


МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *политехнический*
Кафедра «*Машиностроение и материаловедение*»

Утверждено на заседании кафедры
«Машиностроение и материаловедение»
«30» января 2023 г., протокол № 6

Зав. кафедрой

 А.В. Анцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Теория, технология и оборудование термической и
химико-термической обработки сплавов»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
22.04.02 *Металлургия*

с направленностью (профилем)
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Форма обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 220402-01-22

Тула 2023 г.

Разработчик методических указаний

Маркова Галина Викторовна профессор, д.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



Лабораторная работа № 1

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛЕЙ

1. Цель работы:

1.1. Познакомиться с технологией цементации в твёрдом карбюризаторе малоуглеродистых сталей.

1.2. Изучить микроструктуру и твёрдость поверхностных слоев деталей, подвергнутых цементации, закалке и низкому отпуску.

2 Краткие сведения из теории

Цементацией называется процесс насыщения поверхностного слоя детали углеродом. Основной целью цементации является получение твердой и износостойкой поверхности, что достигается насыщением поверхностного слоя углеродом до содержания (0,8–1,1)С % и последующей закалкой с низкотемпературным отпуском. Наиболее благоприятным является содержание углерода (0,8-0,9) %. Для цементации используют малоуглеродистые и малоуглеродистые легированные стали, которые содержат в исходном состоянии до 0,35 % углерода.

Цементованный слой имеет переменную концентрацию углерода, которая уменьшается от поверхности к сердцевине изделия. После медленного охлаждения в структуре цементованного слоя от поверхности к сердцевине можно различить три зоны: **заэвтектоидную**, которая состоит из перлита и вторичного цементита; **эвтектоидную**, которая состоит из одного перлита; **доэвтектоидную**, которая состоит из перлита и феррита.

Цементация создает только благоприятное распределение углерода, однако необходимые свойства цементованные изделия получают после окончательной термической обработки – закалки и последующего низкотемпературного отпуска. Требуемая толщина слоя зависит от цели цементации и изменяется от 0,1 до 3 мм. За толщину (глубину) цементованного слоя принимается расстояние от поверхности до места, в котором значение твёрдости составляет 500 HV (или 700 HV).

3. Материалы, приборы и оборудование

Для выполнения работы используют образцы из малоуглеродистой стали в состоянии поставки, камерные печи, контейнер для проведения цементации, твёрдый карбюризатор, закалочный бак, твердомер ТК-2, металлографический микроскоп МИМ 7 и химические реактивы для выявления структуры.

4. Задание на работу

Выполнить химико-термическую обработку образцов из малоуглеродистой стали, по шкале А измерить твердость образцов после ХТО, закалки и низкого отпуска. Рассмотреть под микроскопом и описать микроструктуру поверхностного слоя сталей; оценить глубину цементованного слоя, подготовить отчёт.

5.Порядок выполнения работы

5.1. В предварительно прогретую до температуры (860...880) °С печь загрузить контейнер с образцами. После совпадения цвета контейнера и стенок рабочего пространства печи назначить выдержку 8 часов. По истечению времени выключить печь, охлаждение контейнера с образцами проводить вместе с печью. Контроль за процессом цементации проводят два студента.

5.2 После загрузки контейнера в печь изучить микроструктуру образцов в исходном состоянии, измерить твёрдость по шкале В прибора ТК-2, описать структуру, записать результаты измерения твёрдости в таблицу.

5.3. После окончания выдержки и остывания контейнера до комнатной температуры, вскрыть контейнер, извлечь образцы, разделить их на три группы. Часть образцов подвергнуть закалке от температуры 750 °С и последующему низкому отпуску при температуре 180 °С, 2 часа.

5.4. На образцах после ХТО, закалки и отпуска измерить твёрдость по шкале А прибора ТК-2, приготовить шлифы, изучить и описать структуру после каждого этапа термообработки. Определить общую толщину цементированного слоя и протяженность заэвтектоидной, эвтектоидной и доэвтектоидной зон. Результаты занести в таблицу.

