

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»  
Многопрофильный колледж



УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
С.А. Махновский  
«23» марта 2017 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ  
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ  
ПМ.03 ПОДГОТОВКА И ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ  
МДК.03.03 Термическая обработка металлов и сплавов  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности СПО  
22.02.05 Обработка металлов давлением**

Магнитогорск, 2017

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
Обработки металлов давлением  
Председатель: О.В. Шелковникова  
Протокол №7 от 14 марта 2017 г.

Методической комиссией  
Протокол №4 от 23 марта 2017 г.

## **Разработчики**

О.В. Шелковникова,  
преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова» МпК  
Т.В. Смирнова,  
преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова » МпК

Методические указания разработаны на основе рабочей программы ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением.

# СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение

2 Методические указания

Практическая работа 52

Практическая работа 53

Практическая работа 54

Практическая работа 55

Практическая работа 56

Практическая работа 57

Практическая работа 58

Практическая работа 59

Практическая работа 60

Практическая работа 61

Практическая работа 62

Практическая работа 63

Практическая работа 64

Практическая работа 65

Практическая работа 66

Практическая работа 67

Практическая работа 68

Практическая работа 69

Практическая работа 70

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические занятия.

Состав и содержание практических занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений, необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением, МДК.03.03 Термическая обработка металлов и сплавов предусмотрено проведение практических занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

### **уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;
- рассчитывать абсолютные, относительные и полные показатели и коэффициенты деформации;
- инструктировать подчинённых о правилах эксплуатации технологического оборудования;

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на формирование общих компетенций по профессиональному модулю программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями**:

ПК 3.1. Проверять правильность назначения технологического режима обработки металлов давлением.

ПК 3.2. Осуществлять технологические процессы в плановом и аварийном режимах.

ПК 3.3. Выбирать виды термической обработки для улучшения свойств и качества выпускаемой продукции.

ПК 3.4. Рассчитывать показатели и коэффициенты деформации обработки металлов давлением.

ПК 3.5. Рассчитывать калибровку рабочего инструмента и формоизменение выпускаемой продукции.

ПК 3.6. Производить смену сортамента выпускаемой продукции.

ПК 3.7. Осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства.

ПК 3.8. Оформлять техническую документацию технологического процесса.

ПК 3.9. Применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением.

А также формированию **общих компетенций**:

ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3 Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Выполнение обучающимися практических и/или лабораторных работ по ПМ.03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением, МДК.03.03 Термическая обработка металлов и сплавов направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 3.1 Теория термической обработки стали

#### Практическая работа № 53

#### Основные понятия теории термообработки

**Цель:** изучить основные понятия теории термической обработки металлов и сплавов

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Законспектировать данную тему.
3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Все многообразие термически обрабатываемых деталей можно раз- группировать по следующим признакам.

**1. По назначению** различают изделия основной (товарной) продукции предприятия и вспомогательной - для собственных нужд. Для товарной продукции предусматривается использование наиболее прогрессивной технологии и оборудования для ее выполнения. Изделия для собственных нужд проходят термическую обработку по разовой (временной) технологии с использованием простых способов и универсального оборудования по технологическим схемам, уже освоенным предприятием.

**2. По марке материала, форме, размерам и массе** оценивается характер изделия. В зависимости от материала изделия изготавливаются из стали, чугуна, цветных металлов и сплавов, из порошков и т.д. Марка материала частично может характеризовать вид обработки – цементуемые, улучшаемые стали; упрочняемые неупрочняемые термической обработкой алюминиевые сплавы. Для деталей из сталей практически возможно применение всех известных видов термообработки и ХТО, а для изделий из цветных сплавов в основном используется три вида – это отжиги, закалка, старение. Форма, размер и масса деталей обуславливает тип оборудования, систему загрузки, выгрузки, схему укладки садки. Изделия, склонные к короблению и деформации предполагают прежде всего применение ступенчатого или изотермического нагрева или закалки т.в.ч.

**3. По стадии изготовления** детали разделяются на заготовки (отливки, штамповки, горячекатаный прокат), полуфабрикаты (детали после предварительной механической обработки, прессовки, проволока, холоднокатаный прокат) и готовые изделия. Для заготовок предусматривается обычно ПТО – это различные виды отжигов или термо-механическая обработка с целью улучшения обрабатываемости резанием или холодной обработкой давлением, снятия напряжений, а также подготовки структуры к ОТО.

Готовые детали проходят ОТО – это различные способы термического упрочнения или разупрочнения в зависимости от требований конструкторского чертежа. Полуфабрикаты подвергаются ПТО, ОТО или термическая обработка может отсутствовать, это связано с техническими требованиями к ним и тем, что он может являться как заготовкой для дальнейшей обработки так и готовым изделием, что характерно для металлургических заводов.

**4. По характеру производства** оно может быть единичным, мелко-, средне-, крупносерийным и массовым. При единичном производстве по возможности применяются прогрессивные технологии, но допускаются и "дедовские" с использованием для их выполнения универсального оборудования периодического действия. В случае массового производства изделий необходимо предусматривать самые прогрессивные технологии и современное оборудование, скомпонованное в автоматические поточные линии с полной механизацией всех процессов. Для остальных типов производства рекомендуется применять промежуточные варианты технологии и оборудования.

Сущность термической обработки сталей – это изменение размера зерна внутренней структуры стали. Строгое соблюдение температурного режима, времени и скорости на всех этапах, которые напрямую зависят от количества углерода, легирующих элементов и примесей, снижающих качество материала. Во время нагрева происходят структурные изменения, которые при охлаждении протекают в обратной последовательности. На рисунке 1 видно, какие превращения происходят во время термической обработки.

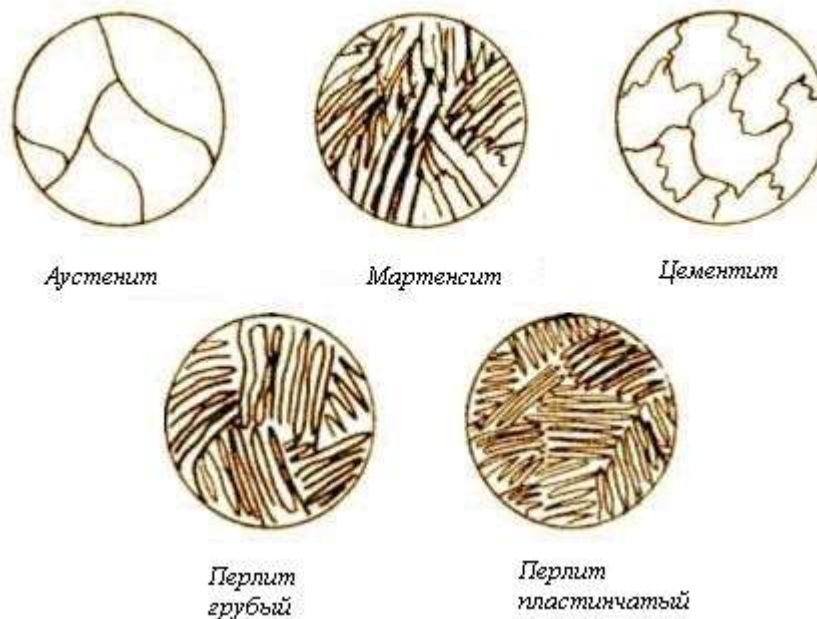


Рисунок 1 – Изменение структуры металла при термической обработке

Основное назначение термической обработки — это придание сталям:

1. в готовых изделиях:
  - прочности;
  - износостойкости;
  - коррозионностойкость;
  - термостойкости.
2. в заготовках:
  - снятие внутренних напряжений после литья; штамповки (горячей, холодной); глубокой вытяжки;
  - увеличение пластичности;
  - облегчение обработки резанием.

## Тема 3.1 Теория термической обработки стали

### Практическая работа № 54

#### Построение диаграммы изотермического превращения аустенита

**Цель:** изучение диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита (ДИПА) в условиях изотермического и непрерывного охлаждения; изучение микроструктур сталей в равновесном и неравновесном состоянии.

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Изучить теоретические положения
3. Научиться определять свойства и микроструктуру стали с помощью диаграммы
4. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

#### **Краткие теоретические сведения:**

В реальных условиях все процессы термической обработки протекают при разных скоростях охлаждения и требуют различного времени. Для описания кинетики (развитие процесса во времени или скоростной зависимости) превращения переохлажденного аустенита пользуются экспериментально полученными диаграммами – ДИПА (С-кривые), показывающими, как идет распад аустенита с течением времени при различных постоянных температурах.

ДИПА – это диаграмма, устанавливающая связь между температурой, временем превращения переохлажденного аустенита и структурой для данной (конкретной) марки стали.

