иметь более высокую твердость после закалки по оптимальному режиму? Какую структуру будут иметь эти стали?</p> <p>15. Как восстановить пластичность стали 08 после холодной пластической деформации со степенью 7 %?</p> <p>16. Как восстановить пластичность стали 10 после холодной пластической деформации со степенью 70 %?</p> <p>17. Какую из марок стали 08пс, 08кп, 08, 08Ю, 08Ф предпочесть для холодной штамповки с глубокой вытяжкой и почему?</p> <p>18. Какая из перечисленных марок сталей будет иметь повышенную обрабатываемость резанием: А12, А12Г, А20 или АС20?</p> <p>19. Какую из перечисленных марок стали относят к улучшаемым машиностроительным сталям: 20Х13, 20Х5М2Ф, 12Х2МФСР или 30ХН2МА?</p> <p>20. Какая из перечисленных марок стали будет иметь лучшую прокаливаемость: 40ХГР, 40ХР, 40ХГ или 40ХГС?</p> <p>21. Какая из перечисленных сталей имеет лучший комплекс механических свойств: 40, 40Х, 40ХР, 40ХФА, 40Г2, 40ХМФА, 40ХГТР, 40ХН, 40Х2Н2, 40ХН2МА, 30ХГСА? Какой термической обработкой их можно обеспечить?</p> <p>22. Как выбрать сталь для закалки деталей с нагревом ТВЧ? Привести примеры марок стали.</p> <p>23. Как поступить, если нежелательна большая прокаливаемость стали, предназначенной для закалки с нагревом ТВЧ?</p> <p>24. Как назначить режим термической обработки</p>

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>рессор и пружин? Есть ли разница в технологии термической обработки пружин холодной навивки и горячей навивки?</p> <p>25. Как назначить режим отпуска закаленной шарикоподшипниковой стали?</p> <p>Решить задачу из профессиональной области (7 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какая марка стали из перечисленных может использоваться для цементации и нитроцементации: 20ХГНМ, 15Х5ВФ, 38Х2МЮА или 25Х2М1Ф? 2. Какая из перечисленных марок сталей может быть использована для непосредственной закалки с цементационного нагрева: 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Г, 20ХГНТЦ, 12ХН3А, 20ХНМ? 3. Как назначить температуру отпуска углеродистой заэвтектоидной стали, закаленной по оптимальному режиму? 4. Какую твердость должны иметь после окончательной термообработки высокоуглеродистые инструментальные стали: HRC 45-50, HRC 50-50, HRC 55-60 или HRC 60-69? 5. Сталь У8 после одного вида термообработки получила структуру перлит пластинчатый, а после другой – перлит зернистый. Какая термообработка была применена в каждом случае, какие превращения обеспечили получение указанных структур? 6. Какую термообработку можно предложить для улучшения обрабатываемости резанием заготовки для режущего инструмента из стали У10? 7. В структуре стали У12 после закалки металлографический анализ показал наличие троостита? Как это повлияет на свойства стали? Можно ли было этого избежать? 8. Можно ли использовать сталь У10 (Х, 9ХС) для изготовления инструмента для обработки мягких материалов и при небольших скоростях резания (для обработки твердых, вязких материалов, при больших скоростях резания). 9. Какая из марок быстрорежущей стали подходит для изготовления режущего инструмента для высокопроизводительных токарных станков? 10. Резец при эксплуатации разогревается до температуры 650 °С. Какую сталь предпочесть: Р9, Р6М5, Р9К10 и почему? 11. Инструмент должен подвергаться чистовой шлифовке. Какую сталь предпочесть: Р9, Р9Ф5 или Р9К5 и почему?

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>12. Какие материалы можно выбрать для инструмента сверхскоростной чистовой обработки резанием жаропрочных сталей: P6M5, P18, P10K5Ф5, алмаз, КНБ, Т30К4, ВКЗ?</p> <p>13. Какую сталь предпочесть для изготовления штампов для холодной вытяжки (сечением 100 мм) и почему: X, У12, Х12?</p> <p>14. Штамповая сталь для холодной высадки Х12 целесообразно обрабатывать на первичную твердость, а стали Х12М и Х12Ф1 – на вторичную твердость. В каком случае используется каждый из вариантов термической обработки.</p> <p>15. Штампы для молотовых прессов из стали 5ХНМ, закаленные по одинаковому режиму (от 980-1020 °С в масле), отпускают при разных температурах: 480-520 °С, 520-540 °С, 540-580 °С. Объяснить, зачем это делается? Какие будут различия в свойствах?</p> <p>16. Штамповая сталь для холодной высадки У12, закаленная по одному режиму (от 770-820 °С в воде), подвергается отпуску при разных температурах: 150-160 °С, 250-270 °С, 275-325 °С. Какие будут отличия в свойствах? Привести примеры инструментов, обрабатываемых по таким режимам.</p> <p>17. Какие из штамповых сталей имеют повышенную износостойкость, а какие – повышенную вязкость: 9ХС, 7ХГ2ВМ, Х12М, 4ХС, 6ХВ2С, Х6ВФ? Объяснить.</p> <p>18. Какие из штамповых сталей будут иметь наибольшую теплостойкость: 4Х5МФС, 3Х3М3Ф, 3Х2В8Ф, 3Х2МНФ, 5ХНМ, 2Х2В8М2К8? Объяснить.</p> <p>19. Выбрать марку стали и назначить режим термической обработки сверла диаметром 9 мм, которое в процессе работы нагревается до температуры 490-520 °С.</p> <p>20. Выбрать марку стали и назначить режим термической обработки высадочная матрица для холодной штамповки головки болта, которая должна иметь после термообработки твердость HRC 56-62.</p> <p>21. Выбрать марку стали и назначить режим термической обработки фрезы диаметром 35 мм, предназначенной для обработки мягких материалов с небольшой скоростью резания.</p> <p>22. Какие материалы можно выбрать для инструмента сверхскоростной чистовой обработки резанием жаропрочных сталей: P6M5, P18, P10K5Ф5, алмаз,</p>

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		КНБ, Т30К4, ВК3? 23. Инструмент должен подвергаться полировке. Какую сталь предпочесть: Р9, Р9Ф5 или Р9К5 и почему?

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине в 6-ом и 7-ом семестре включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, и проводится в форме экзамена

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Показатели и критерии оценивания экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ
СТАЛЕЙ**

*Методические указания к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине
«Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» для студентов по
направлению подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов*

**МАГНИТОГОРСК
2023**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства инструментальных режущих сталей 2
2. Лабораторная работа №2. Влияние температуры закалки и последующего отпуска на свойства штамповой стали типа X12 12
3. Лабораторная работа №3. Влияние изотермической закалки на свойства холодноштамповой стали повышенной вязкости 19
4. Лабораторная работа №4. Влияние температуры закалки и отпуска на свойства хромистых нержавеющей сталей 25
5. Лабораторная работа №5. Влияние режима термической обработки на свойства мартенситно-стареющей стали 30

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выполнение предлагаемых лабораторных работ способствует более глубокому изучению студентами теоретического курса и приобретению практических навыков проведения термической обработки специальных сталей и сплавов *.

Лабораторные работы носят исследовательский характер. Каждый студент выполняет часть общей темы, получая от преподавателя индивидуальное задание, заносит полученные результаты в сводную таблицу, принимает участие в обсуждении результатов работы и на основании общих данных составляет отчет.

Для обеспечения подготовки студентов к защите выполненных работ в конце каждой работы даны контрольные вопросы для самопроверки, а также приведен список литературы.

Лабораторная работа № 1

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

Характерными условиями при эксплуатации режущих инструментов (резцы, сверла, метчики, пилы, фрезы и др.) являются высокие контактные давления на рабочую кромку, вызывающие изнашивание. Оно в большинстве случаев сопровождается разогревом контактной поверхности до нескольких сотен градусов по Цельсию. Поэтому основные свойства, которыми должен обладать материал для инструментов – это износостойкость и теплостойкость.

Чем больше скорость резания, сечение снимаемой стружки, а также прочность и вязкость обрабатываемого материала, тем выше температура нагрева режущей кромки. При этих условиях работоспособность инструмента (производительность резания) определяется высокой твердостью и способностью материала сохранять ее при длительном нагреве, т.е. теплостойкостью. Для изготовления режущих инструментов применяют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью (62 – 66 HRC), прочностью и износостойкостью.