5.5. Сделать выводы о влиянии термической обработки на свойства поверхностных слоев цементованных изделий и особенностях микроструктуры.

6 Содержание отчёта

6.1. В отчете указать цель работы, краткие сведения из теории, описать материалы, использованное термическое оборудование и средства измерений. Привести результаты калибровки твердомера.

6.2. Результаты измерения твёрдости и исследования структуры оформить в виде таблицы.

6.3. Сделать выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

7.1. Назначение цементации.

7.2. Какие стали целесообразно подвергать цементации?

7.3. Что принимают за толщину цементованного слоя?

7.4. Достоинства и недостатки цементации в твёрдом карбюризаторе.

7.5. Описать структуру поверхностного слоя после цементации, закали и низкого отпуска.

7.6. Какими методами можно измерить твёрдость цементованного слоя?

8. Список литературы

1. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.

Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - ISBN 978-5-7679-1056-4 – 21 экз.

2. Ворошнин Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учебник для вузов/Л.Г.Ворошнин, О.Л.Менделеева, В.А.Сметкин. – Минск: Новые знания, 2010. – 304 с. – ISBN 878-5-94735-149-1 (РФ). – ISBN 978-985-475-342-3 (Беларусь). – 25 экз.

3. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - ISBN 5-7038-2651-9 – 13 экз.

4. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справочник: в 3 т. Т.2. Строение стали и чугуна/М.Л.Бернштейн [и др.] / под ред.: А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005 .— 528с. - ISBN 5-89594-104-4 – 15 экз.

5. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - ISBN 978-5-94178-220-8 – 5 экз.

6. Основы технологии и прогрессивные методы термической обработки : учеб. пособие для вузов / И. А. Гончаренко [и др.]; ТулГУ; Акад. проблем качества РФ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — 200 с. - ISBN 978-5-7679-1858-4. – 10 экз.

7. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - ISBN 978-5-91559-068-6 – 55 экз.

Лабораторная работа 2

СТУПЕНЧАТОЕ СТАРЕНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1. Цель работы:

1.1. Познакомиться с закалкой сплавов, не испытывающих полиморфных превращений.

1.2. Исследовать естественное и искусственное старение закалённого алюминиевого сплава в зависимости от температуры нагрева и времени выдержки.

2 Краткие сведения из теории

Упрочняющая термическая обработка сплавов, которые не испытывают при нагреве или охлаждении полиморфных превращений, применима к любым сплавам, в которых одна или несколько фаз полностью или частично растворяются в другой. Классическим примером двойной системы, сплавы которой могут быть подвергнуты упрочнению в результате термической обработки, является система Al-Cu. На базе этой системы разработана серия сплавов – дюралюмины (дуралюмины). К дюралюминам относятся пластически деформируемые многокомпонентные сплавы на основе алюминия, содержащие добавки меди (3,5-5) %, магния (0,4-0,8) %, марганца (0,4-0,8) %, а также примеси железа (0,5-0,7) % и кремния (0,5-0,7) %.

Фазовый и структурный состав дюралюминов и происходящие в них превращения можно приблизительно характеризовать с привлечением двойной диаграммы состояния системы Al-Cu. Из диаграммы видно (рис.1), что независимо от исходной структуры нагрев, например, сплава с 4,5 % меди в интервале (515-550) °C приводит к полному растворению интерметаллида состава CuAl_2 в матричной α -фазе (твёрдом растворе замещения меди в алюминии).

При обратном медленном охлаждении ниже линии сольвуса из α -фазы выделяется CuAl_2 , значит, структура дуралюминия в равновесном (отожженном) состоянии гетерогенная (α -фаза и фазы-упрочнители). Так как составы α -фазы и CuAl_2 различны, то выделение CuAl_2 связано с диффузионным перераспределением компонентов, для чего требуется достаточно высокие температуры и продолжительные выдержки.

