

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Технологии машиностроения»

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по материаловедению*

Часть 3

для студентов Политехнического института дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств, 12.03.01 – Приборостроение, 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии, 19.03.04 - Технология продукции и организация общественного питания, 20.03.01 - Техносферная безопасность, 23.03.01 - Технология транспортных процессов, 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 27.03.01 - Стандартизация и метрология, Института ядерной энергии и промышленности дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 20.03.02 – Природообустройство и водопользование, 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника, 14.05.02 - Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, 16.03.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения, 18.03.01 - Химическая технология

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 669.584 (046)
Т35

Р е ц е н з е н т:

А.Ю. Тараховский – к. т. Н, доцент, доцент кафедры «Технологии машиностроения»

Составители: Шрон Л.Б., Гордеева Э.С., Колесов А.Г., Ягьяев Э.Э.

Т35 Термическая обработка: методические указания к выполнению лабораторных работ материаловедению / Сост. Л.Б. Шрон, Э.С. Гордеева, А.Г. Колесов, Э.Э. Ягьяев – Севастополь СевГУ, 2020. Ч.З.– 30 с.

Методические указания к выполнению лабораторных работ материаловедению предназначены для студентов Политехнического института дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств, 12.03.01 – Приборостроение, 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии, 19.03.04 - Технология продукции и организация общественного питания, 20.03.01 - Техносферная безопасность, 23.03.01 - Технология транспортных процессов, 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 27.03.01 - Стандартизация и метрология, Института ядерной энергии и промышленности дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 0.03.02 – Природообустройство и водопользование, 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника, 14.05.02 - Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, 16.03.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения, 18.03.01 - Химическая технология.

Целью издания методических указаний является помощь студентам при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение».

УДК 669.584 (046)

Методические указания обсуждены и утверждены на заседании кафедры «Технологии машиностроения», протокол № 12 от 03.03.2020 г.

В авторской редакции

Изд. № 97/2020. Объем 2 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 9	Термическая обработка дуралюмина марки Д16	4
Лабораторная работа № 10	Термическая обработка стали	9
Лабораторная работа № 11	Закалка углеродистых сталей на мартенсит от различных температур нагрева	17
Лабораторная работа № 12	Микроструктура и свойства сталей после поверхностной закалки и химико-термической обработки	23
	Библиографический список	29
	Приложение	30

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДУРАЛЮМИНА МАРКИ Д16

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния закалки и старения на структуру и свойства дуралюмина на примере марки Д16.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и последующего охлаждения твердых металлических материалов с целью получения заданных свойств за счет изменения структуры. Существуют следующие основные виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение.

Различают два вида закалки: с полиморфными и без полиморфных превращений. Закалка с полиморфными превращениями характерна для черных металлов, без полиморфных – для большинства цветных.

Закалка без полиморфных превращений заключается в фиксации при комнатной температуре (после охлаждения) состояния, соответствующего состоянию при температуре нагрева под закалку.

Дуралюмин марки Д16 содержит (3,8 - 4,9) % Cu; (1,2 - 1,8) % Mg и (0,3 - 0,9) % Mn и подвергается упрочняющей термической обработке, заключающейся в закалке без полиморфных превращений с последующим старением. Диаграмма состояния Al – Cu приведена в приложении В.

В исходном отожженном состоянии сплав Д16 имеет двухфазную структуру: α -фазу и CuAl_2 в виде сетки по границам зерен α -фазы, где α – твердый раствор меди в алюминии, а CuAl_2 – химическое соединение (интерметаллид). В α -фазе при комнатной температуре согласно диаграмме состояния Al – Cu (приложение В) растворено 0,5 % меди, а в CuAl_2 – 3,5%. Закалка сплава Д16 производится при нагреве сплава до температуры 505 ± 10 °С, выдержке при этой температуре для сквозного прогрева и завершения фазовых превращений с последующим резким охлаждением (обычно в воде) до комнатной температуры.

В результате резкого переохлаждения в структуре не происходит выделения твердой дисперсной фазы CuAl_2 из α -фазы, т.к. не успевает произойти диффузионное перераспределение химических элементов в атомно-кристаллической решетке, и, как следствие, фиксируется твердый раствор α . По сравнению с равновесной структурой (0,5 % Cu) при комнатной температуре в такой α -фазе содержится 4 % меди, а следовательно, она является пересыщенным твердым раствором и поэтому обозначается α' (равно-

весная - α). Пересыщение α' - фазы создаётся при отсутствии полиморфных превращений в основном металле (алюминии). Таким образом, после закалки сплав имеет структуру α' - фазу.

В закалённом состоянии сплав обладает невысокой прочностью (твёрдостью) и хорошей технологической пластичностью (хорошо прокатывается, штампуется, в т.ч. в холодном состоянии).

Старение заключается в длительной изотермической выдержке (до 4...7 суток) закалённого сплава при климатических температурах (естественное или холодное старение), либо при повышенных (до 200 °С) температурах (искусственное или горячее старение) за гораздо более короткие сроки.

α' - фаза является термодинамически нестабильной и поэтому склонна к самопроизвольному распаду с выделением твёрдых дисперсных частиц CuAl_2 равномерно в объёме зёрен α -фазы.

Начальный период старения заключается в том, что в пересыщенном твердом растворе атомы меди, расположены в закаленном сплаве в случайных местах, собираются в определенных местах кристаллической решетки. В результате этого процесса внутри кристалла образуются зоны повышенной концентрации меди, так называемые зоны Гинье-Престона (зоны ГП). Они представляют собой тонкие пластинчатые, дискообразные образования толщиной несколько атомных слоев и протяженностью в несколько десятков атомных слоев. Содержание меди в зонах повышенное, но еще не отвечает формуле CuAl_2 .

После образования зон ГП повышение температуры или увеличение выдержки при повышенных температурах (например 100 °С), приводит к преобразованию зон ГП в фазу CuAl_2 .

Процесс распада протекает в несколько стадий с увеличением количества частиц CuAl_2 в зерне α фазы, пока содержание $[\text{Cu}]$ в α - фазе не достигнет практически равновесного значения (0,5 %). Такое строение сплава принято называть дисперсионной структурой, которая видна только под электронным микроскопом.

Поэтому термообработка, состоящая из закалки с последующим старением, получила название «дисперсионного твердения», т.к. упрочняющую фазу переводят в высокодисперсное состояние.

Сплавы, упрочнение которых осуществляется старением, называют стареющими.

Если с увеличением времени выдержки или температуры при искусственном старении происходит укрупнение частиц CuAl_2 и падение прочности металла, то этот процесс называют «перестариванием».