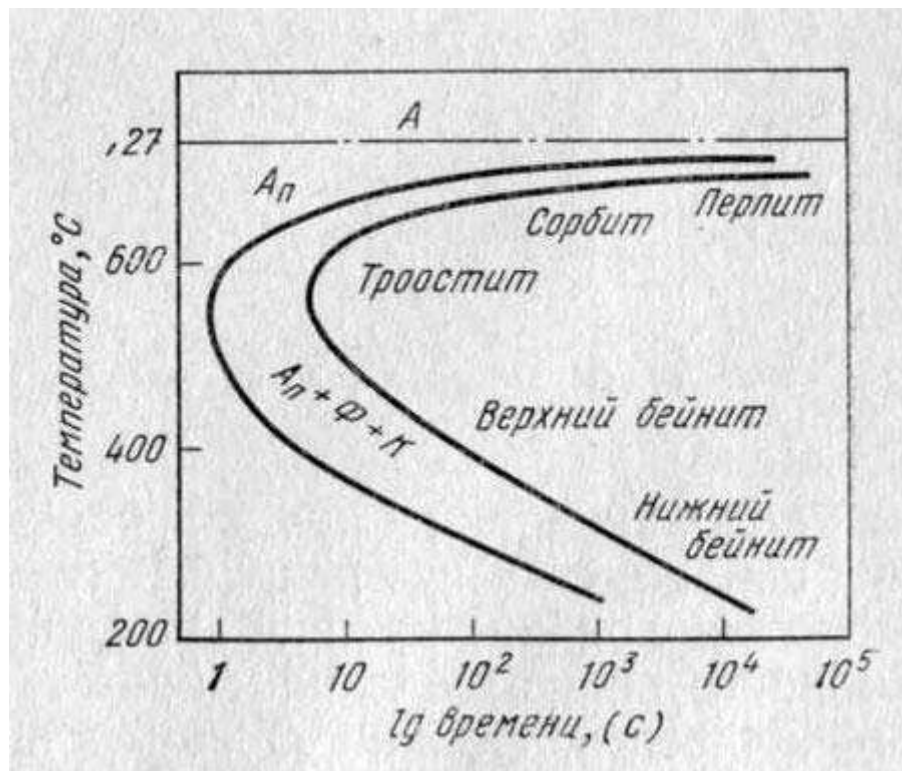
ДИПА строится для каждой марки стали экспериментальным путем на основе серий кривых изотермического превращения аустенита (КИПА).

КИПА – это зависимость превращенного объема от времени выдержки при определенной температуре ( $\%P=f(\tau)$  при  $t_{из}=\text{const}$ ).

#### **1 Перлитное превращение.**

Основное превращение, протекающее во время охлаждения при отжиге стали – это эвтектоидный распад аустенита на смесь феррита с карбидом. Кинетика эвтектоидного превращения изображается С-образными кривыми на диаграмме изотермического превращения аустенита (рисунок 1).





А- устойчивый аустенит, А<sub>п</sub>–переохлажденный аустенит, Ф- феррит, К-карбид

Рисунок 2 – Диаграмма изотермического распада аустенита в эвтектоидной части

С-диаграмма строится следующим образом. Тонкие образцы стали, содержащей 0,8% С, нагревают до полной аустенитизации при температуре выше точки А<sub>1</sub> и затем переносят в термостат (соляную ванну) с температурой ниже этой точки. Начало и конец распада аустенита при данной температуре можно определить несколькими методами:

- микроструктурный анализ – образцы после различного времени выдержки в термостате закалывают в воде. Изотермически нераспавшийся аустенит превращается в мартенсит, который хорошо отличается под микроскопом от продуктов распада аустенита.

- магнитометрический метод – позволяет количественно определять степень превращения аустенита в любой момент изотермической выдержки, так как интенсивность намагничивания образца пропорциональна количеству ферромагнитной альфа – фазы.

При температуре 727 °С аустенит находится в термодинамически устойчивом равновесии со смесью феррита и цементита. Чтобы начался распад аустенита, необходимо переохладить его ниже 727 °С. Устойчивость переохлажденного аустенита характеризуется инкубационным периодом, когда обычные методы не фиксируют появления продуктов распада.

В эвтектоидной стали при температуре около 550 °С переохлажденный аустенит наименее устойчив. При этих же температурах происходят максимумы скорости роста эвтектоида ( рисунок 2).

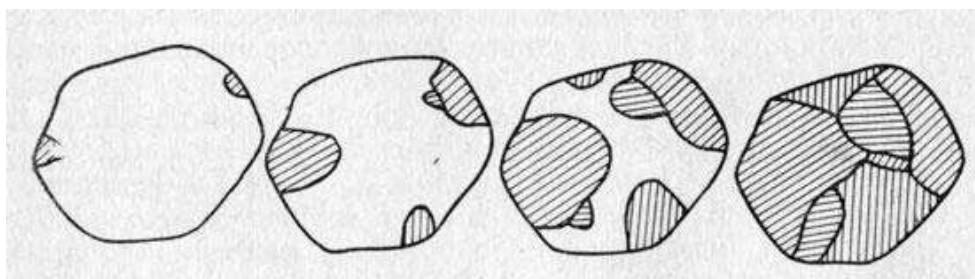


Рисунок 3 – Образование колоний эвтектоида в одном зерне аустенита

В эвтектоидной смеси феррита с цементитом перлит растет из отдельных центров в виде колоний. Зародышем перлитной колонии может быть или цементит, или феррит. При утолщении цементитной пластины вблизи нее аустенит обедняется углеродом и создаются условия для зарождения пластин, примыкающих к цементитной.

При утолщении же ферритной пластины он оттесняется в аустенит, в результате создаются благоприятные условия для появления новых цементитных пластин.

При боковом росте колоний перлита могут зарождаться попеременно пластины феррита и цементита, а также новые пластины от ранее образовавшихся пластин своей фазы (рисунок 3).

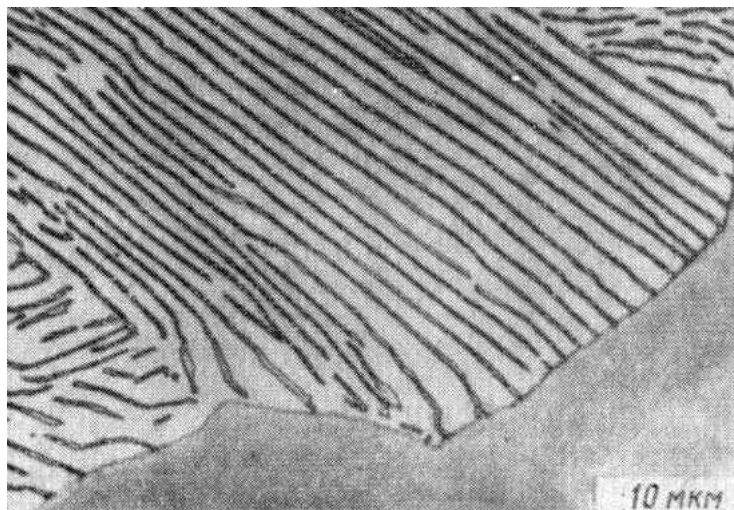


Рисунок 4 – Строение перлита около границы колонии

На шлифе цементит в перлитной колонии выглядит как совокупность изолированных пластин без перемычек, но по такой плоской картине нельзя сделать однозначного вывода об отсутствии каркаса из цементита. Эвтектоидная колония чаще всего является бикристаллом из взаимопереплетающихся дендритов двух фаз. Отсюда следует, что при боковом росте колонии фазы растворяются, а не многократно зарождаются. Если от колонии ответвляется пластина с другой ориентацией, то она служит зародышем для новой перлитной колонии (рисунок 4).

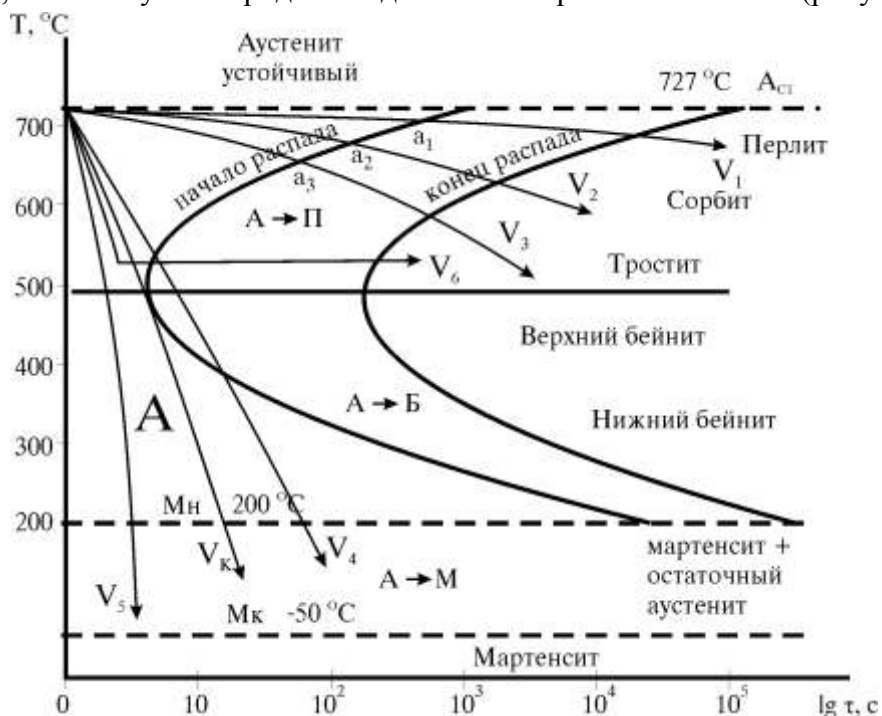


Рисунок 5 – Диаграмма превращения аустенита при охлаждении

**Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы и справочного материала изучить диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита (ДИПА) в условиях изотермического и непрерывного охлаждения, а также изучить микроструктуру сталей в равновесном и неравновесном состоянии.

2. Сделать записи расчетов в тетрадь.

3. Подготовить защиту практической работы.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.

2. Получить задание у преподавателя.

3. Выполнить работу.

**Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

**Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали****Практическая работа № 55****Микроанализ термообработанной стали (отожженной и нормализованной).**

**Цель:** изучить микроанализ нормализованной и отожженной стали. Выявить причины появления дефектов при отжиге и нормализации.

**Выполнив работу, Вы будете:****уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомиться с методическим указанием к данной практической работе.

2. Произвести микроанализ термически обработанной стали.

3. Дать характеристику дефектам, возникающим в результате отжига и нормализации

4. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

**Краткие теоретические сведения:**

**Отжиг стали** — это один из видов термообработки, применяемый в качестве подготовительной или заключительной операции при закалке, сварке, обработке резанием или давлением. Основное назначение отжига заключается в изменении структуры стали для снижения ее твердости и придания ей пластичности и ударной вязкости, а также устранения внутренних напряжений. Для этого стальные изделия нагревают выше критической температуры, а затем подвергают медленному охлаждению. После такой обработки изменяется структура металла, его зернистость и равномерность кристаллической решетки.

Отжиг металла применяется для получения равновесной и однородной структуры при подготовке изделия к последующей термической или механической обработке, а также для улучшения его физических характеристик после операций резания, сварки, штамповки, прокатки или закалки.

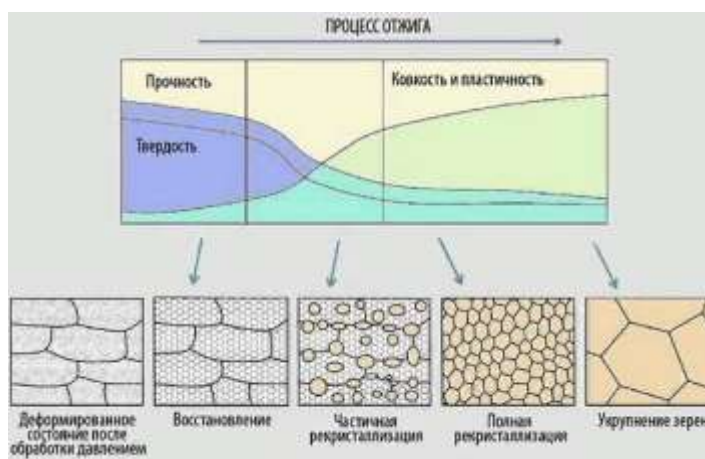


Рисунок 6 – Фазовые составляющие при отжиге

Существуют следующие виды отжигов:

1) полный - применяют для уменьшения их зернистости, вследствие чего повышается пластичность и ударная вязкость, а также снижаются внутренние напряжения. Температура нагрева при этом методе не должна превышать критическую точку  $A_{c3}$  более чем на  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а охлаждение проводится постепенно, вместе с остыванием печи. Этот метод применим только к сталям с содержанием углерода до  $0.8\%$ , т. к. при большем значении этого параметра резко возрастает зернистость.

2) неполный – применяют для получения при термообработке высокоуглеродистых сталей (с содержанием углерода более  $0.8\%$ ), при котором изделие нагревают на  $30\div 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше температуры  $A_{c1}$ , а затем также медленно охлаждают.

3) изотермический - предназначен для сталей с содержанием углерода менее  $0.8\%$  и чаще всего используется для улучшения структурных свойств легированных сталей.

4) нормализационный - сталь также нагревается до критической температуры и переходит в состояние аустенита, но после этого она охлаждается не в печи, а на открытом воздухе. В результате нормализации низкоуглеродистых сталей у них формируется более тонкая структура, поэтому этот вид термообработки иногда носит название стабилизирующий отжиг.

5) маятниковый- применяется для получения структуры зернистого перлита, который имеет меньшую хрупкость и твердость, но при этом обладает хорошей пластичностью и вязкостью, сталь подвергают нескольким циклам нагрева выше температуры образования аустенита с последующим остужением до  $670\div 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Нормализация** - это термообработка, при которой материал прогревается до температуры на  $30\text{--}50$  градусов выше  $A_{c1}$  или  $A_{c3}$ , а затем его охлаждают на спокойном воздухе.

Нормализация может быть как промежуточной, так и окончательной операцией по улучшению структуры стали. Чаще всего она используется в качестве окончательной процедуры, преимущественно при производстве сортового проката вроде рельс, швеллеров и не только.

Главная особенность нормализации заключается в том, что сталь нагревается до температуры, которая на  $30\text{--}50$  градусов превышает верхние критические показатели, а также производят выдержку и охлаждение материала.

Температура выбирается в зависимости от типа материала. Заэвтектоидные материалы нормализуются при температуре между точками  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ , а вот доэвтектоидные — при температуре выше  $A_{c3}$ . В итоге материалы первого типа получают одинаковую твердость,

поскольку в раствор переходит углерод в одинаковом количестве, также в одинаковом количестве фиксирует аустенит. Структура включает в себя цемент и мартенсит.

Благодаря такому составу увеличивается износостойкость и твердость заэвтектоидного материала. Если высокоуглеродистая сталь нагреется больше  $A_c 3$ , то увеличится рост зерен аустенита и, соответственно, повысятся внутренние напряжения. Также увеличится концентрация углерода, в итоге температура мартенситного превращения снизится. В итоге материал становится менее прочным и твердым и поддается изменению.

А доэвтектоидная сталь при нагреве свыше критического показателя становится очень вязкой. Это объясняется тем, что в низкоуглеродистой стали образуется мелкозернистый аустенит. Этот компонент после охлаждения преобразуется в мелкокристаллический мартенсит. Температурные показатели в промежутке между  $A_c 1$  и  $A_c 3$  нельзя применять для обработки, поскольку в таком случае структура доэвтектоидной стали получает феррит, что снижает после нормализации ее твердость, а после отпуска — и механические свойства.

От степени гомогенизации структуры материала зависит время выдержки. Нормативным показателем является час выдержки из расчета на 25 мм толщины. Интенсивность охлаждения в той или иной мере определяет

Если обрабатываются предметы с большими перепадами сечения, то нужно снижать термическое напряжение, чтобы не допустить коробления во время нагрева или охлаждения. Также перед началом работы их следует нагреть в соляной ванне.

Во время снижения температуры изделия до нижней критической точки можно охлаждение ускорять посредством помещения его в воду или масло.

Цели нормализации могут быть совершенно разные. С помощью такого процесса твердость стали можно повысить или снизить, это же касается прочности материала и его ударной вязкости. Все зависит от механических и термических характеристик стали. С помощью данной технологии можно как сократить остаточные напряжения, так и улучшить степень обрабатываемости стали с помощью того или иного метода.

Изделия, полученные посредством обработки давлением, подвергают нормализации послековки и прокатки, чтобы сократить разнородность структуры и ее полосчатость.

Нормализация вместе с отпуском нужна для замены закалки изделий сложной формы или же с резкими перепадами по сечению. Она позволит не допустить дефектов.

Еще эта технология применяется, чтобы улучшить структуру изделия перед закалкой, повысить его обрабатываемость посредством резки, устранить в заэвтектоидной стали сетку вторичного цемента, а также подготовить сталь к завершающей термической обработке.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы и справочного материала произвести микроанализ стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.

2. Сделать записи расчетов в тетрадь.

3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.

2. Получить задание у преподавателя.

3. Выполнить работу.

4. Заполнить таблицу.

5. Сделать записи расчетов в тетрадь.

№	Вид дефекта	Описание дефекта	Причины появления	Методы устранения

**Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

**Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали****Практическая работа № 56****Микроанализ термообработанной стали (закалённой).**

**Цель:** изучить микроанализ закаленной стали.

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Произвести микроанализ термически обработанной стали.
3. Дать характеристику дефектам, возникающим в результате закалки.
4. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

**Краткие теоретические сведения:**

Закалкой называют вид термической обработки металлов, который заключается в нагреве выше критической температуры с последующим резким охлаждением (обычно) в жидких средах. Критической называют температуру, при которой происходит изменение типа кристаллической решетки, то есть осуществляется полиморфное превращение. Она определяется она по диаграмме «железо-углерод».

После закалки увеличивается твердость и прочность стали, но при этом повышаются внутренние напряжения и возрастает хрупкость, провоцирующие разрушение материала при резких механических воздействиях. На поверхности изделия появляется толстый слой окалины, который необходимо учитывать при определении припусков на обработку.

Способы закалки стали:

- 1) в одном охладителе – применяется при работе с деталями несложной конфигурации из углеродистых и легированных сталей;
- 2) прерывистый в двух средах – востребован для обработки высокоуглеродистых марок, которые сначала остужают в быстро охлаждающей среде (воде), а затем в медленно охлаждающей (масле);
- 3) струйчатый – обычно востребован при частичной закалке изделия, осуществляется в установках ТВЧ и индукторах обрызгиванием детали мощной струей воды;
- 4) ступенчатый – процесс, при котором деталь остывает в закалочной среде, приобретая во всех точках сечения температуру закалочной ванны, окончательное охлаждение осуществляют медленно;
- 5) изотермический – похож на предыдущий вид закалки стали, отличается от него временем пребывания в закалочной среде.

От правильного выбора охлаждающей среды во многом зависит конечный результат процесса.

1) Для поверхностной закалки и работы с изделиями простой конфигурации, предназначенными для дальнейшей обработки, применяется в основном вода. Она не должна содержать соли и примеси моющих средств, оптимальная температура +30°C.

2) Для изделий сложной формы применяют 50% раствор каустической соды, который нагревают до +60°C. При использовании такого состава для охлаждения сталь приобретает светлый оттенок. Пары каустической соды вредны для здоровья человека.

