



Федеральное агентство по рыболовству
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

Утверждаю
Врио заместителя начальника колледжа
по учебно-методической работе
М.Ю. Никишин

ОП.03 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методическое пособие для выполнения практических занятий по специальности

**15.02.17 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного
оборудования (по отраслям)**

МО-15 02 17-ОП.03.ПЗ

РАЗРАБОТЧИК	Учебно-методический центр
ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ	Судьбина Н.А.
ГОД РАЗРАБОТКИ	2026

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.2/32

Содержание

1. Введение.....	3
2. Перечень практических занятий.....	4
3. Указания по выполнению практических работ.....	6

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.3/32

Введение

Рабочей программой дисциплины ОП.03 «Материаловедение» предусмотрено проведение практических лабораторных и работ по специальности 15.02.17 «Монтаж, техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт промышленного оборудования» (по отраслям).

Целью проведения практических занятий является закрепление теоретических знаний и приобретение необходимых практических умений при изучении устройства, принципа работы и правил эксплуатации технологического оборудования отрасли.

Выполнение практических работ способствуют частичному освоению компетенций:

ПК 1.1 Осуществлять организационно-производственные работы для подготовки сборки и монтажа промышленного (технологического) оборудования

ПК 1.2 Проводить сборку, регулировку, дефектовку агрегатов промышленного (технологического) оборудования

ПК 3.3 Организовать работу персонала по ремонту промышленного (технологического) оборудования

ПК 4.3 Проводить анализ результатов использования заготовок, запасных частей, расходных материалов

- общие компетенции:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности

ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по правовой и финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.4/32

ОК 09 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

Перед проведением практических занятий обучающиеся обязаны проработать соответствующий материал, уяснить цель занятия, ознакомиться с содержанием и последовательностью его проведения, а преподаватель проверить их знания готовность к выполнению задания.

Текст выполняемых работ на практических занятиях обучающиеся должны писать ручкой понятным почерком. Схемы, эскизы, таблицы необходимо выполнять только карандашом с помощью чертежных инструментов.

После каждого практического занятия проводится защита отчета, как правило, на следующем практическом занятии перед выполнением последующей работы.

На защите отчета обучающийся должен знать теорию по данной теме, пояснить, как выполнялась работа в соответствии с основными требованиями к знаниям и умениям по данной теме рабочей программы.

Перечень практических занятий

№ п/п	Практическое занятие	Кол-во часов
1	Изучение методов определения твердости металлов по Бринеллю и Роквеллу	2
2	Изучение метода испытания металлов на ударную вязкость	2
4	Изучение микроскопической структуры чугунов	2
5	Изучение микроскопической структуры углеродистых сталей	2
6	Выбор режима термической обработки	2
7	Изучение процессов закалки и отпуска углеродистой стали	2
ИТОГО		12

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.5/32

Практическое занятие №1 Изучение методов определения твердости металлов по Бринеллю, по Роквеллу

Цель занятия:

Изучить теоретические основы методов определения твердости металлов по методу Бринелля и Роквелла.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические указания

Твердость – способность Ме сопротивляться вдавливанию в его поверхность другого более твердого материала.

Твердость имеет большое практическое значение т.к. она выражает многие рабочие свойства материала: сопротивление к истиранию, способность к механической обработке, выдерживать давление.

Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания, но существуют методы, основанные на царапании, качании маятника.

При испытании на твердость поверхность материала не должна иметь риск, вмятин и царапин.

К методам, основанным на вдавливании, относятся:

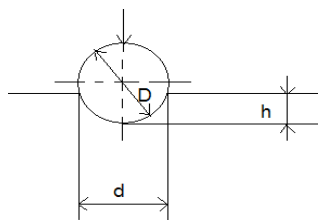
- метод Бринелля
- метод Роквелла
- метод Виккерса

а) Определение твёрдости металла по способу Бринелля на твёрдомере типа «ТШ-2».

В зависимости от испытываемого материала и его толщины на приборе закрепляется наконечник с диаметром шарика 10,5 или 2,5 мм и устанавливаются грузы: 3000, 1000, 750 кг.

Подготовленная деталь устанавливается на стол пресса и подводится шарик, вращением штурвала стола до отказа, создавая предварительную нагрузку в 100 кг. Включается кнопка, грузы движутся вниз – шарик вдавливается в деталь.

Выдержка сопровождается горением лампочки 10 – 40 сек. После выключения лампочки грузы поднимаются вверх и пресс автоматически выключается. Испытания проводятся 3 раза.



С помощью лупы определяется диаметр лунок и по формуле и по таблице определяется твёрдость по Бринеллю.

P - нагрузка на шарик, кг;

F - величина поверхности отпечатка, мм²;

D - диаметр шарика;

d - диаметр лунки.

$$HB = \frac{P}{F} \text{ Н / мм}^2$$

Пользуясь таблицей, определяют твёрдость в зависимости от d лунки и нагрузки P. Диаметр лунки принимаем 5 мм, нагрузку 1000 Н

Таблица 1

Толщина металла и марка	Диаметр шарика мм	Нагрузка в кг	1 измерение		2 измерение		3 измерение		Среднее значение твердости	Предел прочности при растяжении	
			Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю	Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю	Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю			
	D	P	d ₁	HB ₁	d ₂	HB ₂	d ₃	HB ₃	HB	G _B	материал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2 мм	2,5 мм	1000									Д16

$$\sigma_B = KHB$$

Предел прочности σ_B определяем по существующей зависимости от твердости металла «HB».