Прочность сплава (σ_b) после закалки с естественным старением составляет порядка 450 МПа.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ

- 3.1. Печи муфельные, нагретые до температур 505, 350, 200 и 100 °С.
- 3.2. Твердомер Роквелла со стальным шариковым индентором.
- 3.3. Образцы дуралюмина марки Д16 в количестве 6 штук.
- 3.4. Сосуд с водой для закалки дуралюмина.
- 3.5. Вспомогательные инструменты.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Изучить приведенный теоретический раздел.
- 4.2. Получить образцы в количестве 6 штук из сплава Д16.
- 4.3. Зарисовать таблицу 1 - Результаты эксперимента.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№ образца	HRB сплава исходная	Режим закалки			HRB сплава после закалки	Режим старения			HRB сплава после старения
		t, °C	τ, мин	Охлаждающая среда		t, °C	τ, мин	Охлаждающая среда	
1		505		вода		20	30	воздух	
2		505		вода		100	10	воздух	
3		505		вода		100	20	воздух	
4		505		вода		100	30	воздух	
5		505		вода		200	30	воздух	
6		505		вода		350	30	воздух	

4.4. Замерить твёрдость полученных образцов. Результаты измерения занести в таблицу 1.

4.5. Загрузить клещами последовательно 6 образцов в термическую печь с температурой 505 ± 10 °С. Выдержать образцы в печи в течение 10 - 15 мин.

4.6. Перенести нагретые образцы в сосуд с водой, где они охлаждаются до комнатной температуры.

4.7. Замерить твёрдость закалённых образцов. Результат занести в таблицу 1.

4.8. Произвести естественное старение одного закалённого образца, для чего выдержать его при комнатной температуре в течение 30 мин.

4.9. Замерить твёрдость естественно состаренного образца. Результат занести в таблицу 1.

4.10. Произвести искусственное старение пяти образцов:

4.10.1. Загрузить в печь с температурой 100 °С три закалённых образца и выдержать в печи в течение 10 минут (первый), 20 минут (второй), 30 минут (третий). После выдержки в печи образцы охладить на воздухе и измерить твёрдость. Результат занести в таблицу 1.

4.10.2. Загрузить в печь с температурой 200 °С один закалённый образец и выдержать в течение 30 минут. После выдержки образец охладить на воздухе и измерить твёрдость. Результат занести в таблицу 1.

4.10.3. Загрузить в печь с температурой 350 °С один закалённый образец и выдержать в течение 30 минут. После выдержки образец охладить на воздухе и измерить твёрдость. Результат занести в таблицу 1.

4.11. По результатам эксперимента построить графики зависимости твердости сплава от времени старения ($\tau = 10, 20, 30$ минут) при температуре старения 100 °С и от температуры старения ($t = 100, 200, 350$ °С) при выдержке 30 минут.

4.12. Изобразить график термической обработки сплава Д16 с обозначением структурных составляющих на всех этапах термообработки.

4.13. Сделать выводы по работе.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Таблица 1- Результаты эксперимента.

5.4. Рисунок 1 - График зависимости твёрдости от времени выдержки при старении при температуре 100 °С (время выдержки 10, 20, 30 мин).

5.5. Рисунок 2 - График зависимости твёрдости от температуры старения с выдержкой 30 мин. (температура старения 20, 100, 200 и 350 °С).

5.6. График термообработки сплава Д16.

5.7. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. В чем сущность закалки дуралюминов и ее цель?

6.2. Как выбрать температуру нагрева сплава под закалку?

6.3. Какие свойства приобретает сплав Д16 после закалки?

6.4. В чем сущность естественного и искусственного старения и его цель?

6.5. Какая разница между искусственным и естественным старением?

6.6. Как изменятся свойства сплава в процессе старения?

6.7. Что такое перестаривание?

6.8. Почему фаза состава CuAl_2 называется упрочняющей?

6.9. В чем разница в структуре и свойствах сплава Д16 в отожженном и состаренном состояниях?

6.10. Укажите на диаграмме Al - Cu фазовые линии и критические точки, их координаты. С каким содержанием меди, сплавы упрочняются термообработкой?

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния различных видов термической обработки (отжига, нормализации, закалки, отпуска) на структуру и свойства углеродистой стали.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Термическая обработка является важной операцией на различных этапах технологического цикла изготовления многих деталей. Сочетанием химического состава (марки) стали и выбором необходимого способа термической обработки можно достичь наиболее высоких механических свойств деталей и машин.

Термическая обработка состоит из трех циклов: нагрев материала до расчетной температуры, выдержка при этой температуре и охлаждение с заданной скоростью. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C, по которой определяют температуру нагрева, представлена в приложении Г. Различают следующие виды термической обработки:

- Отжиг
- Нормализацию
- Закалку
- Отпуск.

Отжиг и иногда нормализация относятся к предварительной термообработке, которая используется для заготовок. Закалка и последующий отпуск относятся к окончательной термообработке, которая используется для готовых изделий.

Отжиг заключается в нагреве стали до расчетных температур, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении вместе с печью. Нагрев при отжиге может производиться ниже или выше температур фазовых превращений с целью приведения сплава в структурно равновесное состояние или близкое к нему.

Различают отжиг I и II рода.

Отжиг I рода проводят, как правило, ниже температур фазовых превращений. К отжигу первого рода относят:

- отжиг для снятия остаточных напряжений (для отливок, сварных изделий, деталей после обработки резанием, где из-за неравномерного охлаждения, неоднородной пластической деформации возникли остаточные напряжения);

- рекристаллизационный отжиг (для снятия наклепа холоднодеформированной стали);

- диффузионный отжиг (для слитков и отливок из легированной стали с целью получения однородного химического состава).

Отжиг II рода:

Различают следующие виды отжига II рода: полный, неполный, изотермический.

После отжига углеродистой стали образуются структуры, указанные на диаграмме состояния железо – цементит. Отожженная сталь обладает низкой твердостью и прочностью при высокой пластичности. Фазовая перекристаллизация, происходящая при отжиге, измельчает зерно стали и устраняет различные структурные дефекты.

Отжиг в промышленности в большинстве случаев является предварительной термической обработкой. Отжигу подвергают отливки, поковки, прокат для улучшения обрабатываемости резанием.

Полный отжиг заключается в нагреве доэвтектоидной стали на $(30 - 50)^\circ\text{C}$ выше точки A_{C3} , выдержке при этой температуре для полного прогрева и завершения фазовых превращений в объеме металла и последующем медленном охлаждении. При этом происходит полная фазовая перекристаллизация стали.

При нагреве до температуры выше точки A_{C3} на $(30 - 50)^\circ\text{C}$ образуется аустенит, характеризующийся мелким зерном, и поэтому при охлаждении возникает мелкозернистая структура, обеспечивающая высокую вязкость и пластичность.

Полному отжигу обычно подвергают сортовой прокат, поковки и фасонные отливки из доэвтектоидных сталей.