3) Для тонкостенных деталей, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, применяются минеральные масла, обеспечивающие постоянную температуру охлаждения, не зависящую от температуры окружающей среды. Главное условие, которое необходимо соблюдать при охлаждении сталей после закалки, – отсутствие воды в минеральных маслах.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы произвести микроанализ стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.

2. Сделать записи расчетов в тетрадь.

3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.

2. Получить задание у преподавателя.

3. Составить классификацию видов закалки..

4. Сделать записи расчетов в тетрадь.

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### **Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали**

#### **Практическое занятие № 57**

#### **Дефекты микроструктуры закаленной стали**

**Цель:** Изучить дефекты закаленной стали, а также выявить причины появления дефектов закаленной стали.

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомиться с методическим указанием к данной практической работе.

2. Изучить дефекты микроструктуры закаленной стали и причины их появления.

3. Дать характеристику дефектам, возникающим в результате закалки.

4. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

## Краткие теоретические сведения:

Дефекты стали при закалке:

1) **Недостаточная твердость** - возникает если была низкая температура нагрева, малая выдержка при рабочей температуре или имело место недостаточная скорость охлаждения. Можно исправить: применить более энергичную среду; сделать отжиг, а затем закалить.

2) **Перегрев** - происходит если стальная деталь нагревается до температуры, превышающей допустимую. При перегреве образуется крупнозернистая структура, что приводит к хрупкости детали. Можно исправить: с помощью отжига и закалки при нужной температуре.

3) **Пережог** - при нагреве стальной детали до высокой температуры, близкой к температуре плавления (1200–1300 градусов) в окислительной атмосфере. Внутри стальных изделий проникает кислород, по границам зерен формируются окислы. Такая сталь не исправляется.

4) **Окисление и обезуглероживание** - в этом случае на поверхности стальных деталей образуются окарины (окислы), а в поверхностных слоях стали выгорает углерод. Этот брак исправить невозможно. Для предупреждения брака следует пользоваться печами с защитной атмосферой.

5) **Коробление и трещины** - возникают из-за внутренних напряжений. Трещины — это неисправимый брак. Коробление можно удалить при помощи рихтовки или правки.

### Порядок выполнения работы:

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы сделать записи в тетрадь, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Заполнить таблицу.
3. Подготовить защиту практической работы.

### Ход работы:

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Составить классификацию дефектов закалки.
4. Сделать записи в тетрадь.

№	Вид дефекта закалки	Описание дефекта	Причины появления	Методы устранения

### Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

## Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 58

#### Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали

**Цель:** изучить влияние скорости охлаждения на структуру стали

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;



- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Изучить влияние скорости охлаждения на структуру стали
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

**Краткие теоретические сведения:**

Охлаждение при термической обработке может осуществляться в печах, на воздухе, в маслах, расплавах, растворах.

По взаимодействию с обрабатываемыми изделиями все охлаждающие среды подразделяются на две группы.

К первой группе относятся среды, у которых в процессе охлаждения изменяются лишь количественные показатели, например, температура, тепловые свойства среды и т.д. Ко второй группе относятся среды, изменяющиеся при охлаждении свое агрегатное состояние в связи с кипением.

Сущность процессов охлаждения состоит в следующем. При погружении изделий в охлаждающую среду образуется пленка перегретого пара, а температура на поверхности изделия падает до 600-700<sup>o</sup>C; после чего охлаждение осуществляется замедленно, поскольку возникает "паровая рубашка". При достижении определенной температуры поверхности (в соответствии с составом среды) "паровая рубашка" разрывается, жидкость кипит на поверхности деталей и охлаждение ускоряется. Замедленное охлаждение называют стадией пленочного кипения; ускоренное охлаждение - стадией пузырьчатого кипения. Однако когда температура поверхности металла достигает точки ниже температуры кипения жидкости, охлаждение замедляется. Это - стадия конвективного теплообмена.

Охлаждающая среда тем эффективней, чем шире интервал стадии пузырьчатого кипения, т.е. чем выше температура перехода от первой стадии ко второй и чем ниже температура перехода от второй стадии к третьей.

В качестве охлаждающих сред используют воду, водные растворы солей, щелочей, кислот и т.д. Циркуляция охлаждающей среды (особенно воды и ее растворов) в 1,5-2 раза повышает скорость охлаждения.

Эффективными охлаждающими средами являются различные масла. Охлаждение в масле уменьшает скорость охлаждения в 5 раз (при 550-650<sup>o</sup>C), а в интервале мартенситного превращения - в 25-30 раз, вследствие чего уменьшаются закалочные деформации и не образуются трещины.

Водовоздушные смеси применяют для охлаждения массивных изделий. Охлаждающими средами служат также расплавы солей, щелочей и металлов. Эффективность охлаждения характеризуется тепловыми свойствами этих сред. Соляные расплавы имеют рабочие температуры 135-150<sup>o</sup>C. Щелочные расплавы позволяют охлаждать в интервале температур 110-600<sup>o</sup>C. Металлические расплавы (Pb, Sn и их сплавы) имеют достаточно широкие диапазоны рабочих температур (от 190 до 1000 <sup>o</sup>C), хотя используются чрезвычайно редко вследствие их неэкономичности.

Охлаждая сталь до разных температур и с разными скоростями, можно получить различные структуры ее кристаллической решетки с элементами разного размера и формы. Совокупность этих характеристик с химическим составом определяет такие ее эксплуатационные качества, как твердость, хрупкость, вязкость, прочность, упругость и пр. Поэтому существует

множество технологий охлаждения и их разновидностей, среди которых можно выделить следующие технологические группы:

- охлаждение в одном компоненте, когда изделие погружается в жидкость и остается в ней до полного остывания.

- прерывистая закалка в двух охладителях, когда изделие сначала помещают в быстроохлаждающую жидкость, а после достижения заданной температуры переносят в среду с медленным охлаждением.

- струйное охлаждение, когда разогретая деталь интенсивно орошается потоком охладителя (рисунок 4).

- обдув, когда поверхность изделия обдувается потоком воздуха или инертного газа.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы охарактеризовать влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.

2. Сделать записи в тетрадь.

3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.

2. Получить задание у преподавателя.

3. Заполнить таблицу.

4. Сделать записи расчетов в тетрадь.

5. Подготовить защиту практической работы.

Охлаждающая среда	Температурный интервал пузырчатого кипения	Относительная интенсивность охлаждения
Вода, 20 °С		
Вода, 40 °С		
Вода, 80 °С		
Раствор 10%-ного NaCl в воде при 20 °С		
Раствор 50%-ной NaOH в воде при 20 °С		
Масло минеральное 20-200 °С		

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### **Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали**

#### **Практическое занятие № 59**

#### **Микроанализ термообработанной стали (закалённой и отпущенной)**

**Цель:** составить микроанализ закаленной и отпущенной стали.

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Провести микроанализ закаленной и отпущенной стали.
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

#### **Краткие теоретические сведения**

Закалка не является окончательной термической обработкой, поэтому, чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь после закалки подвергают отпуску. Инструментальную сталь в основном подвергают закалке и отпуску для повышения твердости, износостойкости и прочности, а конструкционную сталь – для повышения прочности и получения достаточно высокой пластичности.

**Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы составить микроанализ закаленной и отпущенной стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Сделать записи в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Разобрать диаграмму состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C с нанесенной температурой нагрева под закалку стали.
4. В тетради вычертить схему доэвтектоидной легированной стали .
5. Подготовить защиту практической работы.

**Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### **Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали**

#### **Практическое занятие № 60**

#### **Влияние температуры отпуска на структуру и свойства стали**

**Цель:** изучить влияние температуры отпуска на структуру стали

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

### **Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. Изучить влияние скорости охлаждения на структуру стали
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

### **Краткие теоретические сведения**

Отпуском металла называется технологический процесс термообработки закалённого стального сплава. Он даёт возможность завершить фазовые превращения в микроструктуре (мартенсите), которая приобретает наиболее устойчивое состояние. Дело в том, что в процессе закалки в металле возникают внутренние напряжения — осевые, радиальные, тангенциальные. Чтобы устранить их негативные последствия такие как хрупкость и низкая пластичность, изделия нагревают в печах при различных температурах (от 250 °С до 650 °С), выдерживают заданное время (от 15 минут до 1,5 часа), а потом медленно охлаждают.

Комплекс этих мероприятий приводит к выделению лишнего углерода, перестройке и упорядочиванию структуры металла, устранению дефектов его кристаллического строения. Обработанные материалы приобретают заданный комплекс механических свойств, среди которых основные — увеличение пластичности и снижение хрупкости при сохранении достаточного уровня прочности.

Существуют следующие виды отпуска стали:

1) низкий - для снижения внутренних напряжений низкий отпуск стали обычно проводят нагреванием до 250 °С в течение от 1 до 2,5 часа. Из металла в процессе диффузии выделяется часть излишков углерода, из них образуются карбидные частицы в виде пластин и стержней. Неравновесная структура мартенсита закалки превращается в равновесный отпущенный мартенсит. Этим достигается стабилизация размеров изделий, повышаются вязкость и прочность, а показатели твёрдости практически не изменяются.

Низкотемпературному отпуску подвергают железоуглеродистые и низколегированные стали для производства режущего и измерительного инструмента, который не испытывает динамических нагрузок. В основном его выполняют для сталей, закалённых токами высокой частоты, а также для сплавов, поверхность которых ранее насыщалась углеродом и азотом.