При быстром охлаждении такое диффузионное перераспределение компонентов не успевает произойти и сплав при комнатной температуре сохраняет однофазную структуру пересыщенного твердого раствора. Эта операция называется **обработкой на твёрдый раствор или закалкой**. Следовательно, закалка дюралюминов основана на уменьшении растворимости компонентов в алюминии с понижением температуры и фиксации быстрым охлаждением при комнатной температуре состояния пересыщенного (метастабильного) твердого раствора – закалка без полиморфных превращений. Закалка практически не

упрочняет полуфабрикаты из дуралюминов и одновременно придает им высокие показатели пластичности и вязкости.

Высокие прочностные свойства дуралюминов достигаются в результате проведения последующей заключительной термической обработки – **старения**.

Главным процессом при старении дуралюминов является распад метастабильного пересыщенного α -твердого раствора. Процессы распада в закаленном сплаве идут самопроизвольно даже при комнатной температуре, но для ускорения распада закалённый сплав нагревают. Различают **старение естественное** – при 20 °С и **искусственное** – при повышенных температурах. Основные параметры старения – температура старения $t_{нагр}$ и время старения $\tau_{выд}$.

При распаде $\alpha_{пер}$ могут образовываться различные типы выделений.

На ранних стадиях старения (**зонное старение** по терминологии академика Фридланда И.Н.) вследствие низкой температуры и малой подвижности атомов происходит образование зон Гинье-Престона (ГП-I). Для их образования требуются небольшие диффузионные перемещения атомов растворимого компонента и малая энергия активации. Зоны ГП-I – предвыделения в виде скоплений атомов меди в решетке α -раствора, когерентные матрице, имеющие форму дисков толщиной $(5-10) \cdot 10^{-8}$ м и диаметром $(30-60) \cdot 10^{-8}$ м. Скопления растворенных атомов вызывают местное искажение кристаллической решетки, затрудняющее движение дислокаций, упрочняют сплав. При повышении температуры или большем времени старения образуются зоны ГП-II. Эти зоны крупнее, чем зоны ГП-I, их толщина $(10-40) \cdot 10^{-8}$ м и диаметр $(200-300) \cdot 10^{-8}$ м, по химическому составу ближе к фазе θ ($CuAl_2$).

На стадии **фазового старения** (по Фридландеру И.Н.) в условиях нагрева происходит либо превращение зон ГП-II в метастабильную фазу θ' , имеющую химический состав, соответствующий соединению $CuAl_2$, и искаженную тетрагональную решетку, либо из α -раствора непосредственно выделяется стабильная θ -фаза ($CuAl_2$). На границе раздела θ' -фазы и основного α -раствора сохраняется когерентность. Дисперсные выделения этой фазы и когерентность с α -раствором являются упрочняющими факторами сплава. При еще более высоких температурах старения наблюдается процесс преобразования θ' -фазы в θ -фазу или непосредственное выделение стабильной θ -фазы из α -раствора. При температурах выше 200 °С выделения θ -фазы коагулируют. θ -фаза (твердый раствор алюминия на базе соединения $CuAl_2$) – некогерентное выделение, вокруг него не возникают значительные упругие искажения кристаллической решетки α -раствора, а с учетом коагуляции выделения θ -фазы ведут к разупрочнению сплава.

Таким образом, структурные изменения при старении дуралюминов вызваны образованием разных типов выделений при распаде α -раствора: зон ГП-I (предвыделения, флуктуации с малой концентрацией атомов меди); зон ГП-II; кристаллы метастабильной фазы θ' и кристаллы стабильной фазы θ . (Всего 4 стадии процесса распада).

Возможность и последовательность образования выделений зависят от температуры, времени старения, степени пересыщения α -раствора, предшествующей пластической деформации, и других факторов.