Для заэвтектоидных сталей полный отжиг не производят, т.к. после него цементит (Fe_3C) выпадает по границам зерен пластинчатого перлита в виде сетки, что охрупчивает сталь.

Неполный отжиг отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры (немного выше точки A_{C1}).

Для доэвтектоидных сталей неполный отжиг иногда применяют для повышения обрабатываемости резанием. Однако при неполном отжиге происходит частичная перекристаллизация стали только вследствие превращения перлита в аустенит. Феррит не подвергается перекристаллизации, образуется разнотернистая структура: зерна перлита мелкие, а феррита – крупные. В связи с этим неполный отжиг доэвтектоидных сталей применяют в случае, если исходная заготовка не имеет очень крупного зерна.

Для заэвтектоидных сталей применяют только неполный отжиг. В этих сталях нагрев несколько выше точки A_{C1} (обычно на $(10 - 30)^\circ\text{C}$) вызывает практически полную фазовую перекристаллизацию стали и позво-

ляет получить зернистую структуру перлита вместо пластинчатой. Такой отжиг называют сфероидизацией или **отжигом на зернистый перлит**.

Охлаждение при сфероидизации медленное. Оно должно обеспечить распад аустенита на феррито-карбидную структуру, сфероидизацию и коагуляцию образовавшихся карбидов, при охлаждении с печью до 620 – 680 °С, дальнейшее охлаждение до комнатной температуры происходит на воздухе.

Сталь со структурой зернистого перлита имеет более низкую твердость, чем со структурой пластинчатого перлита, поэтому обрабатывается резанием лучше.

Отжигу на зернистый перлит подвергают заготовки из инструментальных и подшипниковых сталей.

Изотермический отжиг. В этом случае сталь нагревают, как и для полного отжига, и сравнительно быстро охлаждают (переносом в другую печь) до температуры ниже точки A_{C1} (обычно ≈ 650 °С) и назначают изотермическую выдержку для полного распада аустенита, после чего следует охлаждение на воздухе.

Преимущество изотермического отжига заключается в уменьшении длительности процесса и получении более однородной структуры. Изотермический отжиг улучшает обрабатываемость резанием, чистоту поверхности и уменьшает деформацию при последующей термической и химико-термической обработке.

Этот вид отжига используют для поковок и других заготовок небольших размеров из легированных сталей.

Нормализация заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, превышающей точку A_{C3} на 50 °С, а заэвтектоидной стали выше A_{Cm} также на 50 °С (до полной аустенизации), непродолжительной выдержке для прогрева стали и завершения фазовых превращений и охлаждении на воздухе. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную при литье, прокатке, ковке или штамповке.

Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига для ускорения процесса.

Для заготовок из среднеуглеродистых сталей нормализацией заменяют более дорогую термообработку – улучшение (закалка + высокий отпуск). По сравнению с отожженной сталью нормализованная сталь имеет более высокую твердость, а по сравнению с улучшенной меньшую пластичность и ударную вязкость.

Для заэвтектоидных сталей нормализацию проводят для устранения цементитной сетки, образовавшейся при медленном охлаждении.

Закалка – это вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали выше критической точки (A_{C3} для доэвтектоидных и A_{C1} для заэвтектоидных сталей) на $(30 - 50) ^\circ\text{C}$, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью равной или больше критической. Критическую скорость закалки обеспечивает охлаждающая среда вода (для углеродистых сталей) или масло (для легированных сталей). Целью закалки является достижение максимальной твердости. Основной структурой закаленной стали является мартенсит закалки, который образуется из аустенита при охлаждении с критической скоростью закалки. Мартенсит закалки – это пересыщенный твердый раствор углерода в Fe- α .

Закалка, при которой в результате нагрева образуется только аустенит, называется **полной закалкой**. Закалка, при которой при нагреве стали образуется наряду с аустенитом феррит (в доэвтектоидных сталях) или цементит (в заэвтектоидных сталях) называется **неполной закалкой**.

Доэвтектоидные стали с исходной структурой феррит+ перлит проходят полную закалку. При нагреве эти стали приобретают аустенитную структуру, которая при последующем охлаждении со скоростью, равной или выше критической превращается в мартенсит закалки.

Заэвтектоидные стали с исходной структурой перлит + цементит проходят неполную закалку. Их нагревают несколько выше A_{C1} на $(30 - 50 ^\circ\text{C})$. При таком нагреве образуется структура аустенит + цементит. После охлаждения структура закаленной стали состоит из мартенсита закалки и нерастворившихся карбидов (цементита).

Таким образом, для доэвтектоидных сталей производится полная закалка, а для заэвтектоидных – неполная закалка.

В углеродистых сталях, которые содержат углерода более 0,6% весь аустенит, который образовался при нагреве, при последующем охлаждении со скоростью, равной или больше критической, не превратится в мартенсит закалки, так как температура конца мартенситного превращения в этих сталях ниже комнатной температуры. Часть аустенита остается не превращенной в мартенсит. Такой аустенит называется остаточным аустенитом. Поэтому структура заэвтектоидной стали после закалки будет состоять из мартенсита закалки, цементита и остаточного аустенита.

Отпуск – это вид термической обработки, который заключается в нагреве закаленной стали ниже критической точки A_{C1} , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью (углеродистые стали охлаждают на воздухе). Отпуск является окончательной операцией термической обработки, проводится после закалки для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств и снятия закалочных напряжений и получения равновесного состояния.

В зависимости от температуры отпуска различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск проводится при температуре 150 – 200 °С. При этом виде отпуска снижаются внутренние напряжения, повышается прочность и немного улучшается вязкость стали. Структура стали после низкого отпуска называется мартенситом отпуска, обладающим высокой износостойкостью. Твердость после этого вида отпуска HRC 58 – 63 (для сталей с содержанием углерода 0,5 – 1,3 %). При этом виде отпуска твердость наибольшая из всех видов отпуска. Низкому отпуску подвергается режущий и измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей.

Средний отпуск проводится при температуре 350 – 500 °С. Такой вид отпуска обеспечивает стали высокий предел упругости, предел выносливости и релаксационную стойкость. Структура носит название троостит отпуска, обладающий хорошими упругими свойствами. Твердость после среднего отпуска HRC 40 – 50 (для сталей с содержанием углерода 0,45 – 0,8 %). Такому отпуску подвергают пружины, рессоры, штампы.

Высокий отпуск проводится при температуре 500 – 650 °С. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Структура носит название сорбит отпуска, который обладает хорошей пластичностью и ударной вязкостью, что повышает работоспособность изделия в условиях ударных и знакопеременных нагрузок. Твердость после высокого отпуска HRC 35 – 25 (для сталей с содержанием углерода 0,3 – 0,5 %).