Для катанной и кованной стали: 0,3-0,4

Для литой стали: 0,36

Для серого чугуна: 0,1

Для меди: 0,35-0,48

Для алюминия: 0,4.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА БРИНЕЛЛЯ

На рис. 1 приведена принципиальная схема твердомера ТБ 5004.

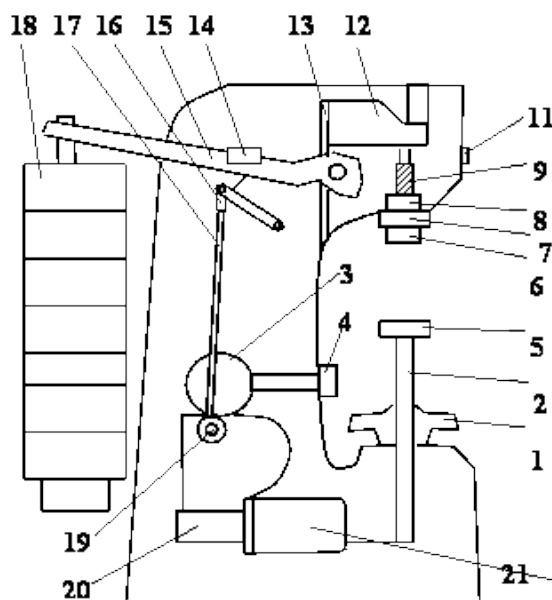


Рис.1. Схема прибора для определения твердости по Бринеллю

Основными частями прибора являются:

1. Шпиндель 6, в который вставляются сменные инденторы с шариками разного диаметра.
2. Подвеска 18 с набором грузов.
3. Маховик 1, перемещающий опорный столик 5 с образцом в вертикальном направлении.
4. Система рычагов 12, 15, 17-19, передающих нагрузку на испытуемый образец.
5. Электродвигатель 21, обеспечивающий работу прибора.
6. Пульт управления с переключателями режима работы, сигнальными лампами “контроль”, “выдержка”, “сеть”, реле времени.
7. Кнопки “пуск” и “стоп”.

б) Определение твердости металла по способу Роквелла и твердомере типа ТК-2.

В Прибор устанавливается алмазный конус с углом 120° и грузы 150 кг.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.8/32

Деталь устанавливается на стол прибора С помощью штурвала подводят деталь к алмазному конусу с углом 120^0 и вращают штурвал до тех пор, пока стрелки индикатора не станут параллельно друг другу. При этом маленькая стрелка станет против красной точки на шкале прибора.

Большую стрелку можно не доводить до 5-ти делений, устанавливая нуль шкалы «С» поворотом индикаторной головки.

Стрелка прибора вращается и по шкале прибора «С» (черная) читаем показания прибора.

При испытании стальным шариком показания читают по шкале «В» (красная).

Измерения производят три раза, затем определяют среднее значение твёрдости.

HRC – алмазным конусом угла 120^0

HRB – стальным закалённым шариком = 1,58 мм.

По среднему показателю твёрдости HRC, пользуясь переводной таблицей, определяют твёрдость по Бринеллю HB .

УСТРОЙСТВО ПРИБОРА РОКВЕЛЛА

На рис.2 приведена принципиальная схема твердомера Роквелла.

Основными его частями являются:

поперечина 1, подвеска 2, шток амортизатора 3, рычаг 4, рукоятка 5, винт 6, крышка 7, рычажок 8, призма 9, шпindel 10 с закрепленным на его конце индентором, маховик 11 для перемещения образца, шпонка 12, направляющая втулка 13, станина 14, грузы 15, стойка 16, подъемный винт 17, масляный амортизатор 18, пружина 19, индикатор с двумя шкалами – черной (С) и красной (В). При этом с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы, и ни в коем случае – красной. Барабан для точной установки шкалы индикатора на нуль, электромотор, обеспечивающий работу прибора.

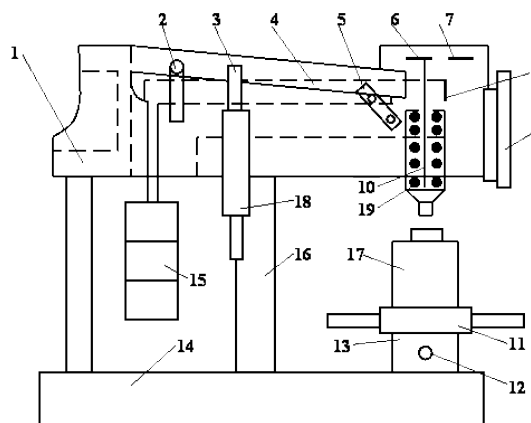


Рис.2. Прибор для измерения твердости по Роквеллу

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Изучить и зарисовать схемы приборов Бринелля и Роквелла для определения твердости металлов.
2. Изучить теоретический материал по теме занятия.
3. Законспектировать методы определения твердости и область их применения.
4. Заполнить таблицу 1
5. Оформить отчет

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать достоинства и недостатки метода Бринелля и метода Роквелла. При этом обратить внимание на то, как отличается твердость черных металлов и сплавов (сталь и чугун) от цветных (медь, латунь, бронза, дуралюмин и т.д.). Кроме того, необходимо обратить внимание на отличие в твердости чистых металлов и их сплавов.