На процесс старения влияют избыточные вакансии, дислокации, дефекты упаковки, границы зерна, легирующие элементы. Наличие избыточных вакансий определяет возможность реализации начальной стадии старения при низких температурах. Дислокации благоприятствуют возможности гетерогенного зародышеобразования при старении, уменьшают энергию упругих искажений, возникающих при образовании выделений. Наличие дефектов упаковки облегчает образование новой фазы (в дефектном участке α -раствора его состав может приближаться к структуре, отличающейся от структуры α -раствора). Границы зерен, обладая большой свободной энергией (из-за дефектного строения), являются местом предпочтительного образования выделений.

Повышение прочностных свойств состаренных дуралюминов возникает в результате торможения движения дислокаций выделениями при распаде α -раствора. Наибольшее упрочняющее действие оказывают частицы дисперсной фазы (выделения) размером (0,01-0,1) мкм при расстоянии между ними (0,05-0,5) мкм. При образовании зон Гинье-Престона и метастабильной фазы θ размер их достаточно мал.

Зонное старение дуралюминов может быть естественным и искусственным (заканчивается на стадии образования зон ГП), по эффективности является только упрочняющим. Для него характерны большое относительное удлинение, не менее (10-15) %, значительное различие соотношения $\sigma_T / \sigma_B = 0,7-0,8$, высокое сопротивление удару и стойкость против коррозии под напряжением.

Фазовое старение может быть упрочняющим и разупрочняющим. Разупрочнение связано с перестариванием сплава в результате коагуляции θ' - и θ -фаз. Эффективность упрочняющего фазового старения по всем показателям ниже, чем после зонного старения.

Сравнительно с отожженным состоянием дуралюмины после термической обработки характеризуются следующими свойствами (Д16).

Вид обработки	σ_B , МПа	δ , %	НВ
Отжиг	230-250	10-12	50-60
Закалка	290-330	17-22	70-80
Старение (естественное)	430-470	15-18	110-120

При нагреве естественно состаренного дуралюмина до температуры 250 °С увеличивается

Термическая обработка дуралюминов имеет отличительные технологические особенности. Температура закалки составляет 500 °С, солидус (510-514) °С, то есть дуралюмины имеют очень узкий температурный интервал нагрева под закалку. Поэтому нагрев полуфабрикатов под закалку, как правило, производится в селитровых ваннах или в воздушных печах с принудительной циркуляцией воздуха (печи серии ПАП), с точной регулировкой температуры. После

нагрева полуфабрикаты не более чем за 10-20 секунд переносят в проточную воду с температурой не выше 10-30 °С.

Старение дуралюминов сопровождается резким изменением механических свойств, особенно после естественного старения, которому в практике отдают предпочтение. Оно обеспечивает максимальное упрочнение и более высокую стойкость против коррозии. Повышение температуры заметно ускоряет искусственное старение, хотя максимальное упрочнение оказывается меньше, чем при естественном старении. Чем выше температура искусственного старения, тем быстрее достигается относительный максимум упрочнения, поскольку процессы упрочнения начинают перекрываться процессами разупрочнения (образование θ -фазы, ее коагуляция).

3. Материалы, приборы и оборудование

Для выполнения работы используют образцы дуралюмина марки Д16, высокопрочного сплава В96ц1 в отожжённом состоянии, камерные печи, закалочный бак, твердомер ТК-2.

4. Задание на работу

Выполнить термическую обработку одного из алюминиевых сплавов – закалку и искусственное старение; измерить твердость образцов после разных режимов естественного и искусственного старения; рассмотреть под микроскопом микроструктуру сплавов; подготовить отчёт.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Нагреть образцы до температуры 500 °С (сплав Д16) или 485 °С (сплав В96ц1), выдержать 15 минут, закалить в воде.

5.2. Закаленные образцы подвергнуть искусственному старению при нагреве до температур 100-150-200-250-300-350 °С с выдержкой 15 минут и последующем охлаждении на воздухе.