2) средний - проводится при температурах от 350 °С до 500 °С и обеспечивает высокую упругость и релаксационную стойкость. Из стали выделяется весь избыточный углерод, а карбид переходит в цементит. Мартенсит уже полностью разложился, а перестройка структуры металла (полигонизация) и её совершенствование (рекристаллизация) ещё не начались. Новая комбинация называется троостомартенсит и характеризуется ускорением процессов диффузии. Кристаллическая решётка сплава при этом превращается в кубическую, а внутренние напряжения ещё больше уменьшаются.

Охлаждение металла осуществляют в воде, что тоже увеличивает предел выносливости. Среднетемпературный отпуск необходим при производстве упругих деталей: рессор, ударного инструмента и пружин.

3) высокий - при температурах выше 500 °С в углеродистых сплавах происходят структурные преобразования, которые уже не относятся к фазовым превращениям. Претерпевают изменения конфигурация и габариты частиц кристаллов, их зёрна укрупняются, а форма стремится к равноосной. Комплексная термообработка, включающая закалку и высокий отпуск стали, в материаловедении называется улучшением, а кристаллическая структура металла после этого — сорбитом отпуска. Она считается наиболее эффективной, так как достигается идеальное сочетание вязкости, пластичности и прочности сплава.

Продолжительность высокого отпуска варьируется в пределах от 1 до 6 часов и зависит от размеров зубчатых передач, опор, коленчатых валов, втулок, болтов и винтов, изготовленных из конструкционных и среднеуглеродистых сталей. Эти изделия в процессе эксплуатации

воспринимают ударные нагрузки и работают на сжатие, растяжение и изгиб, а к их прочности, выносливости, текучести и ударной вязкости предъявляются особые требования.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы охарактеризовать влияние температуры отпуска на структуру и свойства стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.

2. Сделать записи в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Заполнить таблицу.
4. Подготовить защиту практической работы.

% С

Виды отпуска	Виды изделий, подвергающиеся отпуску
низкий	
средний	
высокий	

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### **Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали**

#### **Практическое занятие № 61**

#### **Микроанализ сталей после ХТО**

**Цель:** составить микроанализ сталей после химико – термической обработки.

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомиться с методическим указанием к данной практической работе.
2. Провести микроанализ стали после ХТО.
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

#### **Краткие теоретические сведения**

**Химико-термической обработкой** называют процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев и металла.

Такая обработка применима к деталям, от которых требуется твердая и износоустойчивая поверхность при сохранении вязкой и достаточно прочной сердцевины, высокая коррозионная стойкость, высокое сопротивление усталости.

Химико-термическая обработка стали основана на диффузии (проникновении) в атомно-кристаллическую решетку железа атомов различных химических элементов при нагреве стальных деталей в среде, богатой этими элементами.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки стали являются:

цементация — насыщение поверхности стальных деталей углеродом;

азотирование — насыщение поверхности стальных деталей азотом;

цианирование — одновременное насыщение поверхности стальных деталей углеродом и азотом.

Кроме этих основных видов химико-термической обработки, в промышленности применяют также поверхностное насыщение стали металлами: алюминием, хромом, кремнием и др. Процесс этот называется диффузионной металлизацией стали.

**Цементация** — процесс поверхностного насыщения стальных деталей углеродом. Цель цементации получить детали с вязкой сердцевиной и твердой поверхностью. Такие детали во время работы не разрушаются от ударов и хорошо сопротивляются истиранию. Цементации подвергают детали из углеродистой и легированной стали с содержанием углерода от 0,08 до 0,35%. Богатые углеродом смеси, применяемые для цементации, — карбюризаторы — могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

Цементация в твердом карбюризаторе производится путем нагрева деталей, упакованных в железные ящики (рис. 68) вместе с карбюризатором.

Карбюризатор представляет собой порошкообразную смесь, состоящую из древесного угля (70%), углекислого бария  $\text{BaCO}_3$  (20—25%) и углекислого кальция  $\text{CaCO}_3$  (3—5%).

Температуру цементации принимают на 20—50° выше точки  $A_{C3}$ . Температура до 920—930° С позволяет почти в два раза сократить длительность процесса без ухудшения механических свойств стали. Насыщение стали углеродом происходит путем непосредственного соприкосновения частиц угля с поверхностью стальных деталей в газовой среде, которая служит передатчиком углерода. При правильном подборе карбюризатора содержание углерода в поверхностном слое не превышает 1,0—1,10%, что можно считать нормальным. Продолжительность цементации — от 5 до 15 и более часов в зависимости от глубины науглероживания и марки стали. Для цементации могут быть использованы самые разнообразные печи — камерные, непрерывного действия, с вращающейся ретортой, обогреваемые мазутом, газом или электрические.

**Жидкостной цементации** подвергают мелкие изделия; их погружают в расплавленные соляные ванны, состоящие из 75-85%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (сода), 10-15%  $\text{NaCl}$  (поваренная соль) и 6—10%  $\text{SiC}$  (карбид кремния).

**Газовая цементация** - сущность ее состоит в том, что цементируемые изделия нагревают и выдерживают при температуре 920—950° С в печи, куда в течение всего процесса непрерывно подается цементирующий газ. Для этой цели используют природный газ, состоящий в основном из метана  $\text{CH}_4$ , или искусственные газы, получаемые в результате разложения (пиролиза) нефтепродуктов — керосина, различных масел, бензола, пиробензола и др. Основной составляющей искусственных газов также является метан  $\text{CH}_4$ .

Детали загружают в муфельные печи, в которые вводят цементирующие газы. При газовой цементации продолжительность процесса сокращается в 2—2,5 раза. Так, для получения цементованного слоя глубиной 1,0—1,2 мм требуется затратить 4—5 часов. Кроме этого, газовая цементация обладает и другими преимуществами: возможностью регулировать процесс за счет изменения количества и химического состава подаваемого газа: отсутствием громоздкого

оборудования и угольной пыли; возможностью производить закалку непосредственно из печи. Процесс газовой цементации более экономичен.

**Диффузионная металлизация**- применяют для насыщения стали алюминием, хромом, кремнием и др. Этот процесс применяют главным образом с целью получения стальных деталей, устойчивых против разъедания щелочами и кислотами, а также с целью повышения устойчивости стали против окисления горячими печными газами, т. е. против окалинообразования.

**Алитированием** называется процесс насыщения поверхности стальных и чугуновых деталей алюминием с целью повышения их жаростойкости. Алитированию подвергают главным образом малоуглеродистые стали. Процесс алитирования может происходить в твердой, жидкой и газообразной средах. Наиболее распространен способ алитирования в твердой среде. Детали, подлежащие алитированию, укладывают в железные ящики со смесью, состоящей из 49% порошка алюминия, 49% окиси алюминия и 2% хлористого аммония. Укладывать детали в ящики следует так же, как при цементации в твердом карбюризаторе. Ящики плотно закрывают крышками, обмазывают огнеупорной глиной, погружают в печь и нагревают в течение 5—10 часов при температуре от 900 до 1100° С. За это время образуется алитированный слой глубиной 0,3—1,0 мм.

**Диффузионным хромированием** называют процесс насыщения поверхности стали хромом. Хромирование может производиться в твердых, газовых и жидких средах.

**Силицированием** называют процесс поверхностного насыщения стали кремнием с целью повышения кислотоупорности, сопротивления износу и жаростойкости деталей. Силицирование проводят в твердом, жидком и газообразном цементаторе.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы заполнить таблицу, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Сделать записи в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Разобрать виды ХТО.
4. В тетради заполнить таблицу.
5. Подготовить защиту практической работы.

Вид ХТО	Определение	Температура обработки	В каких случаях применяется	Дополнительные сведения
Цементация				
Азотирование				
Цианирование				

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

#### Практическое занятие № 62

#### Выбор вида т.о для конкретных деталей в зависимости от условий эксплуатации.

**Цель работы** — приобрести навыки в выборе марки сплава, режима термической и химико-термической обработки металлов в зависимости от назначения изделий.

**Задание:**

Согласно задания своего варианта:

- 1) изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней;
- 2) выбрать марку стали для изготовления заданной детали, изучить ее химический состав и механические свойства;
- 3) разработать в зависимости от условий работы детали, необходимый вид и режим термической или химико-термической обработки;
- 4) дать обоснование выбранного вида и режима обработки детали.

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

№ варианта	№ задачи	№ варианта	№ задачи
1	1,6,15	16	7,14,5
2	2,7,14	17	8,10,3
3	3,8,13	18	9,11,7
4	4,9,12	19	10,5,13
5	5,10,15	20	11,9,1
6	6,12,2	21	12,6,4
7	7,14,5	22	13,10,5
8	8,10,3	23	14,6,9
9	9,11,7	24	15,4,10
10	10,5,13	25	1,6,15
11	11,9,1	26	2,7,14
12	12,6,4	27	3,8,13
13	13,10,5	28	4,9,12
14	14,6,9	29	5,10,15

#### Краткие теоретические сведения

Практическое занятие предусматривает обосновать выбор металла для изготовления заданной детали и выбор вида и режима термической и химико-термической обработки, которая обеспечит надежность детали в условиях эксплуатации, указанных в каждой задаче.

Для решения задачи необходимо прежде всего определить материал, обладающий свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

Если для улучшения свойств выбранного материала нужны термическая или химико-термическая обработка, то необходимо указать их режимы, получаемую структуру и свойства.