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.10/32

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самопроверки:

- 1.Что такое твердость металлов (определение)?
- 2.В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю?
- 3.В каких единицах измеряется твердость по Роквеллу?
- 4.Зачем необходимо знать твердость металлов?
- 5.Какой метод измерения твердости металлов вы считаете более удобным (обоснуйте)
6. Какие приборы существуют для измерения твердости металлов?
- 7.Тверже или мягче должен быть стальной шарик для проверки твердости, чем исследуемый металл?
8. Какой металл будет тверже сталь или чугун и почему?
- 9.Запишите формулу для определения твердости по Бринеллю.
10. Как подбирают стальные шарики при испытании по Бринеллю?
- 11.Как изготавливают образцы для испытаний на твердость?

Практическое занятие №2 Изучение метода испытания металлов на ударную вязкость

Цель работы:

Изучить методы определения ударной вязкости металлов

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические рекомендации:

Ударная вязкость – способность материалов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок.

$$KC = \frac{K}{S},$$

где

KC – ударная вязкость;

K – затраченная работа;

S – площадь поперечного сечения образца в месте надреза.

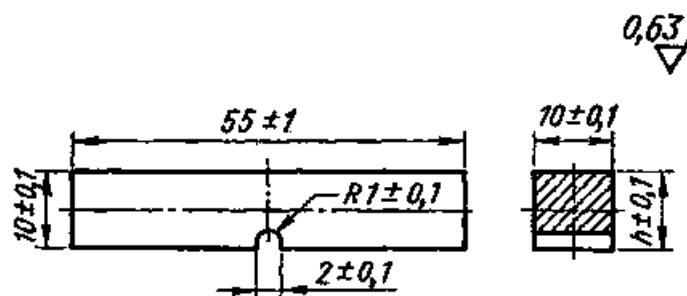


Рисунок 1 – Образец для испытания на ударную вязкость

Примечание:

От качества выполнения надреза зависит точность испытания, поэтому надрез образцов выполняют особенно тщательно (сверлением, фрезерованием или проточкой, шлифовальным кругом). Надрез наносится на образец так, чтобы его ось была перпендикулярно оси образца.

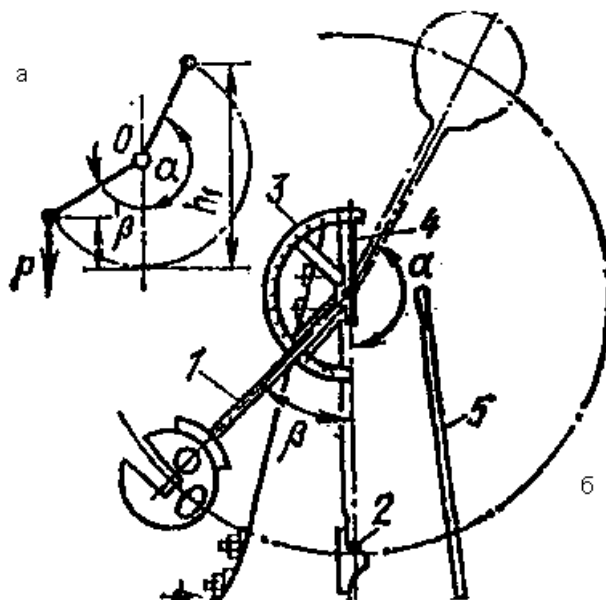


Рисунок – 2

В начале испытания маятник поднимают на угол α в верхнее исходное положение (рисунок 2а) на высоту H (рисунок 2б), затем маятник спускают и он, падая, разрушает помещенный на его пути образец и по инерции отклоняется на угол β . Зная углы α и β по соответствующим таблицам определяют K и KC .

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Содержание и порядок выполнения работы:

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.12/32

1. Изучить и зарисовать схему маятникового копра для определения ударной вязкости металлов.
2. Изучить теоретический материал по теме занятия.
3. Начертить диаграмму растяжения для стали и указать все характерные точки диаграммы.
- 4.Законспектировать метод определения ударной вязкости металлов.
- 5.Оформить отчет

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать достоинства и недостатки метода Бринелля и метода Роквелла. При этом обратить внимание на то, как отличается твердость черных металлов и сплавов (сталь и чугун) от цветных (медь, латунь, бронза, дуралюмин и т.д.). Кроме того, необходимо обратить внимание на отличие в твердости чистых металлов и их сплавов.

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самопроверки:

- 1.Что такое вязкость металла?
- 2.Для чего определяют вязкость металлов?
- 3.В каких единицах измеряется вязкость металлов?
- 4.Что обозначают цифры в марке маятникового копра МК 30.
5. Для чего служит концентратор напряжений?

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.13/32

Практическое занятие №3 Микроскопический анализ структуры чугунов

Цель: изучение структурных составляющих чугунов, по форме графитовых включений.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические рекомендации

Изучение микроструктуры чугунов производится в равновесном состоянии, т.е. при медленном охлаждении.

За основу принимаются диаграммы: железо-цементит Fe-Fe₃C (относительно устойчивого равновесия), железо-графит Fe-C (абсолютно устойчивого равновесия).

Диаграмма состояния Fe-Fe₃C называется цементной, а диаграмма состояния Fe-C – графитной.

Превращения в сталях (при нагреве и при охлаждении) обычно происходят в соответствии с цементной диаграммой, а превращения в чугунах могут протекать как по цементной, так и по графитной диаграмме.

С помощью микроанализа можно установить связь между микроструктурой и свойствами чугуна. Углерод в чугуне может находиться, как в свободном состоянии, т.е. в виде графита, так и в химическом связанном состоянии в виде цементита – Fe₃C. Графитные включения в чугунах хорошо видны в нетравленных шлифах. Изучение металлической основы производится на травленных микрошлифах.