5.3. Закаленные образцы подвергнуть искусственному старению при температурах 150-250 °С с выдержкой при этих температурах 15-30-45-60 минут, охлаждение на воздухе.

5.4. На коллекции образцов ранее подвергнутых закалке и естественному старению провести измерение твёрдости.

5.5. После каждого варианта обработки (отжиг, закалка, естественное и искусственное старение) провести измерение твёрдости (HRB) на предварительно откалиброванном твердомере.

6 Содержание отчёта

6.1. В отчете указать цель работы, краткие сведения из теории, описать материалы, использованное термическое оборудование и средства измерений. Привести результаты калибровки твердомера.

6.2. Результаты измерения твёрдости и исследование строения оформить в виде таблицы.

Таблица Результаты измерения твердости характер микроструктуры

Химический состав сплава	№ образцов	Режим старения		Изменение строения и свойств	
		$t_H, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд}}, \text{мин}$	HRB	Структура

6.3. По данным таблицы построить графики изменения твердости в зависимости от температуры и времени старения, зарисовать типовые структуры дуралюмина.

6.4. Сделать выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1.Какие сплавы, не претерпевающие полиморфных превращений, могут быть подвергнуты закалке и старению с целью их упрочнения?

2.Какова цель закалки сплавов, не испытывающих полиморфных превращений?

3.Укажите типы выделений при старении сплава Д16.

4.Как влияет закалка на свойства сплавов, не испытывающих полиморфных превращений?

5.Как и почему изменяются свойства при зонном старении?

6.Каковы закономерности влияния температуры и времени старения на механические свойства?

7.Что такое перестаривание?

8.Чем отпуск отличается от старения?

8. Список литературы

1. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.

Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - ISBN 978-5-7679-1056-4 – 21 экз.

2. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов / Б.А.Колачев, В.И.Елагин, В.А.Ливанов. – 4-е изд. перераб и доп. – М.:МИСИС, 2005. – 432 с. – ISBN 5-87623-123-2. – 10 экз.

3. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - *ISBN 5-7038-2651-9* – 13 экз.
4. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - *ISBN 978-5-94178-220-8* – 5 экз.
5. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - *ISBN 978-5-91559-068-6* – 55 экз.

Лабораторная работа № 3

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

1. Цель работы:

1.1. Познакомиться с видами предварительной термической обработки (ПТО) высокопрочных конструкционных легированных сталей, повышающих обрабатываемость резанием.

1.2. Исследовать структуру и свойства конструкционных сталей в зависимости от режимов предварительной термической обработки.

2 Краткие сведения из теории

Обрабатываемость резанием. В широком смысле под обрабатываемостью резанием понимают:

- Максимально допустимую скорость резания данного материала;
- Усилие резания;
- Качество обрабатываемой поверхности;
- Тип стружки, образующейся при резании.

Понятие «обрабатываемость резанием (ОР)» сложно, неопределённо и комплексно. ОР зависит от вида операции резания – точение, сверление, шлифование, фрезерование, хонингование, строгание и т.д. Исследования стойкости инструментальных сталей, показали, что разные инструментальные стали (P18, P9, P6M5 и другие) имеют разную стойкость при выполнении упомянутых выше операций резания и, естественно, при разных режимах резания. Для данной инструментальной стали в условиях массового производства оптимизация процессов резания является задачей комплексной, требующей выбора оптимальной структуры обрабатываемой стали, оптимального материала металлорежущего инструмента, оптимальной технологии резания (подачи, скорости резания и т.д.). Однако в первом приближении можно утверждать, что для данного класса обрабатываемых сталей, кроме аустенитных сталей, снижение твёрдости повышает обрабатываемость резанием.