Цель работы:

1. Изучить влияние режимов термической обработки на структуру и твердость углеродистой и быстрорежущей сталей, предназначенных для изготовления режущего инструмента.
2. Определить оптимальные режимы термической обработки для инструментальной углеродистой и быстрорежущей сталей.
3. Сравнить инструментальные углеродистую и быстрорежущую стали, термообработанные по оптимальным режимам, по структуре, твердости и теплостойкости (красностойкости).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435-74) относят к сталям, не обладающими теплостойкостью, т.к. их твердость сильно снижается при нагреве выше 180 – 200 °С. Вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита эти стали имеют небольшую прокаливаемость: 10 – 20 мм после закалки в воде и 4 – 6 мм после закалки в масле, поэтому их применяют для инструментов небольших размеров. В инструменте с поперечным сечением 15 – 25 мм после закалки достигается высокая твердость на поверхности (на которую приходится режущая часть) и сохраняется мягкая, вязкая сердцевина. Несквозная закалка уменьшает деформации и повышает устойчивость к ударам и вибрациям. Такие свойства благоприятны для ручных метчиков, напильников, разверток, пил, зубил, стамесок и т.д.

Благодаря низкой твердости в отожженном состоянии (150 – 180 НВ), углеродистые инструментальные стали хорошо обрабатываются резанием и деформированием при изготовлении инструмента.

Режущие инструменты с сечением 15 – 25 мм (мелкие метчики, сверла, пилы, напильники) изготавливают из заэвтектидных сталей У10 (У10А) – У13 (У13А). Их закаляют с температур 760 – 780 °С в воду (или водные растворы солей и щелочей), при этом получают твердость 64 – 66 HRC. Инструменты меньшего сечения с незакаленной сердцевиной для уменьшения деформации и опасности растрескивания охлаждают в масле или расплавах солей при температуре 160 – 200 °С. При последующем низком отпуске при 150 – 160 °С твердость сохраняется высокой (62 – 63 HRC), повышение температуры отпуска до 200 – 220 °С снижает твердость до 58 – 59 HRC.

Основными недостатками углеродистых режущих инструментальных сталей являются небольшая прокаливаемость и нетеплостойкость.

Режущий инструмент, работающий при высоких скоростях резания или при резании труднообрабатываемых материалов, разогревается во время эксплуатации до 500 – 600 °С, поэтому его изготавливают из высоколегированных быстрорежущих сталей (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав некоторых быстрорежущих сталей (ГОСТ 19265-73)

Марка стали	Содержание основных элементов, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
Стали умеренной красностойкости (615 – 620 °С)						
P18	0,7-0,8	3,8-4,4	17,0-18,5	≤1,0	1,0-1,4	-
P12	0,8-0,9	3,1-3,6	12,0-13,0	≤1,0	1,5-1,9	-
P9	0,85-0,95	3,8-4,4	8,5-10,0	≤1,0	2,0-2,6	-
P6M5	0,82-0,90	3,8-4,4	5,5-6,5	5,0-5,5	1,7-2,1	-
Стали повышенной красностойкости (630 – 640 °С)						
P6M5						
Ф3						
P9K5	0,95-1,05	3,8-4,3	5,7-6,7	5,5-6,0	2,3-2,7	-
P6M5	0,95-1,0	3,8-4,4	9,0-10,5	≤1,0	2,2-2,6	5,0-6,0
K5	0,84-0,92	3,8-4,3	6,0-7,0	4,8-5,3	1,7-2,2	4,8-5,5
P9M4	1,0-1,1	3,0-3,6	8,5-9,6	5,5-6,0	3,8-4,3	7,5-8,5
K8						

Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному (карбидному) классу. В отожженном состоянии их структура состоит из перлита и карбидов, причем карбидов содержится до 25 – 30 %: карбиды типа Me_6C на основе вольфрама и молибдена, MeC на основе ванадия, $Me_{23}C_6$ на основе хрома. Основным карбидом является Me_6C .

Быстрорежущие стали, в отличие от других инструментальных сталей, обладают высокой теплостойкостью (красностойкостью). Они сохраняют мартенситную структуру при нагреве до 600 – 620 °С, поэтому их применение позволяет повысить скорости резания в 2 – 4 раза и стойкость инструмента в 10 – 30 раз по сравнению с нетеплостойкими сталями.

Высокая теплостойкость (красностойкость) обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с молибденом, хромом, ванадием. Вольфрам (и молибден) в присутствии хрома связывают углерод в специальный трудно коагулируемый при отпуске карбид типа Me_6C . При нагреве под закалку легирующие элементы из карбидной фазы переходят в твердый раствор, обогащая аустенит. После закалки получается легированный вольфрамом (и молибденом) мартенсит. Эти элементы задерживают распад мартенсита при отпуске, обеспечивая требуемую красностойкость.

Выделение дисперсных карбидов при температурах 500 – 600 °С вызывает дисперсионное твердение. Кроме того, вследствие этого повышается мартенситная точка остаточного аустенита, который частично превращается в мартенсит. Карбид ванадия, выделяясь при отпуске, усиливает дисперсионное твердение, а вольфрам и молибден,

сохраняясь в твердом растворе, задерживают его распад. Увеличению красностойкости способствует также кобальт. Он не образует карбидов, но, повышая энергию межатомной связи, увеличивает устойчивость против отпуска, затрудняет коагуляцию стойких карбидов и увеличивает их дисперсность.

Высокие служебные свойства (стойкость) инструмента из быстрорежущей стали во многом зависит от правильности выбора режима термической обработки. Особенность нагрева под закалку состоит в том, что быстрорежущие стали нагревают выше критической точки A_{C1} на $400 - 480$ °С (а не на $30 - 50$ °С как для углеродистых и низколегированных инструментальных сталей). Такой высокий нагрев под закалку необходим для растворения максимально возможного количества специальных карбидов, т.к. красностойкость обеспечивается легирующими элементами, растворенными в аустените и легирующими мартенсит. В быстрорежущих сталях аустенит образуется при $800 - 900$ °С, но он обеднен углеродом и легирующими элементами. При достижении $1000 - 1100$ °С только хром переходит из карбида $Me_{23}C_6$ в аустенит, карбиды типа MeC и Me_6C растворяются при значительно более высоких температурах. Поэтому оптимальное легирование аустенита вольфрамом, ванадием, молибденом происходит при температурах для стали марок P9, P12, P9Ф5, P12Ф2К8М3 – $1220 - 1250$ °С, для стали марок P18, P9К5 – $1260 - 1280$ °С, для стали марок P6М5, P6М5К5 – $1220 - 1230$ °С. Однако, даже при таком очень высоком нагреве растворяется не более половины имеющихся в стали карбидов, поэтому для быстрорежущих сталей характерно сохранение мелкого зерна (балл 10 – 11).

Быстрорежущие стали обладают низкой теплопроводностью, поэтому во избежание образования трещин инструмент перед окончательным нагревом предварительно подогревают: или один раз при температуре $800 - 850$ °С, или два раза – при $500 - 550$ °С и $800 - 850$ °С для инструмента сложной формы толщиной более 30 мм. При окончательном нагреве растворение карбидов при высоких температурах завершается в весьма короткий срок – 20-30 с. Для инструмента диаметром (толщиной) 10 – 50 мм время выдержки при окончательном нагреве можно рассчитать по следующим нормам: нагрев в соляной ванне – 8-9 с на 1 мм сечения; нагрев в электрической печи – 10-12 с на 1 мм сечения.

В качестве охлаждающей среды при закалке используют минеральное масло, расплавы солей, струю сжатого воздуха. Инструмент большого сечения лучше охлаждать в масле во избежание частичного выделения карбидов из аустенита в процессе охлаждения, что будет уменьшать легированность твердого раствора и снижать красностойкость.

В связи с тем, что легированный аустенит имеет низкую температуру начала мартенситного превращения M_n , структура быстрорежущей стали после закалки состоит из мартенсита, остаточного аустенита (~ 30 %) и нерастворенных карбидов (~ 16 %). Твердость 60 – 62 HRC. Остаточный аустенит резко снижает красностойкость инструмента. В процессе резания и разогрева инструмента до $500 - 600$ °С объемы аустенита, ввиду плохой их теплопроводности, будут концентрировать тепло, перегреваться до более высоких температур и отпускать мартенсит, что приведет к снижению твердости.