Белые чугуны

В зависимости от содержания углерода разделяются на доэвтектические (2,0 до 4,3 % C), эвтектические (4,3 % C) и заэвтектические (от 4,3 до 6,67 % C).

Эвтектический белый чугун состоит из ледебурита (при обыкновенной температуре ледебурит состоит из перлита и цементита).

Доэвтектический белый чугун состоит из ледебурита + перлита + цементита вторичного.

Заэвтектический белый чугун состоит из ледебурита + цементита первичного.

Серые чугуны

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.14/32

Металлическая основа в серых чугунах весьма сходна с основой стали. В зависимости от количества химической связанной углерода различают серые чугуны: ферритный, ферритно-перлитный и перлитный. Графит выделяется в виде пластин.

Перлитный - перлит + пластинчатый графит.

Феррито-перлитный - феррит + пластинчатый графит.

Ковкие чугуны

Металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной и перлитной. Графит в ковких чугунах имеет хлопьевидную форму. Микроструктура ферритного чугуна состоит из феррита + графита, а перлитного ковкого чугуна из перлита + графита.

Высокопрочные чугуны

Высокопрочный чугун представляет из себя серый чугун с округлой (глобулярной) формой графита, получаемый при модификации магнием или хромом. Округлая форма графита определяет наибольшую сплошность металлической основы, а, следовательно, высокую прочность, повышенную пластичность и ударную вязкость. Высокопрочный чугун имеет структуру феррита и перлита с округленными включениями графита.

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Изучить структуру чугунов: белых, серых, ковких и высокопрочных в равновесном состоянии.
2. Зарисовать структуры изучаемых чугунов.
3. Под каждым рисунком дать наименование чугуна с обозначением структуры.
4. Дать характеристику основной металлической структуры образцов из серого чугуна.
5. Оформить отчет

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать строение чугунов в зависимости от графитовых включений и сделать вывод о применении различных марок чугуна

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.15/32

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самопроверки:

1. Сколько углерода содержится в чугунах?
2. Как различают чугуны по форме графитовых включений ?
3. Как различаются свойства чугуна от формы графитовых включений?
4. Расшифровать марку чугуна СЧ 20, КЧ55-4.

Практическое занятие №4 Микроскопический анализ структуры углеродистых сталей

Цель: изучение структурных составляющих углеродистых сталей, их свойств и применения.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические рекомендации

Микроскопический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании их структуры с помощью микроскопов. При микроанализе можно определить величину зерна, компоненты структуры, влияние легирующих элементов, качество термообработки, химико-термической обработки и т.д. Исследование микрошлифов производится на металлографическом или электронном микроскопах.

Микроструктура углеродистых сталей для равновесных состояний характеризуется нижней левой частью диаграммы Fe-Fe₃C. Сплавы с содержанием углерода 0,006-0,8 % называют доэвтектоидными сталями. Сплав с содержанием 0,8 % углерода называется эвтектоидной сталью. Сплавы с содержанием 0,8 % - 2,0 % углерода называются заэвтектоидными сталями.

Характеристика структурных составляющих сталей

Феррит представляет собой твердый раствор углерода в Fe_α . При травлении 4-х % раствором азотной кислоты зерна феррита получаются светлыми с четкими границами зерен. Механические свойства феррита весьма низкие:

80 НВ

$G_B \approx 250$ МПа.

Перлит. Перлитом называют механическую смесь феррита и цементита вторичного, являющейся продуктом распада медленно охлаждаемого аустенита. Концентрация углерода в перлите составляет 0,8 %. Механические свойства перлита зависят от величины и формы цементита вторичного.

160-220 НВ

$G_B \approx 600-1300$ МПа

Цементит представляет собой химическое соединение железа с углеродом Fe_3C . Цементит весьма хрупок и тверд. Цементит входит в структуру заэвтектоидной стали.

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Зарисовать микроструктуры, указать стрелками разные фазы и структурные составляющие, написать их наименование.
2. По содержанию углерода определить марку и механические свойства исследуемой стали.
3. Начертить диаграмму Fe- Fe_3C , указать на диаграмме исследуемые стали, проводя вертикальные линии, охарактеризовать структурные составляющие исследуемых сталей. Построить кривые охлаждения исследуемых сталей.

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать строение сталей и сделать вывод о применении различных марок углеродистых сталей

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.17/32

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самопроверки:

1. Объясните пластическую и упругую деформацию.
2. Понятие о сплаве. Природа сплавов: химическое соединение, механическая смесь, твердый раствор компонентов.
3. Рассмотреть диаграмму Fe-Fe₃C.
4. Начертите диаграмму растяжения мягкого материала. Укажите основные характеристики точки.
5. Построить кривую охлаждения сплава: сталь 15.
6. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У10.
7. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У12.
8. Построить кривую охлаждения сплава: сталь 45.
9. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У7.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ» МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
		С.18/32

Практическое занятие №5 Выбор режима термической обработки стали

Цель работы:

Изучить влияние термической обработки на механические свойства сталей. Научиться подбирать вид и режим термической обработки для конкретных сталей, с учетом назначения детали, используя справочные данные.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3..