Обрабатываемость сталей определяют сравнительными испытаниями путём обтачивания (сверления, фрезерования и т.д.) деталей из испытуемой стали и стали 45 при фиксированных режимах резания и материала режущего инструмента – обычно быстрорежущей стали или твёрдого сплава. Время между двумя переточками инструмента при резании нормализованной стали 45 в этом случае принимают за единицу и обозначают $K_{V \text{ б.ст.}} = 1,00$ (инструмент из быстрорежущей стали) или $K_{V \text{ тв. спл.}} = 1,00$ (инструмент из твёрдого сплава). Уменьшение времени между переточками при резании испытуемой стали свидетельствует о худшей её обрабатываемости резанием. Например, для стали 30ХМ $K_{V \text{ б.ст.}} = 0,3$ и $K_{V \text{ тв. спл.}} = 0,7$.

Смягчение среднеуглеродистых (0,3 – 0,5) % С сталей

Эти стали применяются для тяжело нагруженных, в том числе крупногабаритных деталей, а также для деталей оборудования нефтяных месторождений и высоко энергетического заводского оборудования. От этих сталей требуется высокая прокаливаемость, все они подвергаются обработке резанием, а некоторые и холодной штамповке. Т.е. все они нуждаются в смягчающей обработке на стадии изготовления деталей. Углеродистые стали с таким содержанием углерода могут иметь твёрдость от 143 НВ до 172 НВ в случае пластинчатого перлита и от 114 НВ до 154 НВ в случае зернистого перлита, что вполне достаточно для удовлетворительной обрабатываемости резанием. Но в случае легированных сталей высокой прокаливаемости такая твёрдость не достижима.

В зависимости от состава легированной стали, размеров обрабатываемой детали, объёмов производства, наличия соответствующего для данной ПТО термического оборудования в современном машиностроении применяют следующие виды ПТО:

1. **Традиционный отжиг** редко позволяет получать удовлетворительную (менее 190 НВ) твёрдость для обработки резанием (таблица 1).

Таблица 1. Твёрдость среднеуглеродистых сталей после полного отжига

Сталь	30	30ХМ	40ХМ	40ХН2М	40ХГНМ	50ХГМ	50ХГНМ
НВ	126	160	197	220	200	210	212

Однако анализ термокинетических диаграмм распада аустенита этих сталей показывает, что для них можно подобрать такие режимы охлаждения, которые обеспечат феррито – перлитную структуру и низкую твёрдость. Правда, технологически такие режимы охлаждения далеко не всегда могут быть реализованы на традиционном термическом оборудовании.

2. **Изотермический отжиг** имеет большие преимущества по сравнению с полным отжигом. Например, сталь 40ХН2М после изотермического отжига имеет твёрдость 207 НВ, а сталь 50ХГНМ и того меньше (183 НВ). При назначении продолжительностей изотермической выдержки следует учитывать возможную химическую неоднородность литых и горячедеформированных заготовок, что приводит к существенному (до 10 часов) увеличению длительности изотермической выдержки.

3. **Отжиг в межкритическом интервале температур** следует применять в случаях, когда изотермический отжиг не достигает цели. В этом случае отжиг делают в межкритическом интервале температур с последующей изотермической выдержкой при температурах ниже A_{C1} . Например, режим $t_n = 745^\circ\text{C}$ и $t_{\text{изо}} = 660^\circ\text{C}$ за 10 часов изотермической выдержки всегда обеспечивает твёрдость менее 200 НВ.

4. **Субкритический отжиг.** Для сталей с высокой прокаливаемостью формируют мартенситную структуру при воздушном охлаждении, а затем

нагрев до температур чуть ниже A_{c1} с выдержкой до 24 часов, что приводит к получению полностью сфероидизированной структуры.

3. Материалы, приборы и оборудование

Для выполнения работы используют образцы из легированных конструкционных сталей высокой прокаливаемости (40ХНМ, 38ХМЮА и др.) в состоянии поставки, камерные печи, закалочный бак, твердомер ТК-2, металлографический микроскоп МИМ 7 и химические реактивы для выявления структуры.