При рекомендации режимов обработки необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы. Например, для деталей, изготавливаемых в больших количествах, — обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.; для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, например для валов, зубчатых колес многих типов, необходимо рекомендовать обработку, повышающую предел выносливости (в зависимости от рекомендуемой стали к ним относятся цементация, цианирование, азотирование, закалка с индукционным нагревом, обработка дробью).

1) Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35 мм; сталь в готовом изделии должна иметь предел прочности не ниже 750 МПа и ударную вязкость не ниже 50 МПа. Кроме того, вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т. е. в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки всего вала для получения заданных свойств и режим последующей термической обработки, повышающей твердость только в отдельных участках поверхности вала.

Приведите структуру и твердость стали в поверхностном слое шейки вала и структуру и механические свойства в остальных участках.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы произвести подбор термической обработки стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Сделать записи расчетов в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

2) Стаканы цилиндров мощных двигателей внутреннего сгорания должны обладать высоким сопротивлением износу на поверхности. Для повышения износостойкости применяют азотирование.

Подберите сталь, пригодную для азотирования, приведите химический состав, рекомендуйте режим термической обработки и режим азотирования. Укажите твердость поверхностного слоя и механические свойства низлежащих слоев в готовом изделии.

3) Станкостроительный завод изготавливает шпиндели токарных станков. Шпиндели работают с большой скоростью в условиях повышенного износа, поэтому твердость в поверхностном слое должна быть HRC 58—62.

Подберите сталь для изготовления шпинделя, рекомендуйте режим термообработки, обеспечивающий получение заданной твердости в поверхностном слое. Укажите структуру стали в поверхностных слоях и в сердцевине шпинделя, механические свойства сердцевины после окончательной термической обработки.

4) Червяк редукторов диаметром 35 мм можно изготовить из цементируемой и нецементируемой стали. Предел прочности в сердцевине детали должен быть 580—686 МПа.

Выберите марку цементируемой и нецементируемой углеродистой качественной стали. Обоснуйте, в каких случаях целесообразно применять цементируемую и в каких случаях — нецементируемую сталь.

Укажите химический состав, рекомендуемый режим химико-термической и термической обработки и сопоставьте механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

5) Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и срез и должен обладать высокой износостойкостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине.

Подберите углеродистую сталь, укажите ее состав и марку, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки, укажите структуру, механические свойства в сердцевине и твердость на поверхности после окончательной обработки. Укажите желаемую толщину твердого поверхностного слоя.

6) Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться или выкрашиваться в процессе работы; поэтому оно должно иметь твердость в пределах HRC 50—55 на высоту не более 30—40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость.

Укажите химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий указанную твердость, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только на лезвии топора.

7) Выберите марку стали для изготовления продольных пил по дереву и укажите режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы.

Режимы термической обработки выберите таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы при закалке и отпуске, а также обеспечить получение в стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна спружинить»).

8) Автосцепки вагонов на железнодорожном транспорте изготавливаются литыми. Для повышения механических свойств отливки подвергают термической обработке.

Выберите марку стали и обоснуйте термическую обработку, если предел прочности должен быть не ниже 343 МПа.

Укажите структуру и механические свойства стали после литья и после термической обработки.

9) Завод изготавливает зубчатые колеса диаметром 60 мм и высотой 80 мм. Предел текучести должен быть не ниже 530—540 МПа.

Выберите сталь для изготовления зубчатых колес и приведите состав и марку, учитывая технологические особенности термической обработки и необходимость предотвратить деформацию и образование трещин при закалке.

Рекомендуйте режим термической обработки и укажите механические свойства в готовом состоянии.

10) Многие измерительные инструменты плоской формы (шаблоны, линейки, штангенциркули) изготавливают из листовой стали; они должны обладать высокой износостойкостью в рабочих кромках. Приведите режимы обработки, обеспечивающей получение этих свойств, если инструменты изготавливают большими партиями из сталей 15 и 20.

11) Выберите марку стали для изготовления рабочих колес центробежного насоса. Рабочие колеса должны обладать высокой коррозионной стойкостью, Укажите режим Т. О. и механические свойства колес в готовом состоянии.

12) Выберите марку стали для изготовления гаечного ключа и укажите режим термообработки и твердость готового ключа. Ключ не должен сминаться или выкрещиваться в процессе работы, а это возможно если твердость ключа будет HRC 40/50.

13) Выберите марку сплава из цветных металлов для изготовления поршней авиационных двигателей.

Укажите механические свойства, химический состав данного сплава, учитывая требования к условиям работы (высокая вязкость и прочность). Обоснуйте свой выбор.

14) Выберите марку стали для изготовления рессор железнодорожного вагона и укажите режим Т. О. и твердость готовых рессор.

Режимы Т. О. выберите таким образом, чтобы предупредить деформацию рессор, а также обеспечить получение в стали упругих свойств.

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### Тема 3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

#### Практическое занятие № 63

#### Выбор вида термической обработки для легированных сталей

**Цель работы** — работа со справочной литературой по выбору легированной стали для деталей в зависимости от условий работы.

**Задание:**

Согласно задания своего варианта:

- 1) изучить условия работы по заданной детали или инструмента и требования, предъявляемые к ней;
- 2) выбрать марку легированной стали для изготовления детали или инструмента, изучить ее химический состав и механические свойства;
- 3) дать обоснование выбора материала для заданной детали или инструмента;
- 4) составить отчет о практическом занятии

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. По полученным данным выполнить задание.
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

№ варианта	№ задачи
1	1,6,15
2	2,7,14
3	3,8,13
4	4,9,12
5	5,10,15
6	6,12,2
7	7,14,5
8	8,10,3
9	9,11,7
10	10,5,13
11	11,9,1
12	12,6,4
13	13,10,5
14	14,6,9
15	15,4,10

**Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы произвести подбор термической обработки легированной стали, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Сделать записи расчетов в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

**Задачи по выбору марки легированной стали в зависимости от условий их работы**

1. Щеки и шары машин для дробления руды и камней работают в условиях повышенного износа, сопровождаемого ударами.

Подберите сталь для изготовления щек и шаров, укажите ее химический состав и свойства.

2. Лопатки реактивных и турбореактивных двигателей работают в окислительной среде при высоких температурах (800—900°C). Металл должен обладать повышенной коррозионной стойкостью и прочностью при указанной температуре.

Подберите металл и сплав, укажите его состав и свойства.

3. Рессоры грузового автомобиля изготавливают из качественной легированной стали; толщина рессоры до 10 мм. Сталь должна обладать высокими пределами прочности, выносливости и упругости.

Подберите сталь, укажите ее состав и свойства в зависимости от термической обработки.

4. Сталь, применяемая для пароперегревателей котлов высокого давления, должна сохранять повышенные механические свойства при длительных нагрузках при температурах 500°C и иметь достаточно высокую пластичность для возможности выполнения холодной деформации (гибки, завальцовки и т.п.) при сборке котла

Подберите сталь, укажите ее состав и механические свойства при комнатной и повышенной температурах.

5. Детали приборов и оборудования, которые устанавливают на морских судах, должны быть устойчивыми не только против действия воды, водяных паров и атмосферы воздуха, но и более сильного корродирующего действия морской воды.

Подберите сталь, укажите химический состав и механические свойства.

6. Крупные пневматические долота, применяемые при разработке горных пород, обладают относительно высокой твердостью и износостойкостью, но вместе с тем должны иметь достаточную вязкость, так как они испытывают в работе ударные нагрузки.

Подберите легированную сталь, укажите химический состав и режим термической обработки.

7. Завод выполняет токарную обработку чугуновых и стальных деталей с большой скоростью резания.

Выберите сплавы для резцов, обеспечивающие высокую производительность обработки стали и чугуна.

Приведите химический состав, структуру, твердость, прочность и теплостойкость и способ изготовления этих сплавов и сравните их с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

8. Подберите сталь для червячных фрез, обрабатывающих конструкционные стали твердостью HB 230.

Объясните причины, по которым для этого назначения нецелесообразно использовать углеродистую инструментальную сталь У12 с высокой твердостью (HRC 63-64)

Укажите режимы термической обработки фрез из выбранной легированной стали.

9. Получение заготовок горячей деформации является производительным способом обработки.

Выберите марку стали для изготовления крупного молотового штампа; рекомендуйте режим термической обработки штампа, укажите микроструктуру и механические свойства после отпуска.

Объясните, почему подобные штампы не следует изготавливать из углеродистой стали.

10. Пружины приборов при нагреве даже в области критических температур могут изменять свои характеристики в связи с изменением модуля упругости. Это снижает точность работы приборов.

Подберите сталь для изготовления пружин, модуль упругости которого не изменяется при температурах до -220C.

Укажите режим упрочнения стали.

11. Выберите марку стали для изготовления насосно-компрессорных труб. Металл должен обладать коррозионной стойкостью, прочностью.

Укажите его состав и механические свойства.

12. Выбрать сталь для изготовления рабочих колес центробежного насоса.

Указать механические свойства и обосновать выбор.

13. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих в агрессивной среде.

Указать механические свойства, обосновать выбор данной марки.

14. Выбрать сталь для изготовления хирургического скальпеля.

Указать механические свойства, химический состав и обосновать выбор.

15. Выберите марку стали для изготовления кулачковой муфты. Кулачки, муфты должны обладать высокой твердостью, износостойкостью поверхностей и общей прочностью.

Указать механические свойства, химический состав выбранной марки, дать обоснование.