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические рекомендации:

Таблица 1 – Термическая обработка стали. Виды термической обработки

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Отжиг	Медленное охлаждение нагретой стали (с печью, в горячей золе, песке, цементе и т.п.). В зависимости от температуры нагрева подразделяется на: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный.	Скорость до 500 °С 50 -100°С в час для углеродистых и 20-60 °С в час для легированных сталей, затем на воздухе.
Полный отжиг	Выравнивает структуру по всей площади сечения; снижает твердость и облегчает обрабатываемость; снимает внутренние напряжения, ликвидирует перегрев, измельчая структуру. Поковки и отливки только из доэвтектоидных сталей.	Температура нагрева до 20-50 °С выше Ас ₃ .
Неполный отжиг	Обеспечивает получение зернистого перлита, обладающего лучшей обрабатываемостью, чем пластинчатый. Только эвтектоидная и заэвтектоидные стали	Температура нагрева на 20-40 °С выше Ас ₁
Диффузионный отжиг (гомогенизационный)	Выравнивает химический состав по всему сечению. Отливки из легированных доэвтектоидных сталей.	Температура нагрева на 150-200 °С выше Ас ₃ с длительной выдержкой.
Рекристаллизационный	Снимает наклеп,	Температура нагрева на

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.19/32

	увеличивая пластичность и уменьшая твердость; улучшает обрабатываемость. Все стали после холодной штамповки либо грубой механической обработки	20-50°С ниже A_{c1}
Отжиг нормализационный (нормализация)	Устраняет внутренние напряжения; выравнивает и измельчает структуру; улучшает механические свойства стали; разрушает карбидную сетку у заэвтектоидных сталей. После горячей или грубой механической обработки стали перед цементацией и после нее.	Нагрев на 30-80°С выше A_{c3} (A_{c1}), охлаждение на спокойном воздухе

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.20/32

Продолжение

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Закалка	Форсированное охлаждение стали, нагретой до температуры выше A_{c1} . Повышает твердость, прочность и износоустойчивость; измельчает структуру. Стали, с содержанием углерода менее 0.3 %, перед закалкой подвергаются поверхностному науглероживанию (цементации), а с содержанием углерода 0,3 % и более закаливают без дополнительной обработки. В зависимости от температуры нагрева закалка подразделяется на полную и неполную. Широко применяется для всех групп сталей.	Скорость охлаждения и охлаждающая среда: вода, масло, струя воздуха и т.п. - назначаются в зависимости от химического состава стали и требований, предъявляемых к детали.
Полная закалка	Применяется для доэвтектоидных сталей, обеспечивая им максимально возможную твердость.	Температура нагрева на $20-50^{\circ}\text{C}$ выше A_{c3} .
Неполная закалка	Применяется для эвтектоидной и заэвтектоидных сталей, обеспечивая им максимально возможную твердость	Температура нагрева на $30-50^{\circ}\text{C}$ выше A_{c1}
Поверхностная закалка	Повышает твердость только поверхностного слоя. Применяется в тех случаях, когда необходима высокая износоустойчивость поверхности и мягкая сердцевина детали, например для шеек тяжелых валов, работающих в подшипниках.	Нагрев поверхностного слоя при помощи токов высокой частоты (ТВЧ) или горелок на $50-70^{\circ}\text{C}$ выше A_{c3} с последующим быстрым охлаждением.
Отпуск	Производится немедленно, после закалки с целью придания стали необходимых механических свойств. В зависимости от температуры нагрева	Нагрев ниже A_{c1} , скорость охлаждения назначается в зависимости от химического состава стали

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.21/32

	подразделяется на: низкий, средний и высокий	
Низкий отпуск	Понижает внутренние напряжения, возникшие в процессе закалки, без заметного снижения твердости и хрупкости. Режущий инструмент, не подвергающийся ударам; измерительный инструмент; поверхности деталей, работающих в условиях трения.	Температура нагрева 150-250 °С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.
Средний отпуск	Снимает внутренние напряжения и хрупкость, возникшие в процессе закалки, при некотором понижении твердости. Режущий инструмент, подвергающийся ударной нагрузке; пружины.	Температура нагрева 300-450°С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.
Высокий отпуск	Снимает внутренние напряжения и хрупкость, возникшие в процессе закалки; увеличивает вязкость и значительно понижает твердость; после высокого отпуска возможна обработка лезвийным инструментом. Ответственные детали машин: валы; шатунные болты и т.п.	Температура нагрева 500-700°С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.22/32

Продолжение

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Улучшение	Двойная термическая обработка, состоящая из закали и последующего высокого отпуска.	Смотри закали и высокий отпуск.
Искусственное старение (прерывистое)	Стабилизирует размеры детали. Применяется после отпуска при обработке особо точных изделий, например калибров, прецизионных деталей топливной аппаратуры.	Нагрев 110 -140°C, выдержка 2-3 ч., охлаждение в масле при 20-25°C. Операция повторяется 3-4 раза. Иногда заменяется одноразовым нагревом с длительной выдержкой.
Обработка холодом	Увеличивает твердость, переводя остаточный аустенит в мартенсит. Применяется немедленно после закали (до отпуска) для деталей ответственного назначения и инструмента, изготовленных из углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода выше 0,6 %. После обработки холодом необходим низкий отпуск.	Температура охлаждения от -20 до -100°C, в зависимости от химического состава стали.

Примеры закали стали

Цель закали стали - повышение ее твердости и прочности. Закали необходима для очень многих деталей и изделий. Она основана на перекристаллизации стали при нагреве до температуры выше критической; после достаточной выдержки при этой температуре следует быстрое охлаждение. Таким путем предотвращают превращение аустенита в перлит.

Нагревать детали, особенно крупные, нужно постепенно, чтобы избежать местных напряжений и трещин, а время выдержки нагретой детали должно быть достаточным, чтобы переход перлита в аустенит полностью завершился. Продолжительность выдержки обычно равна четверти общей продолжительности нагревания.