Для максимально полного устранения остаточного аустенита применяют многократный отпуск при температурах $540 - 560$ °С, что сопровождается повышением твердости вследствие выделения из мартенсита и аустенита дисперсных вторичных карбидов, главным образом, типа Me_6C . Обеднение аустенита легирующими элементами повышает M_n , и при охлаждении часть остаточного аустенита превращается во вторичный мартенсит.

Обычно после первого отпуска при температуре $540 - 560$ °С в течение 1 часа и охлаждения на воздухе количество остаточного аустенита снижается с 25 – 30 % до 10 %. При этом мартенсит, полученный при закалке, отпускается, но образуется новый не отпущенный мартенсит (~ 15 %). При втором отпуске количество остаточного аустенита снижается до 5 %, количество не отпущенного мартенсита – также до 5 %. После третьего отпуска количество остаточного аустенита составляет лишь 1 – 2 % и практически весь мартенсит отпущен. Количество карбидной фазы достигает 25 – 30 %. Твердость после

многократного отпуска повышается до 63 – 66 HRC (явление вторичной закалки или вторичной твердости).

Вместо многократных отпусков можно проводить обработку холодом, т.е. сразу же после закалки охлаждать инструмент до температур -80°C с проведением последующего однократного отпуска.

Основными видами брака при термообработке инструмента из быстрорежущих сталей являются карбидная неоднородность, обезуглероживание поверхности, трещины, низкая твердость, нафталинистый излом. Нафталинистый излом – это крупнозернистый излом со своеобразными блестящими участками, наблюдающийся после повторной закалки перегретой закаленной и не отпущенной стали. Он объясняется тем, что при нагреве кристаллографически упорядоченной структуры (мартенситной или бейнитной) образование аустенита происходит кристаллографически упорядоченным путем, в результате чего в структуре возникают крупные восстановленные зерна аустенита. Фазовая перекристаллизация, измельчающая зерно, не происходит, чем и определяется наличие крупных сколов в изломе. Для устранения нафталинистого излома необходимо сталь перед повторной закалкой подвергнуть отжигу.

ГОСТ 19265-73 предусматривает оценку красностойкости быстрорежущих термически обработанных сталей путем их нагрева в течение четырех часов при температуре 620°C . Для сталей умеренной красностойкости твердость должна быть не менее 58 HRC, а для сталей повышенной красностойкости – не менее 60 HRC. Длительность стандартной методики заставила исследователей искать пути уменьшения времени определения красностойкости. В работе [1] предложено оценивать красностойкость критериями Kp_{20}^{675} (для сталей умеренной красностойкости) и Kp_{30}^{675} (для сталей повышенной красностойкости). Цифры означают: 675 – температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$; 20 и 30 – время нагрева, мин.; Kp – твердость, HRC. Критерии Kp_{20}^{620} и Kp_{30}^{675} численно равны стандартному критерию Kp_4^{620} (нагрев при 620°C , 4ч.).

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Работа проводится на образцах из стали Р9 (или Р6М5) и У12 (или У10).

Порядок выполнения работы:

1. Замаркировать образцы.
2. Замерить твердость исходных образцов и изучить микроструктуру.
3. Образцы из углеродистой стали закалить от температур нагрева 780, 820, 900, 1050°C в воде. Время нагрева в печи 20 – 25 мин.
4. На закаленных образцах зачистить площадки и замерить твердость по Роквеллу. На этих же образцах после изготовления шлифов изучить микроструктуру.
5. Определить балл дисперсности (размеры игл) мартенсита (ГОСТ 8233-56).
6. Образцы, закаленные от температуры 780°C , отпустить при температурах 180, 250, 300, 450, 560, 600°C . Выдержка при всех температурах – 1 ч., охлаждение на воздухе.
7. На отпущенных образцах замерить твердость и изучить микроструктуру.
8. Образцы из быстрорежущей стали предварительно подогреть при температуре 820°C в течение 15 мин. и быстро перенести в печи для окончательного нагрева под закалку. Температуры окончательного нагрева 1050, 1230, 1280°C . Время выдержки назначается из расчета 15 с на 1мм толщины. После нагрева образцы закалить в минеральном масле.
9. На закаленных образцах замерить твердость, изучить микроструктуру и определить величину зерна по ГОСТ 5639-84.
10. Образцы, закаленные с 1230°C , отпустить при температурах 300, 450, 560, 600°C с выдержкой при всех температурах в течение 1 ч. и охлаждением на воздухе.

11. На отпущенных образцах замерить твердость и изучить микроструктуру.

12. Образец из быстрорежущей стали, закаленный с оптимальной температуры нагрева, подвергнуть трехкратному отпуску при 560 °С с выдержкой при каждом отпуске по 1 ч. и с полным охлаждением на воздухе после каждого отпуска.

13. Замерить твердость стали и изучить микроструктуру после трехкратного отпуска.

14. Образец быстрорежущей стали, обработанный по п.12, и образец углеродистой стали, отпущенной при 180 °С, испытать на красностойкость по критерию Kr_{20}^{675} . С этой целью образцы нагреть до 675 °С в течение 20 мин., охладить на воздухе и замерить твердость.

Экспериментальную работу студент выполняет на нескольких образцах самостоятельно, а обработку и анализ результатов экспериментов проводит по данным, полученным всеми студентами группы.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете студент приводит краткое описание особенностей термической обработки углеродистой режущей и быстрорежущей сталей и полное описание экспериментальной части.

В работе необходимо представить:

1. Заполненную таблицу 2:

Таблица 2. Влияние температуры нагрева на свойства стали после закалки

Марка стали	Температура нагрева, °С	Твердость, HRC	Микроструктур а	Балл структуры

2. График зависимости твердости после закалки от температуры закалки (для двух марок стали).
3. Зарисовки микроструктур исходных образцов, образцов из углеродистой стали после закалки от температур 780 и 1050 °С, образцов быстрорежущей стали после закалки от температур 1050, 1230, 1280 °С.
4. Заполненную таблицу 3:

Таблица 3. Влияние температуры отпуска на свойства стали.

Марка стали	Температура отпуска, °С	Время выдержки, ч	Количество отпусков	Твердость, HRC	Микроструктура

5. График зависимости твердости после отпуска от температуры отпуска (для каждой стали).
6. Зарисовки микроструктур углеродистой стали после отпуска при температурах 180, 450, 600 °С и быстрорежущей стали – после трехкратного отпуска при 560 °С.
7. Заполненную таблицу 4:

Таблица 4. Красностойкость сталей по критерию Kr_{20}^{675}

Марка стали	Твердость после термообработки по оптимальному режиму, HRC	Обработка на красностойкость		Kr_{20}^{675} , HRC
		Температура нагрева, °С	Выдержка, мин.	

На основе анализа таблиц, графиков и зарисовок микроструктур должны быть сделаны выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими свойствами должна обладать сталь, предназначенная для изготовления режущего инструмента?
2. Какие стали применяют для изготовления режущего инструмента и каковы основные принципы их легирования?
3. Какой режим термообработки является оптимальным для инструментальных углеродистых, низко- и среднелегированных сталей типа У8-У12?
4. Как изменяются структура и свойства сталей, перечисленных в вопросе 3, при повышении температуры нагрева под закалку?
5. Чем объясняется низкая красностойкость вышеперечисленных марок стали?
6. В чем состоит особенность термической обработки быстрорежущей стали?
7. Какой режим термообработки быстрорежущей стали является оптимальным и как влияют отклонения от этого режима на твердость стали, структуру, красностойкость?
8. Как определяется красностойкость стали?
9. Чем объясняется высокая красностойкость быстрорежущей стали?
10. Какой брак может получиться при перегреве быстрорежущей стали при нагреве под закалку и почему?
11. Какой обработкой можно устранить нафталинистый излом в быстрорежущей стали и как можно предотвратить появление нафталинистого излома?
12. С какой целью проводят предварительный подогрев быстрорежущей стали?
13. Почему для быстрорежущей стали оптимальной температурой нагрева является температура, превышающая A_{c1} на 400 – 480 °С?
14. Какую структуру имеет быстрорежущая сталь после закалки по оптимальному режиму?
15. Какими обработками можно устранить остаточный аустенит в быстрорежущей закаленной стали?
16. С какой целью быстрорежущая сталь подвергается многократному отпуску?
17. Как влияет остаточный аустенит в быстрорежущей стали на эксплуатационную стойкость режущего инструмента?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смольников В.А., Орестова Л.М. Красностойкость быстрорежущих сталей // МиТОМ, 1975. – №6. – С.13-17.
2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – С. 322-377.
3. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – С. 356-376.
4. Инструментальные стали: Справочник /Л.А.Позняк, С.И. Тишаев, Ю.М. Скрынченко и др. – М.: Металлургия, 1977. – 168 с.