Закалка в сочетании с высоким отпуском называется **термическим улучшением**. Улучшение в значительной степени повышает конструкционную прочность стали, уменьшая чувствительность к концентраторам напряжений, снижая температуру верхнего и нижнего порога хладноломкости стали. Такому отпуску подвергаются различные конструкционные детали – валы, шестерни и т. д. из среднеуглеродистых сталей.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ

- 3.1. Термические печи для нагрева стали.
- 3.2. Часы.
- 3.3. Вспомогательные инструменты.
- 3.4. Закалочные ванны с водой.
- 3.5. Твердомер ТК-2.
- 3.6. Набор образцов из углеродистой стали марки У8 в отожженном состоянии.
- 3.8. Наждачная бумага или круг для удаления окалины и обезуглероженного слоя с термически обработанных образцов.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить приведенный теоретический раздел.

4.2. Зарисовать таблицу экспериментальных данных – таблицу 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента термической обработки углеродистой стали марки У8

№	Вид термообработки	Температура нагрева, °C	Время нагрева, мин	Охлаждающая среда	Твердость		Микроструктура
					HRB	HRC	
1.	Отжиг			Печь			
2.	Нормализация			Воздух			
3.	Закалка			Вода			
4.	Закалка + низкий отпуск			Воздух			
5.	Закалка + средний отпуск			Воздух			
6.	Закалка + высокий отпуск			Воздух			

4.3. По маркировке стали выданных образцов определить среднее содержание углерода и с использованием стальной части диаграммы состояния «Железо-углерод» (приложение Г) назначить температуры нагрева для отжига, нормализации, закалки и отпуска. Данные записать в таблицу 1.

4.4. Замерить размеры полученных образцов.

4.5. Рассчитать время выдержки образцов в печи по формуле:

$$t_0 = t_n + t_3 \text{ (мин)} \quad (7)$$

где t_0 – общее время нагрева, мин; t_n – время нагрева до заданной температуры, мин.;

$$t_n = 0,25 \times D \times k_1 \times k_2 \times k_3, \quad (8)$$

где D – размерная характеристика изделия (минимальный размер максимального сечения), мм; k_1 – коэффициент среды: для газа (воздуха) – 2; соли – 1; k_2 – коэффициент формы: для шара – 1; цилиндра – 2; параллелепипеда – 2,5; пластины – 4); k_3 – коэффициент равномерности нагрева: всесторонний нагрев – 1; односторонний – 4).

$t_3 = 1$ мин. – для углеродистой стали и 2 мин. – для легированной стали.

Данные расчета занести в таблицу 1.

4.6. Зачистить торцевую часть образцов наждачной бумагой до металлического блеска.

4.7. Измерить твердость образцов на приборе ТК-2 (шкала В) в отожженном состоянии и результаты занести в таблицу 1.

4.8. Произвести закалку и нормализацию образцов из углеродистой стали, для чего:

4.8.1. Используя вспомогательный четыре образца установить на металлическую подставку в термической печи с температурами, отвечающими температурам закалки и нормализации углеродистой стали.

4.8.2. Выдержать образцы в течение рассчитанного времени.

4.8.3. С помощью вспомогательного инструмента погрузить три образца в воду (закалка) и один на воздух (нормализация).

4.9. После охлаждения до комнатной температуры одну из поверхностей термически обработанных образцов зачистить наждачной бумагой до металлического блеска и измерить твердость образцов после закалки и нормализации (шкала С). Результаты занести в таблицу 1.

4.10. Произвести отпуск 3-х закаленных образцов для чего:

4.10.1. С помощью вспомогательного инструмента закаленные образцы установить на железную подставку в термическую печь с температурами, отвечающими температурам высокого (600°C), среднего (400°C) и низкого (200°C) отпуска.

4.10.2. Выдержать образцы в печи в течение 10 мин.

4.10.3. С помощью вспомогательного инструмента поочередно поместить образцы на мраморные плитки для охлаждения на воздухе.

4.11. После охлаждения до комнатной температуры одну из поверхностей термически обработанных образцов зачистить наждачной бумагой и измерить твердость образцов после отпуска (шкала С). Результат занести в таблицу 1.

4.12. С помощью справочных таблиц перевести твердость полученных образцов в единую систему (в HRC) и построить графики зависимости твердости образцов от вида термической обработки.

4.13. Используя теоретический раздел методического указания, указать какие микроструктуры будет иметь сталь У8 после каждого вида термической обработки. Результаты занести в таблицу 1.

4.14. Сделать выводы по работе.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Расчет времени выдержки образцов в печи под закалку.

5.3. Таблица 1. Результаты эксперимента термической обработки углеродистой стали.

5.4. Рисунок 1. График зависимости твердости углеродистой стали У8 от вида термической обработки.

5.6. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Какие виды термообработки относятся к предварительной термообработке?
- 6.2. Какие виды отжига относятся к отжигу I рода?
- 6.3. Какие виды отжига относятся к отжигу II рода?
- 6.4. Назовите цели и задачи отжига II рода.
- 6.5. Как подобрать температуру под полный отжиг для доэвтектоидных сталей?
- 6.6. Почему полный отжиг не используется для заэвтектоидных сталей?
- 6.7. Что такое сфероидизация и для каких целей она производится?
- 6.8. Назовите цели и задачи закалки стали.
- 6.9. Как называется структура закаленной стали и при каких условиях она образуется?
- 6.10. Как подобрать температуру под закалку для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей?
- 6.11. Назовите цели и задачи отпуска стали.
- 6.12. Разновидности отпуска. Структуры и свойства, характерные для каждого вида отпуска.

ЗАКАЛКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА МАРТЕНСИТ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР НАГРЕВА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить технологию закалки, микроструктуру и твердость стали, закаленной от различных температур нагрева.

1.2. Приобрести навыки назначения оптимальной закалочной температуры для сталей с различным содержанием углерода.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Закалка на мартенсит заключается в медленном нагреве доэвтектоидной стали до температуры на $(30 - 50)^\circ\text{C}$ выше точки A_{C3} (полная закалка) и заэвтектоидной на $(30 - 50)^\circ\text{C}$ выше точки A_{C1} (неполная закалка), выдержке при этих температурах и последующем быстром охлаждении со скоростью выше критической до комнатной температуры.

Выдержка при постоянной температуре нужна для выравнивания температуры, микроструктуры между поверхностью и сердцевиной детали (неравномерность возникает из-за низкой теплопроводности стали)

Охлаждающей средой для углеродистых сталей служит пресная вода, а для легированных – минеральное масло или водные растворы полимеров.

Оптимальные температуры под закалку определяются по формулам:

$$t_0 = A_{C3} + (30 - 50)^\circ\text{C} \quad \text{и} \quad t_0' = A_{C1} + (30 - 50)^\circ\text{C},$$

где t_0 и t_0' - оптимальные температуры нагрева под закалку для доэвтектоидной и заэвтектоидной стали соответственно; A_{C3} и A_{C1} – критические точки стали.