Охлаждение деталей при закатке

Скорость охлаждения деталей при закатке должна быть такой, чтобы деталь получилась заданной структуры.

При скорости охлаждения меньше критической в структуре закаленной стали, наряду с мартенситом, будет троостит, а при дальнейшем уменьшении скорости получаются структуры троостита или сорбита без мартенсита.

При закалке применяют различные способы охлаждения, в зависимости от марки стали, формы и размеров детали и технических требований к ним.

Виды поверхностной закалки

К поверхностным закалкам относятся закалка при помощи газовой горелки и закалка токами высокой частоты. При поверхностной закалке выше критической температуры нагревается только тонкий поверхностный слой детали, а внутри металл почти не нагревается. После закалки детали имеют твердый поверхностный слой и вязкую сердцевину.

Закалка при помощи газовой горелки

Закалка при помощи газовой горелки схематично показана на рисунке – 1.

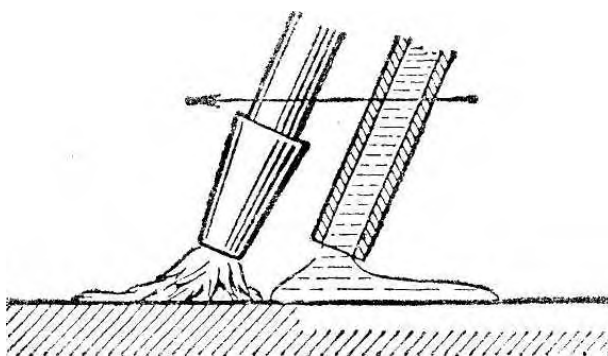


Рисунок – 1

Кислородно-ацетиленовое пламя газовой горелки с температурой около 3200°С направляется на поверхность закаливаемой детали, и быстро нагревает ее до температуры выше критической. Вслед за горелкой из трубки на поверхность детали направляется струя воды, закаливая нагретый слой стали.

Этот способ применяется для закалки изделий с большой поверхностью, например, для прокатных валков, зубьев больших шестерен и других деталей.

Закалка токами высокой частоты

Закалка токами высокой частоты по методу в, и, Вологодина нашла очень широкое применение в промышленности, так как отличается высокой производительностью, легко поддается автоматизации, обеспечивает получение

мелкозернистой структуры, более высокой твердости и прочности, чем при закалке с нагревом в печи.

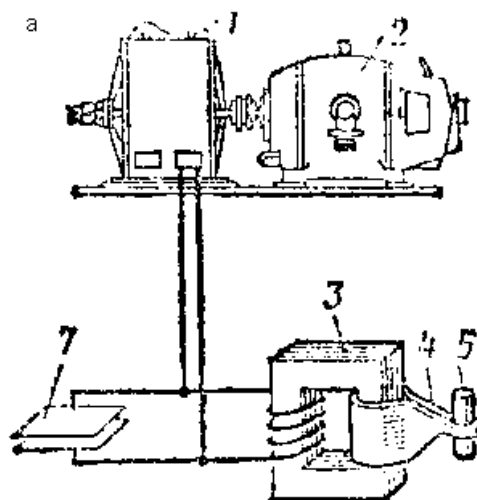


Рисунок – 2а.

Закаливаемая деталь 5 (рисунок – 2а) помещается в индуктор 4, по которому пропускается ток высокой частоты. Ток поступает через трансформатор 3 от машинного генератора 1, приводимого во вращение электродвигателем 2. Возбуждаемый при этом в детали ток имеет наибольшую плотность у поверхности и быстро нагревает поверхностный слой детали. Нагретая деталь охлаждается при обрызгивании водой через отверстия на внутренней поверхности индуктора или через отверстия спрейера (рисунок – 3б).

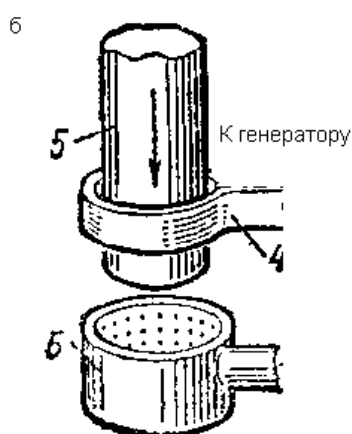


Рисунок – 3б.

Для улучшения коэффициента мощности высокочастотной установки включены конденсаторы 7 (рисунок – 2а).

Регулируя мощность тока и время выдержки, можно ограничить нагрев на толщину от долей миллиметра до десятков миллиметров.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.25/32

Машинные генераторы с частотой тока до 1 0000 Гц обычно применяют для закалки на глубину свыше 2 мм, при закалке на глубину меньше 2 мм пользуются высокочастотными ламповыми генераторами, создающими ток весьма высокой частоты, который можно изменять в зависимости от особенностей закаливаемых деталей.

Дефекты закалки

К дефектам закалки относятся: трещины, поводка или коробление, обезуглероживание.

Главная причина трещин и поводки - неравномерное изменение объема детали при нагреве и, особенно, при резком охлаждении. Другая причина - увеличение объема при закалке на мартенсит.

Трещины возникают потому, что напряжения при неравномерном изменении объема в отдельных местах детали превышают прочность металла в этих местах.

Коробление (или поводка) возникает также от напряжений в результате неравномерного охлаждения и проявляется в искривлениях деталей. Если эти искривления не велики, они могут быть исправлены, например, шлифованием.