Лабораторная работа №2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТПУСКА НА СВОЙСТВА ШТАМПОВОЙ СТАЛИ ТИПА Х12

Цель работы: изучить микроструктуру и свойства стали типа Х12 после обработки на первичную и вторичную твердость.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Стали типа Х12 относятся к штамповым сталям, предназначенным для изготовления инструментов для деформирования металлов в холодном состоянии. Это полутеплостойкие стали высокой твердости, повышенной износостойкости. Химический состав сталей этого типа приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав некоторых штамповых сталей повышенной износостойкости (по ГОСТ 5950-73)

Марка стали	Содержание основных элементов, %				
	C	Cr	W	Mo	V
X12	2,00-2,20	11,0-13,0	-	-	-
X12M	1,45-1,65	11,5-12,5	-	0,40-0,60	0,15-0,30
X12Ф1	1,25-1,45	11,0-12,5	-	-	0,70-0,90
X12BM	2,00-2,20	11,0-12,5	0,50-0,80	0,60-0,90	0,15-0,30
X12Ф4M	2,00-2,20	12,0-13,5	1,10-1,50	0,50-0,80	3,40-4,00

Стали с 12 % Cr, содержащие более 1,2 % C – ледебуритные; в литом состоянии в их структуре присутствует скелетообразная карбидная эвтектика, выделяющаяся в процессе кристаллизации, подобно тому, как это наблюдается в быстрорежущих сталях. Поставляются высокохромистые стали в отожженном состоянии (температура отжига 850 – 870 °C) или после высокого отпуска; твердость должна быть в пределах 217 – 269 НВ для стали Х12 и 207 – 255 НВ для стали Х12М, Х12Ф1, Х12Ф. Микроструктура отожженной стали представляет собой сорбитообразный перлит и избыточные карбиды.

После закалки и отпуска в высокохромистых сталях выделяются специальные карбиды в основном Me_7C_3 и в меньшем количестве – $Me_{23}C_6$ и MeC . Общее количество карбидной фазы велико и составляет до 20 – 25 %. Однако, вследствие высокой объемной доли твердых карбидов, снижается ударная вязкость и прочность, поэтому возрастает вероятность выхода из строя инструмента из-за выкрашивания рабочих поверхностей инструмента. Такие стали пригодны для изготовления инструментов, работающих в условиях повышенного изнашивания без значительных динамических нагрузок (вытяжные, вырубные, обрезные, чеканочные штампы повышенной точности, штампы выдавливания, накатные ролики, волочильные калибровочные доски и др.).

К недостаткам высокохромистых сталей относится резко выраженная карбидная неоднородность и повышенная склонность к коагуляции карбидов, способствующая разупрочнению сталей при нагреве. Недостатком также является большая твердость в отожженном состоянии, ухудшающая обрабатываемость.

Карбидная неоднородность создает значительную анизотропию механических свойств, вызывающую снижение прочности и вязкости. Сталь Х12 имеет большую карбидную неоднородность, чем стали с меньшим содержанием углерода (Х12М, Х12Ф1). Легирование стали молибденом, вольфрамом и ванадием уменьшает карбидную неоднородность, увеличивает прочность и вязкость. Поэтому сталь Х12 применяется лишь в ограниченных случаях (для штампов, испытывающих меньшие нагрузки, не имеющих тонких кромок). Стали Х12М, Х12ВМ, Х12Ф1 и Х12Ф имеют более высокие механические свойства и обладают более высокой устойчивостью против отпуска, что позволяет изготавливать из стали Х12М, Х12ВМ, Х12Ф4М более крупные штампы.

Высокохромистые стали характеризуются высокой прокаливаемостью – до 300 – 400 мм. Кроме того, важное технологическое преимущество сталей с 6 – 18% Cr – небольшие объемные и линейные изменения при закалке, однако этот результат может

быть получен только при строго определенных условиях закалки. Мартенсит, образующийся при закалке от температур, сохраняющих мелкое зерно, имеет сравнительно небольшую концентрацию углерода (~ 0,5 % C). Поэтому при сохранении несколько повышенного количества остаточного аустенита, имеющего наименьший удельный объем, объем закаленной стали равен исходному отожженному. При большем повышении температуры закалки объем и размеры уменьшаются из-за резкого увеличения количества остаточного аустенита.

Структура и свойства высокохромистых сталей в сильной степени зависят от температуры закалки, т.к. с ее повышением сильно увеличивается растворимость карбидов Me_7C_3 (и $Me_{23}C_6$), возрастают концентрация углерода и хрома в аустените. Это приводит к резкому снижению интервала температур мартенситного превращения и увеличению количества остаточного аустенита. По этим причинам изменение твердости закаленной стали характеризуется кривой с максимумом: повышение твердости вызвано увеличением твердости мартенсита, а снижение твердости при закалке от более высокой температуры – интенсивным увеличением количества остаточного аустенита. Максимальная твердость соответствует температуре нагрева, сохраняющей мелкое зерно.

В табл. 2 представлены возможные режимы нагрева под закалку, применяемые в практике термической обработки инструмента из указанных марок стали.

Таблица 2. Режимы закалки некоторых сталей типа X12

Марка стали	На первичную твердость		На вторичную твердость		На минимальную деформацию	
	$T_{зак}, ^\circ C$	HRC	$T_{зак}, ^\circ C$	HRC	$T_{зак}, ^\circ C$	HRC
X12	950-980	63-65	-	-	-	-
X12M	1000-1030	63-65	1080-1100	54-56	1020-1040	60-61
X12VM	1000-1030	63-65	1080-1130	54-56	1020-1040	60-61
X12Ф1	1030-1050	62-64	1110-1140	48-54	1080-1100	60-61
X12Ф4M	1060-1090	62-64	1150-1170	48-54	-	-

Возможны два вида термической обработки высокохромистых сталей высокой износостойкости.

1. Закалка на первичную твердость заключается в закалке в масле от относительно невысоких температур (950 – 1090 $^\circ C$) и невысоком отпуске. После такой закалки сталь приобретает высокую твердость. Вследствие пониженной теплопроводности нагрев под закалку осуществляется ступенчато с предварительным подогревом при 650 – 700 $^\circ C$. Интервал закалочных температур узок: даже небольшие отклонения от оптимальной температуры закалки вызывают снижение твердости до 58 – 59 HRC (см. рис). Снижение твердости может быть вызвано недогревом при закалке или, наоборот, перегревом и сохранением в структуре повышенного количества остаточного аустенита.

Легирование стали молибденом, вольфрамом и ванадием способствует сохранению более мелкого аустенитного зерна до более высоких температур, а также повышает температуру отпуска стали, при которой сохраняется требуемая твердость. Устойчивость сталей с 12 % Cr против отпуска высокая: после нагрева до 400 – 500 $^\circ C$ она сохраняется на уровне 55 – 57 HRC; при этом возрастает ударная вязкость. Дальнейшее повышение температуры отпуска сопровождается падением ударной вязкости вследствие распада остаточного аустенита и коагуляции карбидов.

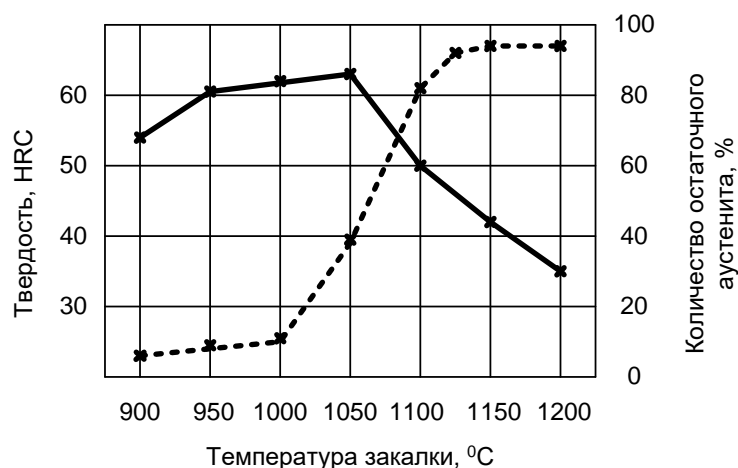


Рис. Твердость и количество остаточного аустенита стали X12M в зависимости от температуры закалки

Температуру отпуска назначают в зависимости от требуемой твердости и механических свойств или необходимости получения минимальных изменений размеров. Чаще всего отпуск проводят при 150 – 170 °С; в этом случае сталь сохраняет высокую твердость (61 – 63 HRC) и износостойкость, размеры инструмента почти не изменяются по сравнению с закаленным состоянием.