В результате такой обработки образуется мелкоигольчатый мартенсит, который является основной структурной составляющей закаленной стали. Из-за резкого искажения (тетрагональности) кристаллической решетки мартенсита сильно увеличивается плотность дислокаций стали – главной цели закалки.

Способность стали приобретать максимальную твердость после закалки называется закаливаемостью. Она зависит от содержания углерода в стали, а, следовательно, и в мартенсите, что показано на рисунке 1.

Легирующие элементы в стали оказывают на нее незначительное влияние.

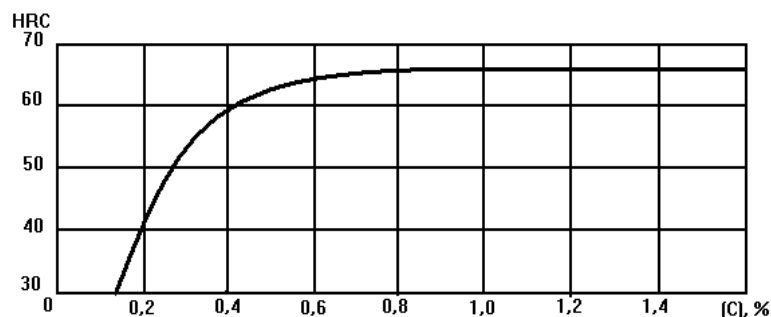


Рис. 1 – Зависимость твердости углеродистых сталей после закалки от содержания в ней углерода (кривая закаливаемости)

Если микроструктурные превращения (изменения), происходящие при нагреве стали, легко проследить по диаграмме железо-углерод, то при закалке это можно сделать с помощью мартенситных кривых, изображенных на рисунке 2.

Превращение аустенита в мартенсит совершается с большой скоростью, но не сразу по всему объему. Поэтому, чтобы весь аустенит превратился в мартенсит, требуется некоторое время. Температура начала и конца превращения зависит от содержания углерода в стали (рисунок 2).

Для каждой марки стали превращение начинается всегда при одной и той же температуре (линия M_n) и заканчивается при другой постоянной температуре (линия M_k).

Низкоуглеродистые стали не закалываются. Это объясняется тем, что превращения аустенита в мартенсит, например, для стали 20, завершается при температуре 350°C . При такой высокой температуре подвижность атомов углерода сохраняется еще сравнительно высокой, и во время дальнейшего охлаждения до комнатной температуры, образовавшийся мартенсит превратится в перлит + феррит, а, следовательно, не достигается высокая твердость у стали.

Структуры стали после закалки: 0 - 0,2%С – Ф+П; 0,25 - 0,6%С – M_3 ; 0,6 - 0,8%С – $M_3 + A_{\text{ост}}$; 0,8 - 1,6%С – $M_3 + Ц + A_{\text{ост}}$

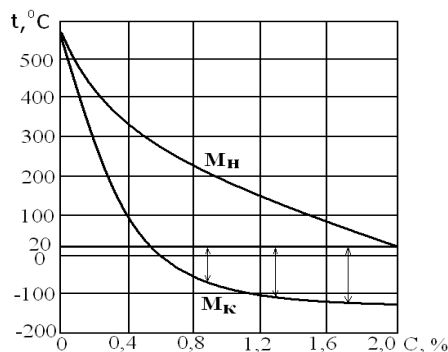


Рис. 2 – Влияние содержания углерода в стали на температуры начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения (мартенситные кривые)

В доэвтектоидной стали с увеличением температуры аустенизации растут размеры зерен аустенита за счет слияния сравнительно мелких в крупные. Если зерно аустенита выросло до крупных размеров, то и получаемый после закалки мартенсит будет крупноиглольчатым. Сталь с крупноиглольчатым мартенситом по сравнению с мелкоиглольчатым имеет пониженные механические свойства, особенно ударную вязкость.

В заэвтектоидной стали при нагреве выше оптимальной закалочной температуры (до A_{Cm}) зерно аустенита увеличивается за счет растворения в нем цементита и, как следствие, в нем растет содержание углерода. При температуре A_{Cm} происходит полное растворение цементита, а при дальнейшем нагреве более резкий рост зерен аустенита за счет слияния более мелких в крупные.

В результате после закалки в воде ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) образуется крупноиглольчатый мартенсит и остаточный аустенит, количество которого тем больше, чем выше температура перегрева (по правилу отрезков). Как следствие, понижается твердость, ударная вязкость и шлифуемость закаленной стали.

Дефекты зеренной структуры устраняются повторным нагревом до оптимальной температуры (полный отжиг или нормализация). В то же время дефекты типа «пережог» являются неисправимым браком.

Недогрев возникает в том случае, если доэвтектоидная сталь нагревается до межкритического интервала температур ($A_{C1} - A_{C3}$), в котором наряду с аустенитом присутствует феррит. После закалки происходит $A \rightarrow M$ превращение, а феррит остается в структуре стали, снижая ее твердость. Поэтому из-за недостаточной твердости закалку стали от межкритического интервала температур не производят.

При нагреве заэвтектоидной стали ниже оптимальной закалочной температуры в аустените не успевает в полной мере раствориться углерод, содержащийся в перлите. В результате снижается твердость мартенсита и стали. Недогревы исправляются повторным нагревом до оптимальных закалочных температур.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 3.1. Термические печи.
- 3.2. Сосуд с водой.
- 3.3. Твердомер Роквелла.
- 3.4. Секундомер.
- 3.5. Клещи и мраморные плитки.
- 3.6. Наждачная бумага.
- 3.7. Набор образцов из сталей марок 10, 50, У12 в отожженном состоянии (по 4 образца каждой марки);

- 3.8. Плакаты:
- 3.8.1. Диаграмма состояния «железо-углерод» (смотри приложение А)
- 3.8.2. Влияние содержания углерода на механические свойства стали в отожженном состоянии.
- 3.8.3. Влияние содержания углерода на твердость закаленных сталей.
- 3.8.4. Мартенситные кривые углеродистых сталей.
- 3.8.5. Соотношение чисел твердости.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Изучить настоящие методические указания.
- 4.2. По маркировке сталей установить среднее содержание углерода в исследуемых образцах сталей; с использованием диаграммы состояния «железо-углерод» определить численные значения критических точек, структурные составляющие при комнатной температуре в отожженном состоянии, а также вычислить оптимальные температуры закалки. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемых марок сталей в отожженном состоянии

Марка стали	(C), %	Критические точки, °C			Структура в отожженном состоянии при 25 °C	HRB	Оптимальная температура закалки, °C
10 50 У12							

- 4.3. Зачистить торцевую часть отожженных образцов наждачной бумагой, измерить их твердость. Данные занести в таблицу 1.
- 4.4. С помощью клещей загрузить в термические печи, нагретые до температуры 600, 780, 840 и 900 °C по одному отожженному образцу из исследуемых сталей.
- 4.5. Выдержать загруженные образцы при заданных температурах в течение 10 минут (в среднем 1 мин на 1 мм сечения образца).
- 4.6. С помощью клещей перенести нагретые образцы в сосуд с водой.
- 4.7. После охлаждения образцы вынуть из сосуда и протереть ветошью, а затем зачистить наждачной бумагой и измерить твердость. Полученные результаты твердости занести в таблицу 2.
- 4.8. Используя таблицу «Соотношение чисел твердости» перевести значения твердости HRB отожженных образцов (таблица 1) в значение твердости HRC. Заполнить таблицу 2.