Обезуглероживание стали с поверхности является результатом выгорания углерода при высоком и продолжительном нагреве детали в окислительной среде. Для предотвращения обезуглероживания детали нагревают в восстановительной или нейтральной среде (восстановительное пламя, муфельные печи, нагрев в жидких средах).

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Задание:

1. Рекомендовать режимы термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск).
2. Охарактеризовать структуры рассматриваемых сталей, указать механические свойства.
3. Дать обоснование выбранного режима термической обработки, сравнить с рекомендациями справочных данных.
4. Составить отчет о практической работе.

Примечание: повторить классификацию, маркировку и назначение легированных сталей; при выборе режима термической обработки необходимо

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.26/32

указать получаемую структуру и свойства, наиболее экономичные и производительные способы; рекомендовать способы определения твердости после термической обработки

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства сталей до и после термической обработки и сделать вывод о применении различных способов термической обработки.

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самопроверки:

1. Какие виды термической обработки относятся к предварительным операциям термической обработки?
2. Для каких деталей производят рекристаллизационный отжиг?
3. В чем заключается процесс поверхностной закалки, и для каких деталей его производят?

Практическое занятие №6 Закалка и отпуск углеродистой стали

Цель работы: Изучить влияние термической обработки на механические свойства сталей.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК.01, ОК.02, ОК.03, ОК.04, ОК.05, ОК.09, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 3.3, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Методические указания:

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.27/32

Закалка стали

Закалка производится с целью повышения механических свойств стали: твердости, предела прочности, упругости и сопротивлению износу. Закалку применяют для режущих и измерительных инструментов, деталей машин, подвергающихся износу или имеющих значительные нагрузки (резцы, сверла, распределительные и коленчатые валы и др.).

Процесс закалки складывается из следующих этапов, выполняемых в следующей последовательности:

1. нагревание детали до температуры закалки;
2. выдержка детали в течение определённого времени при заданной температуре;
3. Охлаждение детали с нужной скоростью.

Известно, что закаленное состояние характеризуется структурой мартенсит, образующегося в результате бездиффузионного превращения аустенита, когда последний охлаждают с соответствующей скоростью. Температура стали под закалку определяется по диаграмме состояния. Для доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей температуры принимаются соответственно равными.

$$T_{\text{закалки}} = A_{C3} - A_{C1} + (30 - 50^{\circ})$$

Указанные температурные интервалы для названных классов сталей являются наилучшими. Иные температуры нагрева для закалки стали нежелательны. Время нагрева и выдержки берётся к 1/4 - 1/5 времени нагрева. За указанное время вследствие диффузии атомов происходит выравнивание концентрации углерода и других элементов во вновь образовавшейся кристаллической решетке аустенита. Если же время выдержки будет недостаточным, то в структуре закаленной стали сохранится феррит, а это снизит твердость стали. Время нагрева, а значит, и время выдержки стали зависит от температуры нагрева, нагревающей среды и формы изделий.

Таблица 1 – Нормы нагрева стали в минутах при термической обработке в лабораторных электрических печах

Температура нагрева	КРУГ	КВАДРАТ	ПЛАСТИНА
	На 1 мм диаметра	На 1 мм толщины	

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.28/32

600	2,2	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900			
1000	0,8	1,2	1,6

Охлаждение закаленной стали производят с определенной скоростью, которая должна обеспечить получение нужной структуры и механических свойств. При проведении закалки очень важно действие охлаждающей среды в двух интервалах температур: интервале 600 – 400°С, когда аустенит малоустойчив и легко может распадаться с образованием сорбита в интервале 300 – 200°С, когда образуется мартенсит и при этом увеличивается объем. Охлаждение должно вестись с большой скоростью в интервале 600 – 400°С и замедленно во втором интервале 300 – 200°С.

Таблица 2 – Скорости охлаждения, получаемые при применении некоторых наиболее распространенных охлаждающих сред

Закалочная среда	Скорость охлаждения в интервале температур, град/сек	
	600 – 550 °С	300 – 200 °С
1. Вода при 18 °С	600	270
2. Вода при 28 °С	500	270
3. Вода при 50 °С	100	270
4. 10 % раствор в воде едкого натрия	1200	300
5. Поваренной соли	1100	300
6. Соды	800	270
7. Трансформаторное масло	120	25
8. Сплав кадмия 25 % и олово 75 %	450	50
9. Спокойный воздух	18	

Из таблицы видно, что охлаждающая способность воды в первом интервале температур реже изменяется в зависимости от ее температуры и почти не изменяется во втором интервале.

Масло обладает значительно меньшей охлаждающей способностью, как в первом, так и во втором интервале. Для закалки конструкционной среднеуглеродистой стали, за исключением тонких изделий, применяют воду, для закалки инструментальной стали – масло.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.29/32

Отпуск стали

Закалённая сталь, находится в напряженном состоянии и обладает большой хрупкостью, что снижает возможности ее практического использования. Чтобы уменьшить хрупкость, ослабить напряжения, вызванные закалкой, проводят отпуск. Температура отпуска не должна превышать критические точки A_{c1} (727°C). В результате отпуска изменяется структура стали и, как следствие, пластичность. Снижаются внутренние остаточные напряжения, а в зависимости от температуры отпуска - твердость. В зависимости от температуры нагрева детали различают низкий, средний, высокий отпуск. При низком отпуске в структуре стали остается МАРТЕНСИТ, но с неизменной решеткой, вследствие чего уменьшается твердость, незначительно уменьшаются внутренние напряжения и увеличивается пластичность.