### Краткие теоретические сведения

Легированные стали после термической обработки (закалки и отпуска) обладают лучшими механическими свойствами, которые сравнительно мало отличаются от механических свойств углеродистой стали в изделиях малых сечений, а в изделиях крупных сечений (Диаметром свыше 15—20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем углеродистых. Особенно сильно повышаются предел текучести, относительное сужение и удельная вязкость. Это объясняется тем, что легированные стали обладают меньшей критической скоростью закалки, а следовательно, лучшей прокаливаемостью. Из-за большей прокаливаемости и меньшей критической скорости закалки замена углеродистой стали легированной позволяет производить закалку деталей в менее резких охладителях (масло, воздух), что уменьшает деформации изделий и опасность образования трещин. Поэтому легированные стали применяют не только для крупных изделий, но и для изделий небольшого сечения, имеющих сложную форму. Чем выше в стали концентрация легирующих элементов, тем выше ее прокаливаемость.

Инструментальные стали, как имеющие высокие твердость, износостойкость и прочность, используют для режущих инструментов, штампов холодного и горячего деформирования, измерительных инструментов, различных размеров и форм.

Для характеристики и выбора инструментальных сталей следует учитывать прежде всего главное свойство этих сталей — теплостойкость, поскольку рабочая кромка инструментов в зависимости от условий эксплуатации может нагреваться до температуры 500—700°C у режущих инструментов и до 800°C — у штампов.

Стали для резания или горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т. е. обладать теплостойкостью (краснотойкостью). Это свойство создается легированием и термической обработкой. В связи с этим стали различают:

нетеплостойкие, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) при нагреве не выше 190—225°C и используемые для резания мягких металлов с небольшой скоростью, а также для деформирования в холодном состоянии. Это углеродистые и легированные стали (с относительно невысоким содержанием легирующих элементов). Карбидная фаза их — цемент;

полутеплостойкие, преимущественно штамповые, рабочая кромка которых нагревается до 400—500°C. Это стали, легированные хромом и дополнительно вольфрамом, молибденом и ванадием. Карбидные фазы — легированный цементит и карбид хрома;

теплостойкие для резания с повышенной скоростью. Нагрев рабочей кромки до 500—650°C (быстрорежущие стали); штамповка стали при повышенном нагреве до 600—800°C. Основная карбидная фаза — карбид вольфрама (молибдена). Твердость HRC 60—62 у

быстрорежущих сталей после нагрева до 600—680°C и HRC 45—52 у штамповых — 650—700°C.

При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники.

Для получения навыков в выборе легированной стали в зависимости от условий их работы приводится примерное решение задачи.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Составить технологическую карту термической обработки для заданной детали из легированной стали.
4. Сделать записи расчетов в тетрадь.

**З а д а ч а.** Подберите легированную инструментальную сталь повышенной теплостойкости, пригодную для решения жаропрочных сталей, уважите ее марку и химический состав, термическую обработку и микро-структуру в готовом инструменте.

Сопоставьте теплостойкость стали P12 и выбранной стали.

#### **Решение.**

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до HB 220—250). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов пониженная.

Вследствие этого теплота, выделяющаяся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемые, малопригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости типа P12, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615—620 °C.

#### **Химический состав сталей, %**

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co
P18	0,85	0,3	0,3	3,6	12,5	1	1,7	-
P12Ф4К5	1,3	0,3	0,3	3,8	12,5	1	3,5	5,5
P8M3K6C	1,1	0,9	0,3	3,8	8	3,6	1,7	6

Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые стали сохраняют твердость HRC 60 после более высокого нагрева до 640—645°C.

Кроме того, кобальт заметно повышает теплостойкость быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуру режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют высокую твердость — до 68.

Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые сплавы марок P12Ф4К5 или P8M3K6C.

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей.

Закалка до 1240-1250°C (P13Ф4К5) и 1210-1220°C (P8M3K6C), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами.

Более высокий нагрев недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15-30%) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость HRC 60-62.

Затем инструменты отпускают при 550-560°C ( 3 раза по 60 минут). Отпуск:

а) вызывает выделение дисперсных карбидов мартенсита, что повышает твердость до HRC66-69

б) превращает мягкую составляющую- остаточный аустенит в мартенсит

в) снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструмент шлифуют, а затем подвергают цианированию, чаще всего жидкому с выдержкой 15-30 минут в зависимости от сечения инструмента.

Твердость цианирования слоя на глубину 0,02-0,03мм достигает HRC69-70. Цианирование повышает стойкость инструмента на 50-80%.

После цианирования возможен кратковременный нагрев при 450-500°C с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает синий цвет и несколько улучшает стойкость против воздушной коррозии.

#### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

### **Тема3.3 Основные виды термической и химико - термической обработки стали Практическое занятие № 64**

#### **Выбор режима ХТО для конкретных деталей**

**Цель:** выбрать вид химико – термической обработки для заданной детали..

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

- 1.Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
- 2.Назначить вид ХТО для конкретной детали..
- 3.Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

**Краткие теоретические сведения:**

ХТО называется поверхностное насыщение стали тем или иным элементом (углеродом, азотом, алюминием, хромом) путем его диффузии из внешней среды при высокой температуре.

Концентрация диффундирующего элемента на поверхности зависит от активности окружающей среды, обеспечивающей приток атомов этого элемента к поверхности, и скорости диффузионных процессов, приводящих к отводу этих атомов в глубь металла. Толщина диффузионного слоя зависит от продолжительности процесса.

К ХТО относятся цементация стали, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы назначить вид ХТО, основываясь на полученных от преподавателя данных.
2. Сделать записи в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
4. Назначить вид ХТО для конкретной детали исходя из условий ее эксплуатации.
5. Подготовить защиту практической работы.

### **Форма представления результата:**

Отчет о проделанной работе должен содержать название и цель работы, описание хода работы; исходные данные, выводы. Отчет предоставить в письменном виде.

**Критерии оценки:** правильность выполнения работы.

## **Тема3.5 Технология термической обработки на металлургических заводах Практическое занятие № 65**

### **Выбор термической обработки для сортовой стали**

**Цель работы:** Выбрать вид и назначить режим термической обработки сортового проката общего назначения из заданной марки стали для подготовки его к дальнейшей обработки.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Описать назначение термической обработки сортового проката.
2. Выбрать виды и описать режим термической обработки сортового проката из заданной марки стали в соответствии с заданием на практическую работу (таблица 6):
  - указать химический состав заданной марки стали;
  - предложить вид термической обработки для достижения указанной в задании цели, дать обоснование выбранному виду термообработки;
  - разработать режим предложенного вида термической обработки, указав температуру нагрева, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения.
3. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей или методическими указаниями указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
4. Описать контроль качества сортового проката после термообработки.
5. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

### **Теоретическая часть**

Сортамент сортового проката включает простые и фасонные профили общего и отраслевого назначения. К простым сортовым профилям относятся профили общего назначения, сечение которых имеет простую геометрическую форму (круг, шестигранник, квадрат, прямоугольник).

К фасонным профилям проката общего назначения относятся уголок, швеллер, двутавр, а к профилям отраслевого назначения – арматура, шахтная крепь и др.

Простые сортовые профили общего назначения, являющиеся наиболее массовым видом продукции, служат полуфабрикатом для изготовления изделий в машиностроении.

Сортовой прокат общего назначения производят диаметром или стороной квадрата от 5 до 250мм в прутках длиной, как правило, в пределах от 1,5 до 6 м или в бунтах различной массы.



Сортовой прокат изготавливают из различных марок сталей: углеродистых качественных конструкционных (ГОСТ 1050–74), легированных конструкционных (ГОСТ 4543–71), углеродистых инструментальных (ГОСТ 1435–74), легированных инструментальных (ГОСТ 5950–73), быстрорежущих (ГОСТ 19265–73), коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных (ГОСТ 5949–75).

Термическую обработку сортового проката проводят либо с целью снижения твердости для улучшения обрабатываемости резанием или давлением, либо подготовки структуры под окончательную термическую обработку. Характер термической обработки сортового металла определяется составом стали и назначением проката. Основными видами термической обработки сортового проката являются отжиг и высокий отпуск, которые приводят также к уменьшению напряжений, возникающих в металле в процессе прокатки.

Термическую обработку сортового проката на металлургических заводах проводят в печах периодического действия – (садочных) и реже в печах непрерывного действия – роликовых, толкательных, с шагающим подом.

Для наиболее рационального проведения термической обработки сортовой прокат в зависимости от марки стали и назначения условно разделяют на группы, для каждой из которых устанавливают свой технологический режим. В каждую группу объединяют стали, имеющие близкие по значению критические точки, приблизительно одинаковый температурный интервал отжига, одинаковую склонность к окислению и обезуглероживанию, а также примерно одинаковую устойчивость переохлажденного аустенита. Однако на практике одновременное соблюдение отмеченных признаков невозможно без обеспечения максимальной загрузки печей с целью повышения их производительности.

Считается целесообразным группировать стали по их назначению: 1) углеродистые инструментальные У7, У8, У9; 2) углеродистые инструментальные У10, У11, У12, У13; 3) легированные инструментальные Х, ХВГ; 4) шарикоподшипниковые; 5) углеродистые конструкционные; 6) легированные конструкционные; 7) высоколегированные коррозионно- и жаростойкие.

Качество термической обработки, кроме соблюдения режимов, в большой мере зависит от условий загрузки металла в печи. При обработке проката в печах периодического действия проводят предварительное формирование садки, для чего прокат собирают в пакеты с помощью специальных скоб – бугелей, изготовленных из чугуна или жароупорной стали. Для обеспечения равномерности нагрева садки по всему объему используют специальные методы пакетировки металла.