Температуру отпуска повышают до 200 – 275 °С, если необходимо получить большую вязкость или уменьшить размеры по сравнению с полученными при закалке. Твердость в результате такого отпуска снижается до 57 – 59 HRC.

Нецелесообразно проводить отпуск при 300 – 375 °С, т.к. он понижает твердость, пластичность и вязкость по сравнению с отпуском при 150 – 170 °С вследствие неоднородной коагуляции выделяющихся карбидных частиц цементитного типа по границам зерен и по плоскостям скольжения.

Отпуск выше 470 °С значительно снижает твердость и износостойкость вследствие распада мартенсита.

Следует отметить, что низкая ударная вязкость и малая прочность при изгибе в сталях типа X12 обусловлена образованием крупных карбидов хрома и повышенной карбидной неоднородностью.

2. Закалку на вторичную твердость применяют для повышения теплостойкости высокохромистых штамповых сталей высокой износостойкости, легированных молибденом и ванадием. В этом случае непосредственно после закалки сталь получает пониженную твердость, которую повышают в результате отпуска путем дисперсионного твердения и мартенситного превращения остаточного аустенита. Для обработки на вторичную твердость применяют более высокие температуры аустенизации: до 1110 – 1170 °С. При этом в большей степени растворяются карбиды, растет легированность аустенита и мартенсита. Высокая твердость достигается при трех- или четырехкратном отпуске при 490 – 530 °С благодаря выделению высокодисперсных карбидов и образованию мартенсита из остаточного аустенита при охлаждении после отпуска. При этом также повышается и теплостойкость, однако снижаются ударная вязкость и прочность вследствие роста аустенитного зерна. В связи с этим применение этой обработки ограничено. В основном ее используют для штампов, работающих при повышенном нагреве без больших нагрузок и для штампов, имеющих сложную форму.

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Работу проводят на ударных образцах (10x10x55 мм) стали типа X12.

1. На исходном термически необработанном образце измерить твердость, изготовить шлиф и изучить микроструктуру.

2. Провести термическую обработку на первичную и вторичную твердость. Перед окончательным нагревом образцы подогреть при температуре 700 °С в течение 20 мин.

1) Обработка на первичную твердость:

– Окончательный нагрев провести при температуре 1020 – 1040 °С в течение 20 мин., закалить в масле.

– Отпустить образцы при температурах 180, 300, 520 °С. Выдержка при указанных температурах – 1,5 ч., охлаждение – на воздухе.

2) Обработка на вторичную твердость:

– Образцы нагреть при температуре 1100 – 1130 °С, охладить в масле. Два образца исследовать в закаленном состоянии, а два – подвергнуть трехкратному отпуску при температуре 520 °С. Продолжительность каждого отпуска 1 ч. с полным охлаждением на воздухе после каждого отпуска

3. На закаленных образцах и на образцах после одно- и трехкратного отпусков замерить твердость, определить ударную вязкость, изучить излом и микроструктуру. (В таблицу занести средние значения ударной вязкости и твердости, полученные при испытаниях двух образцов).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Каждый студент в отчете представляет краткую характеристику изучаемой группы сталей, особенности их термической обработки. Свойства стали после термической обработки свести в табл. 3.

Таблица 3. Свойства стали в зависимости от режима термической обработки

Вид обработки и	Температура нагрева, °С	Твердость, HRC	Ударная вязкость, МДж/м ²	Микроструктура

В отчете привести графики зависимости твердости и ударной вязкости от температуры отпуска.

Привести зарисовки микроструктуры стали в сыром состоянии, после закалки от температур 1020 и 1130 °С, после отпуска при температурах 180, 300, 520 °С.

На основании анализа результатов работы сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные требования, предъявляемые к штамповым сталям для холодного деформирования.
2. Дайте характеристику группе сталей с 12 % Cr. Принципы легирования этой группы сталей. Рекомендуемые области применения.
3. В чем сущность обработки стали типа X12 на первичную твердость?
4. Какие температуры нагрева являются оптимальными при закалке стали на вторичную твердость?
5. Как изменяются свойства стали типа X12 при повышении температуры нагрева под закалку?
6. Какую микроструктуру имеют стали типа X12 после закалки?
7. Как меняются свойства стали типа X12 после отпуска при обработке на первичную твердость?
8. По какому режиму проводят отпуск стали типа X12 при обработке на вторичную твердость?
9. Возможные дефекты термической обработки стали типа X12.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. – 528 с..
2. Меськин В.С. Основы легирования стали. М.: Металлургия, 1964. – С. 463 – 470.

3. Инструментальные стали: Справочник / Л.А. Позняк, С.И. Тишаев, Ю.М. Скрынченко и др. М.: Металлургия, 1977. – 168 с.

Лабораторная работа №3

ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА СВОЙСТВА ХОЛОДНОШТАМПОВОЙ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТИ

Цель работы: провести сравнительные исследования микроструктуры и механических свойств сталей 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С) на закаленных и отпущенных образцах и после изотермической закалки.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Доэвтектоидные хромокремнистые стали 4ХС, 6ХС и дополнительно легированные вольфрамом 4ХВ2С, 5ХВ2С и 6ХВ2С образуют группу сталей повышенной вязкости (табл. 1), используемых для изготовления инструментов, деформирующих металл со значительными ударными нагрузками (ножи холодной резки металла, зубила, гибочные штампы, обжимные матрицы и др.). Эти стали после закалки и отпуска сохраняют сравнительно высокую твердость (50 – 55 HRC), но обладают большей вязкостью, чем заэвтектоидные и тем более ледебуритные стали. Повышение вязкости сталей достигается снижением содержания углерода (до 0,4 – 0,6 %) и увеличением температуры отпуска.

Таблица 1. Химический состав некоторых штамповых сталей повышенной вязкости (по ГОСТ 5950-73)

Марка стали	Содержание основных элементов, %				
	C	Cr	Si	Mn	W
4ХС	0,35-0,45	1,30-1,60	1,20-1,60	≤0,40	-
6ХС	0,60-0,70	1,00-1,30	0,60-1,00	≤0,40	-
4ХВ2С	0,35-0,44	1,00-1,30	0,50-0,80	0,15-0,40	2,00-2,50
5ХВ2С	0,45-0,55	1,00-1,30	0,50-0,80	0,15-0,40	2,00-2,50
6ХВ2С	0,55-0,65	1,00-1,30	0,50-0,80	0,15-0,40	2,20-2,70

Вследствие влияния хрома и кремния стали имеют сравнительно хорошую прокаливаемость и получают высокую и равномерную твердость в сечении до 40 – 50 мм. Хромокремнистые стали обладают большей устойчивостью против отпуска (по сравнению с углеродистыми сталями), что позволяет нагревать их при отпуске до более высоких температур и получать большую вязкость (при одинаковой твердости). Вольфрам способствует сохранению более мелкого зерна при нагреве под закалку, что обеспечивает получение большей вязкости в отпущенном состоянии.

Легированную доэвтектоидную сталь поставляют в отожженном состоянии или после высокого отпуска с твердостью: для сталей 4ХС, 6ХС – 107-229 НВ; 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С – 179-285 НВ.

Доэвтектоидные легированные штамповые стали подвергают закалке в масле с температур 840 – 900 °С (табл. 2). Повышение температуры закалки сталей этой группы, вызывая рост зерна, понижает ударную вязкость, получаемую после отпуска при низких температурах, и усиливает отпускную хрупкость. При этом стали с вольфрамом имеют более мелкое зерно и большую вязкость в отпущенном состоянии, чем хромокремнистые стали с таким же содержанием углерода.

Обработка холодом не используется, поскольку стали этой группы должны сохранять остаточный аустенит и повышенную вязкость.