При среднем отпуске, нагрев в пределах $300 - 450^{\circ}\text{C}$, и высоком отпуске, нагрев в пределах $550-600^{\circ}\text{C}$, сталь из состояния мартенсита переходит в состояние тростит отпуска и сорбит отпуска.

Время выдержки зависит от размеров деталей и температуры нагревания. Охлаждение после отпуска стали может происходить с любой скоростью, это не вызывает каких-либо структурных превращений, так как температура нагрева при всех видах отпуска ниже температуры фазовых превращений.

Нагрев образцов стали для термообработки в лабораторных условиях, производится в муфельных печах. Регулирование температуры производится реостатом с помощью ручки. Для измерения температуры применяются термоэлектрические пирометры, термопары, которые вставляются в отверстие печи, имеющееся в задней стенке. Печь до начала работы хорошо прогревают, для чего её выдерживают до трех часов при температуре 100°C .

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Определить режим закалки заданных образцов. Произвести закалку.
2. Определить твёрдость после закалки.
3. Определить режим и произвести низкий, средний и высокий отпуск закалённых образцов.
4. Определить твёрдость образцов после каждого вида отпуска
5. Сделать анализ влияния термической обработки стали на ее механические свойства.
6. Составить отчёт о работе.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.30/32

Порядок выполнения работы:

1. Получить образцы одноименной марки и установить температуру закалки для них по диаграмме состояния железо - цементит. Обеспечить температуру нагревательного пространства печи так, чтобы она превышала температуру закалки на 10-20°C, так как всегда температура печи несколько превышает температуру образца, помещённого в печь.

2. Измерить образцы и определить время нагрева и выдержки для закалки образцов на мартенсит.

3. Взяв последовательно заданные образцы, поместить их в печь и нагревать установленное время. В целях безопасности не допускается прикосновение клещами к нагревательным спиральям печи.

Загрузку образцов, чтобы не остужать печь, делают быстро, при этом образцы размещают на поду печи на некотором расстоянии один от другого.

4. Вынув образцы из печи, быстро перенести их в охлаждающую среду. Охлаждение в воде и масле следует сопровождать энергичными перемешиваниями образца, чтобы избежать появления на его поверхности паровой рубашки, которая приводит к снижению твердости тех участков, где она находилась.

5. Обсушить и зачистить торцы образцов шлифовальной бумагой и измерить твёрдость закалённых образцов на твердомере типа ТК (HRC).

6. Три остальные образца исследуемой стали, предварительно закалённые на мартенсит, подвергнуть низкому, среднему и высокому отпуску. Технология нагрева аналогична нагреву при закалке, выдерживая соответствующие интервалы температур. Охлаждение после нагрева производится на воздухе.

7. Зачистить торцы образцов шлифовальной бумагой и определить твёрдость отпущенных образцов на твердомере типа ТК (HRC). Полученные данные занести в протокол испытаний.

8. Составить отчёт о работе, в котором необходимо указать цель и задание лабораторной работы, изложить технологический процесс закалки и отпуска стали, произвести анализ изменения механических свойств этой стали в зависимости от термической обработки. Кроме того, необходимо построить кривую изменения твёрдости стали в зависимости от температуры отпуска.

Таблица 3

О	ω	≥	σ	┌	σ	ЗАКАЛКА	ОТПУСК
---	---	---	---	---	---	---------	--------

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.31/32

			Температура	Охлаждающая среда	Твердость после	Структура	Результат закали	Температура	Охлаждающая среда	Твердость	Структура	Вид отпуска
--	--	--	-------------	-------------------	-----------------	-----------	------------------	-------------	-------------------	-----------	-----------	-------------

Выводы и предложения:

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства сталей до и после термической обработки и сделать вывод о применении различных способов термической обработки.

Содержание отчета:

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их краткая характеристика (аустенит, феррит, перлит, цементит вторичный).
2. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их краткая характеристика (цементит, ледебурит).
3. Деление железоуглеродистых сплавов на стали и чугуны. Структурная основа сталей и чугунов.
4. Понятие о термической обработке металлов, ее назначение.
5. Факторы, определяющие режим термической обработки (основные критические точки).
6. Превращения в стали при нагревании. Основные дефекты.
7. Превращения в стали при охлаждении.
8. Сорбит, тростит, мартенсит. Получение и основные характеристики.
9. Основные виды термической обработки стали.

МО-15.02.17.ОП.03.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.32/32

Используемые источники литературы

Виды источников	Наименование рекомендуемых учебных изданий
Основные	1. Черепяхин А. А. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Черепяхин, И. И. Колтунов, В. А. Кузнецов. - М. : КНОРУС, 2016. 2. Чумаченко Ю. Т. Материаловедение и слесарное дело [Электронный ресурс] : учебник / Ю. Т. Чумаченко, Г. В. Чумаченко. - М. : КНОРУС, 2016.
Дополнительные , в т.ч. курс лекций по учебной дисциплине, методические пособия и рекомендации для выполнения практических занятий и самостоятельных работ	Колтунов В.В. Материаловедение (электронный ресурс) учебник. –М.: КноРус, 2016 Плошкин В.В. Материаловедение (Электронный ресурс) учебник для СПО – 3-е издание исправленное и дополненное. – М.: Юрайт, 2017
Электронные образовательные ресурсы	1. ЭБС «Book.ru», https://www.book.ru 2. ЭБС « ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru 3. ЭБС «Академия», https://www.academia-moscow.ru 4. Издательство «Лань», https://e.lanbook.com 5. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн», https://www.biblioclub.ru
Периодические издания	Вестник международной академии холода Эксплуатация морского транспорта Стандарты и качество