Таблица 2

**Значения твердости исследуемых марок сталей в отожженном
и закаленном состояниях**

Марка стали	HRC				
	После отжига от оптимальной температуры нагрева	После закалки от температур, °C			
		600	780	840	900
10					
50					
У12					

4.10. По результатам эксперимента построить график зависимости твердости HRC от температуры нагрева сталей под закалку с нанесением на ось абсцисс значений критических точек сталей.

4.11. По результатам эксперимента построить графики зависимости твердости HRC от содержания углерода в стали при закалке от оптимальной температуры.

4.12. Сделать выводы по работе, объяснив причины изменения твердости стали при закалке от различных температур нагрева.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Таблица 1 – Характеристики исследуемых марок стали

5.4. Таблица 2 – Значения твердости исследуемых марок сталей в отожженном и закаленном состояниях.

5.5. Рисунок 1 – Графики зависимости твердости HRC от температуры нагрева сталей под закалку.

5.6. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Что называется закалкой на мартенсит и ее цель?

6.2. Что понимается под критическими точками в сталях и как они обозначаются?

6.3. Что называется мартенситом закалки? Каковы особенности строения его кристаллической решетки и микроструктуры?

6.4. В чем причина того, что для доэвтектоидных сталей применяют полную, а для заэвтектоидных сталей неполную закалку?

6.5. Что такое закаливаемость стали и от чего она зависит?

6.6. Почему низкоуглеродистые стали не закаливаются?

6.7. Почему в сталях, содержащих более 0,6 % углерода, в закаленных микроструктурах появляется остаточный аустенит?

6.8. Какова причина высокой твердости мартенсита закалки?

6.9. Какова связь размеров зерна аустенита с микроструктурой мартенсита и свойствами стали?

6.10. Какова формула для расчета оптимальных закалочных температур для до- и заэвтектоидных сталей?

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния основных способов поверхностного упрочнения на структуру и свойства металлов и сплавов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Разрушение металла под действием статических и динамических нагрузок, трения, усталостных напряжений и коррозии начинается обычно с поверхностных слоев. Поэтому, одним из основных направлений повышения надежности и долговечности машин и механизмов является поверхностное упрочнение нагруженных деталей. Добиться этой цели можно тремя методами: наклепом, термической обработкой и изменением химического состава поверхностных слоев металла. Последний метод упрочнения стальных деталей используют в комбинации с термообработкой и называют химико-термической обработкой (ХТО).

Все виды упрочнения уменьшают абразивный износ деталей (из-за повышения твердости) и склонность к усталостному разрушению (из-за появления остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое).

2.1. Поверхностная закалка может осуществляться с газопламенного и индукционного (ТВЧ) нагрева. Наиболее распространенным видом является закалка с нагревом ТВЧ – производится для деталей из углеродистых и низколегированных сталей с содержанием углерода 0,4 – 0,6 % после механической обработки заготовок, подвергнутых отжигу или нормализации. Нагрев поверхностных слоев до 840 – 1020 °С проводится в течение нескольких секунд с помощью токов высокой частоты (от 500 до 10⁶ Гц) в индукторе, имеющем форму детали. Последующее охлаждение струями воды приводит к закалке слоя толщиной 0,5 – 5 мм (зона нагрева выше А_{с3}). После низкого отпуска, выполняемого для снятия остаточных напряжений, структура упрочненного слоя представляет из себя отпускаемый мелкоигльчатый мартенсит с твердостью (HRC=50 – 60). Сердцевина детали, не прошедшая закалку, остается вязкой и имеет структуру троостита, сорбита или перлита с ферритом (HRC=20 – 30), где снижается скорость распространения хрупких трещин. Этот способ используется, главным образом, для упрочнения деталей простой формы в массовом производстве (валики, оси, пальцы и т.д.), отличается высокой производительностью,

поддается автоматизации. Упрочнение после закалки ТВЧ сохраняется при нагреве до 200 – 220 °С.

2.2. Цементация – разновидность ХТО, используемая для поверхностного упрочнения деталей из низкоуглеродистых сталей ($C \leq 0,25\%$), имеющих исходную структуру феррита с небольшим количеством перлита (после нормализации и отжига).

При нагреве деталей до 910 – 930 °С и выдержке при этой температуре в течение 6 – 12 часов в атмосфере СО или CH_4 происходит насыщение поверхности стали углеродом (до 1 – 1,2 %). Эффективная толщина цементованного слоя (от поверхности до участков с концентрацией углерода более 0,45 %) составляет 0,5 – 2 мм. Простейшая термообработка после цементации – закалка и низкий отпуск.

После такой обработки структура поверхностного слоя – высокоуглеродистый мартенсит, цементит и остаточный аустенит (HRC=58-62). По мере удаления от поверхности и снижения концентрации углерода твердость мартенсита снижается, на глубине более прокаливаемости стали структура переходит в троостит, сорбит и ферритно-перлитную смесь с пониженной твердостью (HRC=15-20), но высокой вязкостью. Процесс цементации сравнительно длителен, при нагреве и закалке возможно коробление деталей. В случае нагрева в процессе эксплуатации выше 200 – 220 °С цементованный слой разупрочняется.

2.3. Азотирование – способ ХТО, используемый для упрочнения тяжело нагруженных деталей, особенно из сталей, легированных хромом, алюминием, молибденом и другими нитридообразующими элементами (наиболее типичная сталь – 38Х2МЮА). Насыщение поверхностного слоя детали азотом после термического улучшения (закалка, высокий отпуск) и окончательной механической обработки проводят в атмосфере NH_3 при температуре 500 – 600 °С. Время обработки для получения упрочненного слоя толщиной 0,3 – 0,6 мм составляет 20 – 60 часов.

В структуре стали 38Х2МЮА после азотирования различается светлый нетравящийся слой толщиной 0,01 – 0,03 мм из α - и γ -фаз (твердые растворы на основе нитридов с содержанием азота 6 – 12 %), ниже – серый слой из смеси α - и γ -фаз с азотистым сорбитом, переходящий в структуру сорбита отпуска с содержанием азота менее 0,015 %.