Таблица 2. Температуры закалки доэвтектоидных штамповых сталей для холодного деформирования

Марка стали	Температура закалки, °С	Твердость после закалки, HRC
-------------	-------------------------	------------------------------

4XC	870-890	52-54
6XC	840-860	58-60
4XB2C	870-900	52-56
5XB2C	870-900	54-57
6XB2C	850-875	58-60

Стали 4XC и 6XC отпускают на твердость 52 – 55 HRC при температуре 240 – 270 °С, которая несколько ниже температуры проявления отпускной хрупкости первого рода. В них обнаруживается характерное для хромокремнистой стали снижение ударной вязкости после отпуска при 300 – 570 °С. Ударная вязкость снижается от 0,5 – 0,55 МДж/м² (после отпуска при 200 – 250 °С) до 0,2 – 0,3 МДж/м² (после отпуска при 300 – 570 °С) при одновременном уменьшении твердости и прочности.

Отпуск сталей с вольфрамом 4XB2C, 5XB2C, 6XB2C при 300 – 400 °С также снижает ударную вязкость по сравнению с более низкими температурами отпуска, однако меньше, чем в сталях 4XC и 6XC. Повышение температуры отпуска до 400 – 450 °С, не вызывающее значительного снижения твердости и прочности, позволяет получить большую ударную вязкость, чем после низкого отпуска. Поэтому отпуск осуществляется при температуре 200 – 250 °С на твердость 53 – 58 HRC или, при необходимости получения большей вязкости – при температурах 430 – 470 °С на твердость 45 – 50 HRC.

Сталь 5XB2C, закаленная и отпущенная на твердость 50 – 54 HRC, имеет небольшую ударную вязкость 0,2 – 0,3 МДж/м². Низкая вязкость является причиной выхода инструмента из строя. Повысить ударную вязкость можно изотермической закалкой.

Изотермическая закалка целесообразна для инструментов, обрабатываемых на твердость 45 – 55 HRC, для повышения вязкости по сравнению с получаемой непрерывной закалкой и отпуском на ту же твердость. Сталь получает бейнитную структуру и повышенное количество остаточного аустенита. Кроме того, вязкость повышается вследствие уменьшения напряжений из-за отсутствия мартенситного превращения и возможности предупреждения отпускной хрупкости первого рода, возникающих у многих сталей с мартенситной структурой при отпуске на твердость 45 – 55 HRC.

При твердости ниже 43 – 44 HRC, получаемой при изотермической закалке при повышенных температурах, сохраняется меньше остаточного аустенита, вязкость не превышает вязкости продуктов распада, образующихся при более высоких температурах отпуска закаленной на мартенсит стали.

Сталь 5XB2C, закаленная изотермически в расплаве солей состава 55% KNO₃ + 45% NaNO₃ при температурах бейнитного превращения 240 – 300 °С на твердость 53 – 54 HRC, имеет ударную вязкость в два раза выше, чем после обычной закалки с отпуском на ту же твердость.

Сталь 6XB2C имеет максимальную ударную вязкость при изотермической закалке на твердость 52 – 57 HRC, причем в этом случае ударная вязкость так же в 2 – 3 раза выше вязкости закаленной и отпущенной на ту же твердость стали (см. рис.).

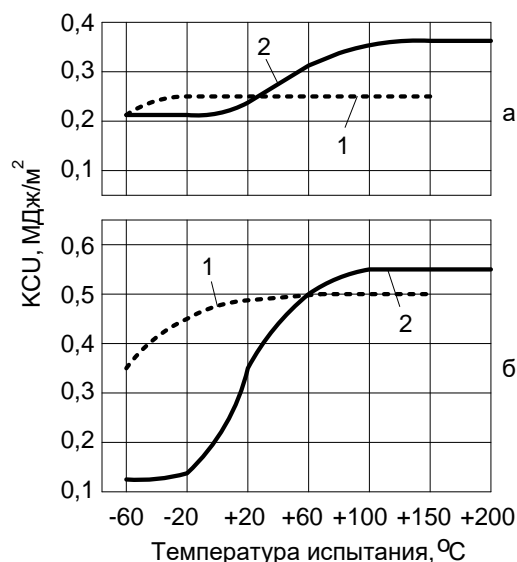


Рис. Вязкость сталей 6XС (1) и 6ХВ2С (2) в зависимости от температуры испытания: а – закалка на мелкое зерно и отпуск при 250 °С; б – изотермическая закалка при 250 °С

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Работа проводится на ударных образцах (10x10x55 мм) стали марки 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С).

1. В исходном состоянии изучить микроструктуру, измерить твердость, определить ударную вязкость.
2. Образцы нагреть до температуры 900 – 950 °С, выдержать в печи 25 мин. и закалить в масле.
3. На одном из закаленных образцов изучить микроструктуру, измерить твердость, определить ударную вязкость.
4. Закаленные образцы подвергнуть отпуску при температурах 250, 300, 400 °С с выдержкой 1 ч. и охлаждением на воздухе.
5. На отпущенных образцах изучить микроструктуру, измерить твердость, определить ударную вязкость.
6. Три образца нагреть до температуры 950 – 1000 °С, выдержать в печи 20 – 25 мин. и подвергнуть изотермической закалке, для чего по одному образцу перенести в ванны с расплавленной солью с температурами 250, 300, 400 °С. Выдержка в ваннах 30 мин.
7. Изучить микроструктуру и свойства на образцах после изотермической закалки.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете студент должен привести краткий литературный обзор, описание методики проведения работы, технологические режимы термической обработки. Начертить диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита для исследуемой марки стали, нанести на нее режимы изотермической закалки.

Результаты работы представить в виде табл. 3.

По данным табл. 3 построить графики зависимости твердости и ударной вязкости от температуры отпуска и температуры изотермической закалки. Привести зарисовки микроструктур. На основе анализа микроструктуры и свойств стали сделать выводы по работе.

Таблица 3. Свойства стали 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С) после различных режимов термической обработки

Вид термической обработки	Температура нагрева, °С	Твердость, НРС	Ударная вязкость, МДж/м ²	Микроструктура

--	--	--	--	--

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой инструмент изготавливают из стали 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С?
2. Какие требования предъявляются к этим сталям, исходя из условий работы инструмента?
3. Какой режим закалки и отпуска является оптимальным для сталей 4ХС (6ХС), 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С)?
4. Какие свойства и какую структуру имеет сталь 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С) после закалки и отпуска по оптимальному режиму?
5. С какой целью применяется изотермическая закалка инструмента из стали 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С)?
6. Режим изотермической закалки стали 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С).
7. Какую структуру имеет сталь 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С) после изотермической закалки?
8. Чем объясняется рост вязкости в стали 4ХВ2С (5ХВ2С, 6ХВ2С) при изотермической закалке на твердость 45 – 55 НRC по сравнению с вязкостью при закалке и отпуске на ту же твердость?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1968. – С. 270 – 276.
2. Меськин В.С. Основы легирования стали. М.: Металлургия, 1964. – С. 463 – 470.
3. Инструментальные стали: Справочник / Л.А. Позняк, С.И. Тишаев, Ю.М. Скрынченко и др. М.: Металлургия, 1977. – 168 с.
4. Бирюкова В.Н. Изотермическая закалка инструментальных сталей // МиТОМ, 1965, №6. – С. 11 – 15.
5. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник. М.: Металлургия, 1977. – 236 с.

Лабораторная работа №4
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА НА СВОЙСТВА ХРОМИСТОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Цель работы: ознакомиться с составом, термической обработкой, свойствами и структурой нержавеющей хромистых сталей мартенситного класса типа стали 40X13.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Коррозионно-стойкими называются стали, обладающие высоким сопротивлением электрохимической коррозии. Основными легирующими элементами этих сталей являются хром и никель. Хромистые коррозионно-стойкие стали в зависимости от содержания углерода и хрома имеют разную структуру. По структуре их обычно классифицируют в нормализованном состоянии. Химический состав (ГОСТ 5632-72) и структурный класс в нормализованном состоянии некоторых коррозионно-стойких хромистых сталей приведены в табл.1.

Таблица 1. Химический состав и структура хромистых коррозионно-стойких сталей в нормализованном состоянии

Марка стали	Содержание основных элементов, %				Структурный класс в нормализованном состоянии
	C	Cr	Mn	Si	
12X13	0,09-0,15	12-14	≤0,80	≤0,80	Мартенсит.-ферритн.
20X13	0,16-0,25	12-14	≤0,80	≤0,80	Мартенситный
30X13	0,26-0,35	12-14	≤0,80	≤0,80	Мартенситный
40X13	0,36-0,45	12-14	≤0,80	≤0,80	Мартенситный
12X17	0,12	16-18	≤0,80	≤0,80	Ферритный
15X28	0,15	27-30	≤0,80	≤0,80	Ферритный

Основной легирующий элемент хром обладает высоким сопротивлением коррозии во многих агрессивных средах (вода, воздух, азотная кислота и др.). В этих средах в первые моменты окисления на поверхности хрома возникает очень тонкая (толщиной менее сотой доли микрометра), прозрачная и плотная пленка оксидов, которая служит защитой от воздействия на хром внешней среды. Поэтому хром становится пассивным к внешней среде.