4. Задание на работу

Выполнить предварительную термическую обработку одной из сталей; измерить твердость образцов после разных режимов ПТО; рассмотреть под микроскопом и описать микроструктуру сталей; подготовить отчёт.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Используя справочную литературу при подготовке к лабораторной работе, для предложенной стали выписать данные, необходимые для проведения ПТО: критические точки стали; диаграмм изотермического распада аустенита, термокинетическую диаграмму, рекомендуемые режимы полного отжига стали и температуру нагрева под закалку.

5.2. Измерить твёрдость образцов в состоянии поставки. Принять решение о целесообразности проведения ПТО.

5.3. Используя справочные данные, назначить режимы ПТО: Полный отжиг, изотермический отжиг, отжиг в межкритическом интервале температур, субкритический отжиг. Для проведения последних трёх видов ПТО ориентироваться на длительности изотермических выдержек до 10 часов.

5.4. В соответствии с выбранными режимами ПТО выполнить все четыре варианта ПТО.

5.5. После каждого варианта обработки провести измерение твёрдости (HRC) образцов, прошедших ПТО, на предварительно откалиброванном твердомере. Подготовить шлифы, изучить и описать структуру.

6 Содержание отчёта

6.1. В отчете указать цель работы, краткие сведения из теории, описать материалы, использованное термическое оборудование и средства измерений. Привести результаты калибровки твердомера. Используя справочные данные привести в отчёте термокинетическую и изотермическую диаграммы распада аустенита, описать алгоритм выбора режимов ПТО.

6.2. Результаты измерения твёрдости и исследования структуры оформить в виде таблицы 2.

Таблица 2 Результаты измерения твердости характер микроструктуры

Марка стали и химический состав	№ образцов	Режим ПТО				Структура и свойств	
		t_H , °C	$\tau_{\text{выд}}$, мин	t_H изо, °C	$\tau_{\text{выд}}$, час	HRC	Структура

6.3. Сделать выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Назовите наиболее важные технологические свойства сталей.
- 7.2. Какое свойство углеродистых сталей контролирует обрабатываемость сталей резанием и давлением?
- 7.3. Для каких сталей применяют полный отжиг?
- 7.4. Почему не применяют полный отжиг для заэвтектоидных углеродистых сталей?
- 7.5. Как выбрать режимы изотермического отжига?
- 7.6. Почему изотермический отжиг в межкуритическом интервале температур обеспечивает более низкую твердость?
- 7.8. Какая разница в структуре стали после полного отжига и после субкритического отжига?

8. Список литературы

1. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): в 4-х ч. / под ред. Э.М. Соколова; С.А. Васина; Г.Г. Дубенского. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2007.
- Ч.1: Машиностроительные материалы : учебник для вузов / Е. В. Гринберг, Г. В. Маркова, В. А. Алферов.- 2007. – 475 с. - ISBN 978-5-7679-1056-4 – 21 экз.
2. [Арзамасов, Б.Н.](#) Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 .— 640с. - ISBN 5-7038-2651-9 – 13 экз.
3. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справочник: в 3 т. Т.2. Строение стали и чугуна/М.Л.Бернштейн [и др.] / под ред.: А.Г. Рахштадта, Л.М. Капуткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005 .— 528с. - ISBN 5-89594-104-4 – 15 экз.
4. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / С. И. Богодухов [и др.]; под общ. ред. С. И. Богодухова. — Старый Оскол: ТНТ, 2010 . — 559 с. - ISBN 978-5-94178-220-8 – 5 экз.
5. Основы технологии и прогрессивные методы термической обработки : учеб. пособие для вузов / И. А. Гончаренко [и др.]; ТулГУ; Акад. проблем качества РФ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. — 200 с. - ISBN 978-5-7679-1858-4. – 10 экз.

6. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учеб.-справ. руководство / В. А. Струк [и др.]. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 536 с. - *ISBN 978-5-91559-068-6* – 55 экз.