Твердость азотированного слоя для стали 38Х2МЮА составляет HV 1000 – 1200, для 40Х2НМА и 18Х2Н4ВА - HV 600 – 950 .

Помимо более существенного повышения твердости и усталостной прочности (по сравнению с цементацией и поверхностной закалкой с нагревом ТВЧ) азотирование значительно увеличивает коррозионную стойкость поверхностного слоя. Положительное влияние этого вида обра-

ботки сохраняется при нагреве детали до 550 – 600 °С. Однако длительность и стоимость азотирования выше, чем для других способов упрочнения.

Для поверхностного упрочнения различных деталей из конструкционных и инструментальных материалов широко используется цианирование и нитроцементация, представляющая из себя комбинацию цементации и азотирования.

2.4. Нитроцементация (цианирование) - процесс одновременного насыщения поверхностного слоя стали углеродом и азотом. При проведении процесса в газовой среде он носит название нитроцементация, а в расплавленных солях – цианирование.

Нитроцементация производится при температуре 840 – 860 °С в газовой среде, состоящей из науглераживающего газа и аммиака. Продолжительность процесса 6 – 10 часов. Основное назначение нитроцементации – повышение твердости и износостойкости стальных изделий. Толщина нитроцементованного слоя обычно 0,2 – 0,8 мм. После нитроцементации следует закалка либо непосредственно из печи с подстуживанием до 800 – 825 °С, либо после повторного нагрева. После закалки проводится отпуск при температуре 160 – 180 °С.

При оптимальных условиях насыщения структуры нитроцементованного слоя должны состоять из мелкокристаллического мартенсита, небольшого количества мелких равномерно распределенных карбонитридов и 25 – 30 % остаточного аустенита. Твердость слоя после закалки и низкого отпуска HRC=58-64 (HV 570 – 690).

Нитроцементации обычно подвергают детали сложной конфигурации, склонных к короблению.

Цианирование может быть низкотемпературное, среднетемпературное и высокотемпературное.

Низкотемпературное цианирование проводят при температуре 500 - 530 °С в цианистых солях (KCN, NaCN). В результате такой обработки на поверхности возникает тонкий карбонитридный слой $Fe_3(N,C)$, обладающий хорошим сопротивлением износу. Для получения слоя толщиной 10 – 15 мкм продолжительность процесса составляет 0,5 – 3 часа.

При этом процессе поверхностный слой насыщается в основном азотом и в меньшей степени углеродом.

Такой процесс используется для инструмента из быстрорежущей стали (тенифер-процесс).

Среднетемпературное – проводят при температуре 820 – 860 °С в расплавленных солях, содержащих NaCN. Для получения слоя толщиной 0,15 – 0,35 мм продолжительность процесса составляет 30 - 90 мин. Насыщение при таком процессе происходит в основном азотом (0,8 – 1,2 %), в

меньшей степени углеродом (0,7 %). Цианирование при указанных сравнительно невысоких температурах позволяет выполнить закалку непосредственно из цианистой ванны. После закалки следует низкотемпературный отпуск при 180–200 °С. Твердость цианированного слоя после термической обработки $\approx$ HRC=58–62. Цианированный слой по сравнению с цементованным обладает более высокой износостойкостью и эффективно повышает предел выносливости. Этот вид цианирования применяют для упрочнения мелких деталей.

Высокотемпературное (глубинное) цианирование производят при температуре 930 – 950 °С в солях, содержащих NaCN. Этот процесс проводят для получения слоя большой толщины (0,5 – 2 мм). Время выдержки изделий в ванне для получения указанной толщины составляет 1,5 – 6 часов. При таких высоких температурах сталь в большей степени насыщается углеродом (0,8 – 1,2 %) и в меньшей степени азотом (0,2 – 0,35 %). Строение цианированного слоя аналогично цементованному. После высокотемпературного цианирования деталь охлаждают на воздухе, а затем для измельчения зерна закаливают в соляной ванне или печи и подвергают низкотемпературному отпуску.

2.5. Борирование – способ ХТО. Насыщение поверхности металла бором (до 1 % и более) производится чаще всего путем электролиза буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) при 600 – 1050 °С. Длительность получения слоя толщиной 0,1 – 0,2 мм составляет 2 – 6 часов. После борирования детали обычно подвергают закалке и низкому отпуску (предварительная обработка чаще всего заключается в отжиге для облегчения механической обработки).

В структуре упрочненного слоя наблюдаются бориды FeB, ниже – Fe_2B . Центральная зона деталей имеет структуру мартенсита отпущенного, иногда бейнита, троостита или сорбита с содержанием бора менее 0,005 %. Борированный слой обладает очень высокой твердостью (HV1800 – 2000), стойкостью по отношению к коррозии, окалинообразованию, нагреву. Однако он довольно хрупкий, часто имеет пористое строение. Этот процесс используется для значительного упрочнения поверхности штампов, пресс-форм, втулок грязевых нефтяных насосов и других деталей, работающих в условиях, способствующих ускоренному абразивному износу или смятию.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 3.1. Микрошлифы, представленные в таблице 1.
- 3.2. Микроскопы МИМ-7.
- 3.3. Атласы микроструктур сталей № 7.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить настоящие методические указания.

4.2. Изучить микроструктуру микрошлифов марок сталей, указанных в таблице 1. (в 5-6 полях зрения микроскопа по ширине и высоте площади шлифа) и сравнить с микроструктурами, приведенными в атласах микроструктур.

4.3. На левой стороне листа отчета зарисовать в квадрате 40x40 мм схемы микроструктур исследуемых микрошлифов с указаниями структурных составляющих по зонам, как показано на рисунке 1.

Таблица 1

Перечень микрошлифов, используемых в работе

№	Марка материала	Вид упрочнения	Структура
1	2	3	4
1.	Сталь 55ПП	Закалка ТВЧ	1 зона – М 2 зона – Т 3 зона – С 4 зона – Ф+П
2.	Сталь 25ХГМ	Цементация (без термообработки)	1 зона – П+Ц 2 зона П 3 зона П+Ф
3.	Сталь 25ХГМ	Цементация с последующей термической обработкой (Цементация + закалка +Н.О.)	1 зона – М 2 зона – Т 3 зона – С 4 зона Ф+П
4.	Сталь 38Х2МЮА	Азотирование с предварительной термообработкой (Закалка + В.О. + азотирование)	1 зона – нитриды 2 зона - азотистый сорбит 3 зона - С
5.	Сталь 25ХГМ	Цианирование с последующей термообработкой (цианирование + закалка + Н.О.)	1 зона – карбо нитриды 2 зона – М 3 зона М+Т

4.4. Справа от рисунка сделать описание микрошлифа стали, указав для каждого способа упрочнения:

- применяемую группу марок сталей;
- активную среду (для ХТО);
- температуру и время насыщения основным диффундирующим элементом (для ХТО);
- вид термической обработки до или после насыщения (для ХТО);
- различия в химическом составе и твердости структурных составляющих;
- толщину упрочненного слоя;
- получаемые свойства и область применения.