Свою способность легко пассивироваться хром передает при легировании стали при условии, что он входит в состав твердого раствора на основе железа и его концентрация в этом растворе превышает 12 %. Такая сталь ведет себя в окислительной среде как благородный металл, т.е. становится коррозионно-стойкой.

Хром является карбидообразующим элементом, поэтому в высокохромистых сталях образуются специальные карбиды, богатые хромом: $(Cr, Fe)_{23}C_6$ и $(Cr, Fe)_7C_3$. Поскольку углерод при образовании карбидов выводит хром из твердого раствора, его влияние на коррозионную стойкость сталей оказывается неблагоприятным. Количество карбидов и, следовательно, обеднение твердого раствора хромом будет тем больше, чем больше содержание в стали углерода. Наличие карбидов в стали увеличивает ее химическую неоднородность, а, следовательно, способствует понижению коррозионной стойкости. Поэтому содержание углерода в коррозионно-стойких сталях небольшое и обычно не превышает 0,4%.

Стали, содержащие 12 – 14 % Cr, обладают стойкостью против общей коррозии в атмосферных условиях, в слабых растворах кислот, солей и других слабоагрессивных средах при комнатной температуре. В зависимости от содержания углерода могут испытывать $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение (стали мартенситного класса), или не испытывать его (стали ферритного класса), или испытывать неполное $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение (стали мартенситно-ферритного класса). Наличие и полнота $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения определяют способность стали к упрочнению при термообработке; при этом чем больше в стали углерода, тем полнее протекает мартенситное превращение, тем больше содержание углерода в мартенсите и выше его твердость. Однако, повышение концентрации углерода

приводит к образованию карбидов хрома и формированию двухфазной структуры, уменьшая тем самым количество хрома в твердом растворе и снижая коррозионную стойкость.

Стали 20X13, 30X13, 40X13 относятся к мартенситному классу. Эти стали применяют после закалки и отпуска на заданную твердость. Закалку изделий из этих сталей проводят от температуры 950 – 1050 °С, т. к. только при нагреве выше этих температур происходит полное растворение карбидов Cr₂₃C₆. Стали, содержащие 12 – 13 % Cr имеют небольшую критическую скорость закалки и закаляются на мартенсит при охлаждении в масле и на воздухе (твердость 56 – 58 HRC). В закаленном состоянии они имеют высокую коррозионную стойкость. При отпуске закаленных на мартенсит сталей в интервале 200 – 370 °С происходит снятие внутренних напряжений, не оказывающее заметного влияния на коррозионную стойкость (твердость HRC ≥ 50). При более высоких температурах отпуска протекает распад мартенсита на феррито-карбидную смесь с образованием карбидов типа Cr₂₃C₆. Распад мартенсита сопровождается снижением коррозионной стойкости вследствие образования неоднородной (гетерогенной) структуры и обеднения матричной α-фазы хромом при выделении карбидов. Степень обеднения определяется количеством углерода в стали, поэтому после отпуска коррозионная стойкость рассматриваемых сталей снижается в следующем порядке: 20X13, 30X13, 40X13.

Наименьшую коррозионную стойкость стали мартенситного класса приобретают после отпуска при 550 – 600°С; дальнейшее повышение температуры отпуска несколько повышает коррозионную стойкость благодаря коагуляции карбидов, однако она не достигает исходного уровня для закаленного состояния. Стали мартенситного класса применяют после закалки и низкого (≤ 450°С) или высокого (630 – 650°С) отпуска на твердость 32 – 34 HRC. Их используют обычно для изделий, работающих на износ, в качестве упругих элементов или режущего инструмента (режущий, измерительный, хирургический инструмент, пружины и т.д.).

Близки по коррозионной стойкости к приведенным выше мартенситным сталям ферритные (12X17, 15X28) и феррито-мартенситные (12X13) стали. В связи с пониженным содержанием углерода эти стали отличаются от мартенситных меньшей твердостью, большей пластичностью, вязкостью и удовлетворительной свариваемостью. При повышении содержания хрома до 17 % обеспечивается стойкость сталей (типа 12X17) в 65%-ой азотной кислоте при температуре до 50°С. Стали с содержанием хрома 25 – 28% имеют высокую стойкость в горячих концентрированных растворах щелочей. Недостаток ферритных сталей – повышенная хладноломкость, которая усугубляется склонностью к росту зерна феррита даже при относительно кратковременном нагреве выше 850 – 900°С.

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Начертить диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита для исследуемой марки стали (40X13).
2. Изучить структуру и твердость исследуемой стали в исходном состоянии (40X13).
3. Провести закалку стали 40X13 от температур 850, 950, 1050, 1150 °С в масло. Время выдержки в печи 10-15мин.
4. Измерить твердость закаленных образцов.
5. Изготовить шлифы, изучить и зарисовать их структуру.
6. Закаленные образцы с температуры 1050 °С отпустить при температурах 200, 250, 350, 450, 500 и 600 °С. Время выдержки в печи 1ч., охлаждение на воздухе.
7. Замерить твердость отпущенных образцов.
8. На отпущенных образцах приготовить шлифы, изучить и зарисовать структуру.
9. Полученные данные занести в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Свойства стали марки 40X13 в зависимости от температуры закалки.

Марка стали	Исходные данные	Режим закалки	Результаты закалки
-------------	-----------------	---------------	--------------------

	Твердость, HRC	Микроструктура	Температура, °С	Время выдержки, мин.	Среда охлаждения	Твердость, HRC	Микроструктура

Таблица 3. Свойства стали марки 40X13 в зависимости от температуры отпуска

Марка стали	Режим отпуска		Результаты отпуска	
	Температура, °С	Время выдержки, мин.	Твердость, HRC	Микроструктура

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете необходимо представить краткую характеристику изучаемой группы сталей, особенности термической обработки сталей этого типа. Полученные данные занести в табл. 2 и 3.

В отчете привести диаграмму изотермического распада для исследуемой марки стали (40X13), графики зависимости твердости от температуры закалки и зависимости твердости от температуры отпуска.

Привести зарисовки микроструктур в исходном (сыром) состоянии, после закалки с температур 850 и 1150 °С, после отпуска при температурах 350 и 600 °С.

На основе анализа таблиц, графиков и зарисовок микроструктур сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие стали называют нержавеющейими?
2. Причины высокого содержания хрома в нержавеющейих сталях.
3. Влияние углерода на коррозионную стойкость, механические свойства и фазовые превращения в хромистых нержавеющейих сталях.
4. Сравнить диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита для стали марок 40 и 40X13 и рассчитать критические скорости закалки для указанных марок стали.
5. Причины сохранения высокой твердости при отпуске в районе температур 350-500 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – С. 258-279.
2. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. М.: Металлургия, 1976. – 798 с.
3. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник. М.: Металлургия, 1977. – 236 с.
4. Ульянин Е.А. Коррозионно-стойкие стали и сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1980. – 207 с.

Лабораторная работа №5

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Цель работы: изучить влияние режима термической обработки на твердость и механические свойства мартенситно-старееющей стали.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Мартенситно-старееющие стали, содержащие 0,02 – 0,04 %С, 8 – 20 % Ni, другие легирующие элементы (кобальт, молибден, титан, алюминий, хром) после охлаждения на воздухе приобретают мартенситную структуру ($\sigma_{\text{в}} = 1000 - 1100$ МПа). Последующий отпуск (старение) вызывает значительное упрочнение ($\sigma_{\text{в}} = 1600 - 2300$ МПа). Старение развивается в мартенситной матрице, т.е. условиях очень высокой плотности дислокаций. Эти стали отличаются от других старееющих сплавов тем, что в результате закалки у них достигается очень большое пересыщение твердого раствора: в мартенсите фиксируется высокая концентрация элементов, хорошо растворимых в аустените. В качестве легирующих элементов чаще всего используют алюминий, титан, молибден, образующие с железом или никелем интерметаллидные фазы.

Все мартенситно-старееющие стали являются практически безуглеродистыми ($\leq 0,03$ % С), и поэтому после закалки из аустенитного состояния их матрица представляет собой α – твердый раствор, пересыщенный элементами замещения. Относительно высокая температура M_{H} и малое содержание углерода при повышенной плотности дислокаций обеспечивает их высокую подвижность и легкость релаксации напряжений. Это позволяет получить при охлаждении на воздухе структуру низкоуглеродистого мартенсита с весьма благоприятным сочетанием значений прочности, ударной вязкости, пластичности и критической температуры хрупкости. Такой мартенсит обладает низкой прочностью и высокой пластичностью. В этом состоит принципиальное отличие закалки мартенситно-старееющих сталей от классической закалки углеродистых сталей. Высоких прочностных свойств мартенситно-старееющие сплавы достигают при последующем старении мартенсита, т.е. за счет выделения высокодисперсных интерметаллидных фаз при нагреве. Упрочнение вызвано образованием при старении сегрегаций на дислокациях (начальная стадия) и выделений закономерно ориентированных когерентных с матрицей фаз: Ni_3Ti , Ni_3Mo , Fe_2Mo , $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{Al}$, $(\text{Ni}, \text{Fe})\text{Ti}$, и др. Размер частиц выделяющихся фаз составляет около 100 Å.

Стали характеризуются высоким сопротивлением распространению трещин при статическом и динамическом нагружении и низкой критической температурой хрупкости. Это объясняется рядом причин. Из состава стали практически исключен углерод, поэтому не происходит «блокировки» дислокаций атомами углерода. Мартенситное превращение приводит к однородному распределению дислокаций, в связи с чем при последующем старении достигается равномерное распределение дисперсных частиц упрочняющей интерметаллидной фазы. Значительное легирование никелем и кобальтом увеличивает подвижность дислокаций и способствует релаксации напряжений. Легирование молибденом снижает вероятность преимущественных выделений при старении частиц упрочняющей фазы по границам зерен. Легирование кобальтом повышает температуру M_{H} и обеспечивает получение при охлаждении 100 % мартенсита, а также понижает растворимость молибдена в мартенсите и поэтому способствует увеличению эффекта дисперсионного твердения. Введение в сталь 12% и более хрома придает качественно новое свойство мартенситно-старееющим сталям – коррозионную стойкость.

Термическая обработка мартенситно-старееющих сталей заключается в закалке с 800 – 1000 °С с охлаждением на воздухе и старении при 480 – 520 °С в течение 3 – 5 часов.

Высокое сопротивление развитию трещин, простота термической обработки, хорошая деформируемость, обрабатываемость и свариваемость, минимальное коробление обусловили широкое использование этого класса материалов для изделий, работающих в тяжелых условиях нагружения, особенно для изделий значительных размеров и сложной

формы. Мартенситно-старяющие стали применяют в авиационной промышленности, в ракетной технике, в судостроении, в приборостроении, в криогенной технике и т.д.

В настоящее время разработано большое количество составов мартенситно-старяющих сталей на основе систем Fe-Ni, Fe-Co-Ni, Fe-Co-Cr, Fe-Ni-Cr, дополнительно легированных молибденом, титаном, алюминием, медью. Одним из представителей мартенситно-старяющих сталей является сталь 03X12H8K5M2ТЮ (ЭИ90-ВИ), содержащая не более 0,03 % С, 11,5 – 12,5 % Cr, 7,0 – 9,0 % Ni, 5,0 – 6,0 % Co, 2,0 – 3,0 % Mo, 0,15 – 0,35 % Al, 0,8 – 1,2 % Ti. Достоинство данной марки стали перед другими представителями рассматриваемого класса заключается в более высоком сопротивлении хрупкому разрушению, простоте обработки, малых объемных изменения при старении, высокой прокаливаемости и значительном сопротивлении релаксации напряжений при нагревах до 400 – 450 °С. Сталь 03X12H8K5M2ТЮ используется в приборостроении для изготовления чувствительных упругих элементов, в инструментальной промышленности (в том числе и для микрохирургического инструмента), в машиностроительной технике.

Термическая обработка стали заключается в закалке от 950°С на мартенсит, который образуется практически при любых скоростях охлаждения, и старения мартенсита при 480 – 500°С в течение 3 – 5 ч. (Дополнительное упрочнение может быть достигнуто холодной пластической деформацией со степенью обжатия до 80 – 85 % после закалки). В результате удается получить следующие механические свойства: $\sigma_B = 1800 - 1900$ МПа, $\delta = 8 - 12$ %, $\psi = 40 - 60$ %, $KCU = 0,40 - 0,60$ МДж/м², твердость – до 48 – 50 HRC (HV = 5500 – 6200 Н/мм²).

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Работа проводится на проволочных образцах из стали 03X12H8K5M2ТЮ диаметром 4,0 мм (полученных волочением из катанки диаметром 6,3 мм).

1. Замаркировать образцы.
2. Замерить временное сопротивление разрыву на исходных образцах длиной 200 – 250 мм.
3. Замерить твердость по Виккерсу на исходных образцах длиной около 30 мм; предварительно зажав образец в струбцину. (Длина образца должна быть равна ширине струбцины для обеспечения упора при замере твердости).
4. Образцы длиной 280 – 300 мм закалить в воде от температур нагрева 900, 950 и 1000 °С. Время нагрева в печи 9 – 10 мин. (От температуры 950°С закалить 5 образцов, от остальных температур – по одному).
5. От трех образцов (по одному с каждой температуры нагрева) отрезать 30 мм для замера твердости по Виккерсу. Остальную часть образцов подвергнуть испытаниям на растяжение; определять только временное сопротивление разрыву.
6. Оставшиеся 4 образца с температуры нагрева 950 °С подвергнуть старению при температурах 300, 400, 500, 600 °С в течение 3 ч.
7. От каждого образца отрезать 30 мм для замера твердости по Виккерсу. Остальную часть образцов подвергнуть испытаниям на растяжение.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете каждый студент должен привести краткую характеристику рассматриваемой группы сталей, подробное описание режимов термической обработки. Результаты работы представить в виде табл. 1, 2.

Таблица 1. Влияние температуры нагрева под закалку на механические свойства стали 03X12H8K5M2ТЮ

№	Температура нагрева под закалку, °С	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Твердость по Виккерсу, HV, Н/мм ²

Таблица 2. Влияние температуры старения на механические свойства стали 03X12Н8К5М2ТЮ

№	Температура старения, °С	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Твердость по Виккерсу HV, Н/мм ²

Построить графики зависимости временного сопротивления разрыву и твердости от температуры нагрева под закалку и температуры старения. Сделать выводы о влиянии температуры нагрева под закалку и последующего старения на свойства мартенситно-стареющей стали 03X12Н8К5М2ТЮ. Сделать вывод об оптимальном режиме термообработки для данной марки стали.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принципы легирования мартенситно-стареющих сталей.
2. Чем объясняется высокая прочность мартенситно-стареющих сталей?
3. Какая роль каждого из легирующих элементов в данной стали?
4. Какие процессы происходят в стали при закалке и старении?
5. Чем отличается термическое старение от деформационного?
6. Какой режим термообработки является оптимальным для стали 03X12Н8К5М2ТЮ?
7. Где используется изученная мартенситно-стареющая сталь?
8. Какие свойства имеет эта сталь?
9. В чем сущность термообработки мартенситно-стареющих сталей?
10. Как изменяются механические свойства стали 03X12Н8К5М2ТЮ при изменении температуры нагрева под закалку и температуры старения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – С. 190-201.
2. Бодяко М.Н., Астанчик С.А., Ярошевич Г.Б. Мартенситно-стареющие стали. – Минск: Наук и техника. 1976. – 246 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

*Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине
«Конструкционные и инструментальные стали в машиностроении» для студентов по
направлению подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов*

На практических занятиях выполняются контрольные работы по выбору конструкционных и инструментальных материалов в машиностроении и режимов их термической обработки занятия.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо проработать материал по вопросам, представленным в разделах 6.1.1 и 6.1.2. На учебных практических занятиях обучающиеся под руководством преподавателя решают примерные задачи по указанным в этом разделе темам, а затем решают самостоятельно предложенные варианты задач, варианты которых приведены в разделе 6.1.3 или выполняют контрольные работы, вопросы к которым сформулированы в разделе 6.1.4.