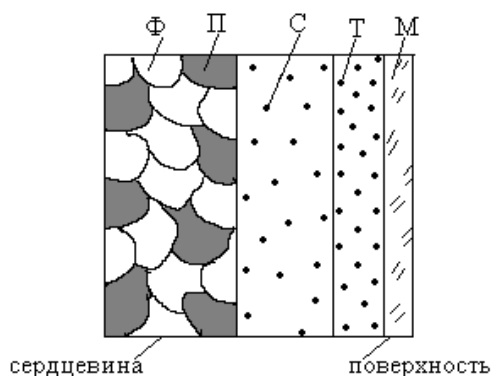


Рис. 1 – Схема микроструктуры стали 55ПП после поверхностной закалки с нагревом ТВЧ

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1. Наименование работы.
- 5.2. Цель работы.
- 5.3. Схематическая зарисовка микроструктур предложенных образцов и их описание по вышеприведенному в пункте 4.4. плану.
- 5.4. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Для каких сталей проводится закалка с нагревом ТВЧ?
- 6.2. От чего зависит частота тока при поверхностной закалке с нагревом ТВЧ?
- 6.3. Что такое цементация?
- 6.4. Для каких сталей проводится процесс цементации?
- 6.5. При какой температуре проводится процесс цементации?
- 6.6. С какой термообработкой связан процесс цементации?
- 6.7. Какие свойства получает изделие после цементации?
- 6.8. Что такое азотирование?
- 6.9. Для каких сталей проводится процесс азотирования?
- 6.10. При какой температуре проводится процесс азотирования?
- 6.11. С какой термообработкой связан процесс азотирования?
- 6.12. Какие свойства получает изделие после азотирования?
- 6.13. Что такое нитроцементация и цианирование?
- 6.14. Какие свойства получает изделие после цианирования?
- 6.15. Что такое борирование и для каких целей оно производится?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапунов, С.В. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.В. Сапунов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56171>. — Загл. с экрана.
2. Материаловедение: Учебное пособие для вузов / Л.В. Тарасенко, С.А. Пахомова, М.В. Унчикова, С.А. Герасимов; Под ред. Л.В. Тарасенко. - М.: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с.. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004868-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/257400>
3. Земсков, Ю.П. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.П. Земсков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 188 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113910>. — Загл. с экрана.
4. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.И. Богодухов, А.В. Синюхин, Е.С. Козик. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2014. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63212>. — Загл. с экрана.
5. Материаловедение для транспортного машиностроения [Электронный ресурс] : учебное пособие / Э.Р. Галимов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30195>. — Загл. с экрана.
6. Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Материаловедение» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, С.А. Вологжанина. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47615>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

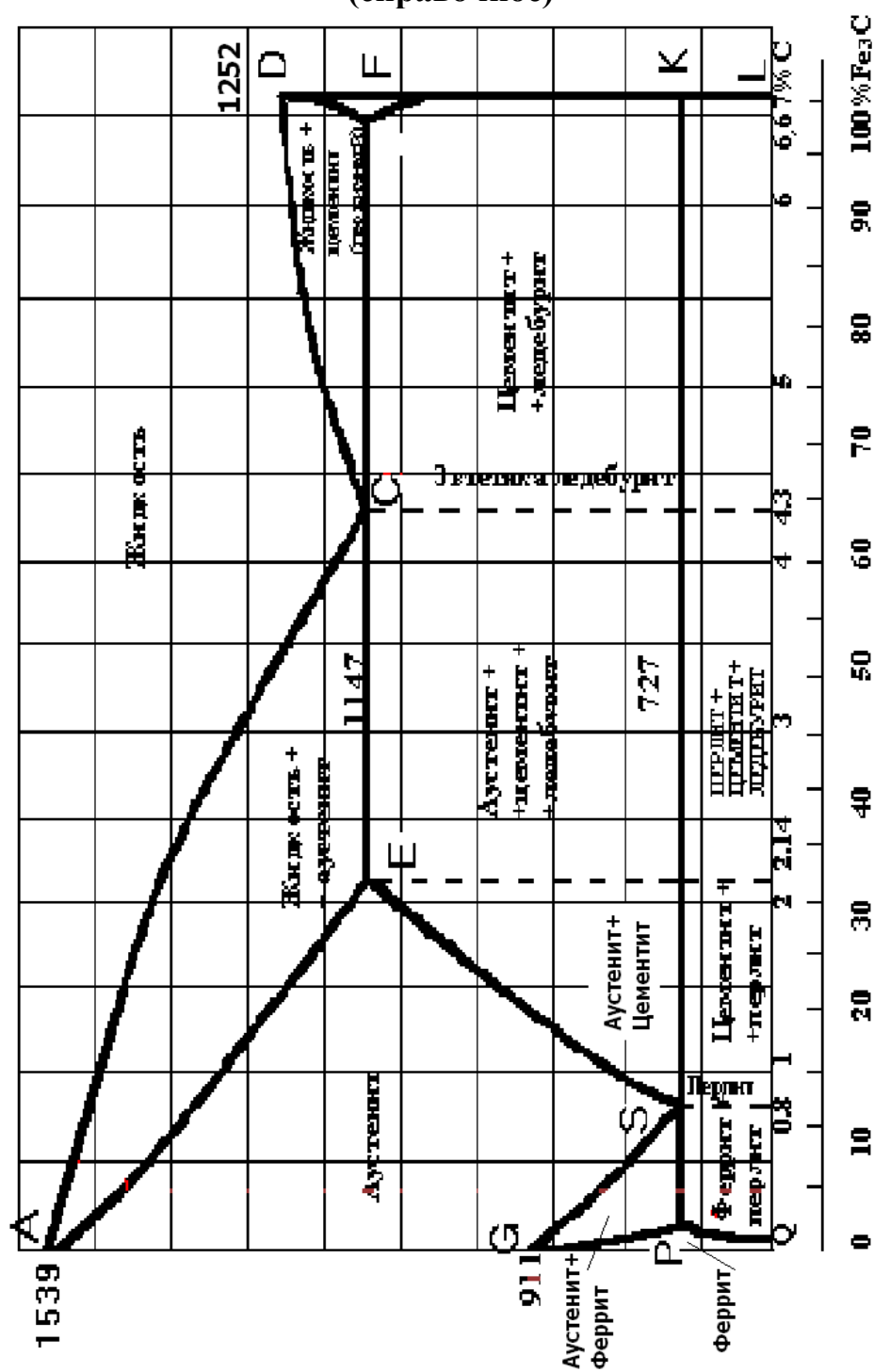


Рисунок 1 - Диаграмма состояния железо-углерод (железо-цементит)