На рисунке 26, *а* и *б* представлены схемы укладки пакетов. На отдельных заводах укладку проката проводят в пакеты П-образной формы, рисунок 1, *б*. При таком пакетировании по сравнению с обычной пакетировкой, рисунок 1, *а* масса садки на 3–5 т меньше. Однако продолжительность выдержки для выравнивания температуры металла в садке снижается на 3–4 ч и в результате производительность печи несколько повышается.

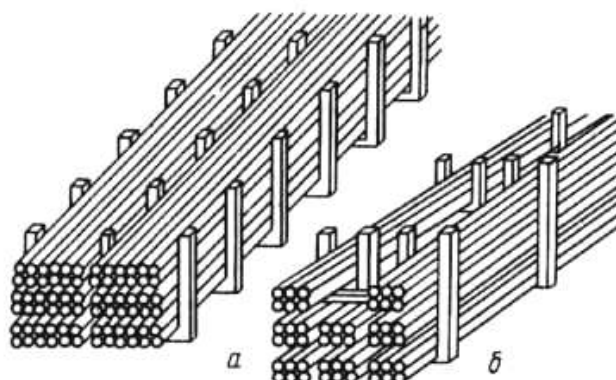


Рисунок 7 – Схемы укладки пакетов: *a* – схема обычной укладки пакетов; *б* – схема П-образной укладки пакетов

При формировании садки из сталей различных марок и профилей необходимо учитывать, что при нагреве температура нижних слоев металла в садке всегда будет ниже температуры верхних слоев, причем это отставание, независимо от конструкции печи, неизбежно. Поэтому в садке, формируемой из различных сталей, в верхних слоях размещают сталь с более высоким значением критических точек, а в нижние слои укладывают, например, стали, более склонные к обезуглероживанию. Следует также учитывать, что мелкие профили, нагрев которых происходит быстрее, следует укладывать в среднюю часть пакета ввиду затрудненности циркуляции печных газов в этой зоне.

Длительность процессов термической обработки сортового проката зависит от скорости нагрева, температуры процесса и скорости охлаждения, величины садки и конструкции используемого оборудования. В большинстве случаев скорость нагрева проката благодаря хорошей теплопроводности стали не ограничивают и устанавливают, исходя из тепловой мощности используемых печей. Для ускорения нагрева иногда температуру в печи в начальный период выдержки устанавливают на 20–40°C выше требуемой. Такая температурная «ступенька» в течение 2–4 ч ускоряет прогрев большой массы холодного металла, благодаря более значительному градиенту температур между горячими печными газами и относительно холодным металлом, что позволяет несколько сократить длительность отжига. Длительность отжига может быть сокращена и за счет выбора предельно допустимых для сталей температур отжига, но при этом следует учитывать усиление процессов окисления и обезуглероживания.

Время выдержки, необходимое для полного прогрева садки и завершения фазовых или структурных превращений, устанавливают на основании производственного опыта различных металлургических заводов в зависимости от типа печи, свойств стали и массы садки.

Рекомендуемая продолжительность выдержки при отжиге сортового проката в камерных печах с внешней механизацией приведена в таблице 1

Таблица 1 - Нормы выдержки при отжиге сортового проката в камерных печах с внешней механизацией

Группа сталей	Нормы выдержки, ч/т, при массе садки, т			
	10–15	15–20	20–25	25–30
Инструментальные легированные, быстрорежущие	0,6–0,65	0,55–0,6	0,5–0,55	0,45–0,5
Инструментальные углеродистые	0,7–0,75	0,65–0,7	0,6–0,65	0,55–0,6
Шарикоподшипниковые	0,95–1,05	0,85–0,95	0,75–0,85	0,65–0,75

Режимы охлаждения при термической обработке сортового проката устанавливают в зависимости от марки стали и предъявляемых требований (твердость, микроструктура). Охлаждение сортового проката после высокого отпуска проводят на воздухе. Скорость охлаждения при отжиге устанавливают из условий необходимости распада аустенита в области

перлитного превращения. Замедленное охлаждение проката при отжиге проводят со скоростью 20–40°С /ч до 600–550°С, а дальнейшее охлаждение осуществляют на воздухе.

### Термическая обработка сортового проката из углеродистых инструментальных сталей

После прокатки углеродистые инструментальные стали имеют структуру пластинчатого перлита различной степени дисперсности в зависимости от диаметра профиля, а, следовательно, и различную твердость. Пластинчатая форма перлита обусловлена тем, что прокатку проводят при температурах выше  $A_{c3}$  и при последующем охлаждении всегда происходит образование пластинчатого перлита. Сталь с такой структурой имеет повышенную твердость и плохо обрабатывается резанием.

Структура и твердость углеродистых сталей после охлаждения на воздухе с температуры конца прокатки приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Структура и твердость проката из сталей после охлаждения на воздухе с температуры конца прокатки

Марка стали	Структура после охлаждения на воздухе	Твердость <i>НВ</i>
У7А	Пластинчатый перлит и феррит	285—229
У8А	Пластинчатый перлит	302—241
У9А	Пластинчатый перлит и цементит	321—255
У10А	То же	321—255
У12А	»	341—269
У13А	»	341—269

Снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием этих сталей достигается за счет получения структуры зернистого перлита. Зернистый перлит, кроме того, является оптимальной исходной структурой для последующей закалки, так как карбиды зернистой формы при нагреве медленнее переходят в твердый раствор, уменьшают склонность к росту зерна аустенита и обеспечивают оптимальное сочетание свойств прочности и вязкости за счет равномерного их распределения в мартенсите.

Для получения структуры зернистого перлита в углеродистых сталях температура нагрева при отжиге должна лишь ненамного превышать  $A_{c1}$ . В этом случае в образующемся неомогенном аустените остаются частицы цементита, являющиеся центрами кристаллизации, и легче происходит образование новых центров.

Оптимальная температура отжига инструментальных углеродистых сталей для получения структуры зернистого перлита  $A_{c1} + (10–20^{\circ}\text{C})$ . Нагрев выше этого интервала приводит к получению более гомогенного аустенита, и при дальнейшем формировании структуры наряду с зернистым перлитом образуется и пластинчатый перлит.

При пониженных температурах отжига сохраняется большое количество нерастворенных частичек цементита, обуславливающих образование мелкодисперсной структуры. В случае же сочетания с повышенной скоростью охлаждения это приводит к образованию точечного перлита, имеющего повышенную твердость.

Скорость охлаждения при отжиге должна обеспечить полноту распада переохлажденного аустенита в верхнем температурном интервале 700–600°С. Охлаждение со скоростью 20–50°С /ч до 600°С при отжиге углеродистых инструментальных сталей способствует завершению распада переохлажденного аустенита в верхней области перлитного превращения и коагуляции цементита.

Стали У7А, У8А, У9А имеют узкий температурный интервал отжига  $A_{c1} + (10-15^{\circ}\text{C})$ , поскольку их состав близок к эвтектоидному. Отжиг этих сталей наиболее затруднителен, так как при отжиге большими садками практически невозможен равномерный нагрев всего объема в столь узком интервале.

Отжиг этих сталей проводят совместно при температуре нагрева  $745^{\circ}\text{C}$

Для сокращения длительности отжига профили размером 40–60мм вначале нагревают до  $760^{\circ}\text{C}$  и выдерживают в течение 2 ч. Стали У10А–У13А имеют больший температурный интервал отжига и, следовательно, отжиг на зернистый перлит осуществляется легче. На результаты отжига влияет исходная структура стали. Заэвтектоидные углеродистые стали после прокатки с окончанием при  $900-950^{\circ}\text{C}$  и обычного охлаждения на воздухе имеют структуру пластинчатого перлита и сетки цементита по границам зерен. Цементитная сетка последующим отжигом не устраняется. Наличие сплошной грубой сетки недопустимо.

Наиболее эффективным методом снижения неоднородности в распределении цементита в инструментальных сталях является разрушение сетки прокаткой при  $800-750^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее снижение температуры конца прокатки ограничено энергетическими возможностями прокатных станов, а также пластичностью металла. С целью предотвращения образования цементитной сетки применяют ускоренное (водой или водо-воздушной смесью) охлаждение раската в интервале  $950-700^{\circ}\text{C}$  по выходе из последней клетки стана.

Заэвтектоидные инструментальные стали перед отжигом подвергают контролю на цементитную сетку, для чего на двух образцах от каждой плавки проверяют микроструктуру. В случае несоответствия структуры требованиям стандарта перед отжигом плавку подвергают нормализации – нагреву выше  $A_{cm}$  (до  $850^{\circ}\text{C}$ ) с выдержкой, обеспечивающей прогрев всей садки, а затем после выгрузки из печи – ускоренному охлаждению мощным потоком воздуха от вентиляторов. Следует учитывать, что нормализация стали приводит к дополнительному обезуглероживанию. Заэвтектоидные углеродистые стали с учетом склонности их к обезуглероживанию подвергают отжигу при  $770-780^{\circ}\text{C}$ . Для ускорения нагрева в первые два часа выдержки температуру поднимают до  $790-860^{\circ}\text{C}$ . Отжиг инструментальных сталей не вызывает существенного обезуглероживания. Однако оно может оказаться значительным из-за нагрева заготовок до высоких температур под прокатку. Глубина обезуглероженного слоя лимитируется размерами профиля и группой отделки поверхности. В случае несоответствия глубины обезуглероженного слоя допустимому пределу металл подвергают специальному отжигу в окислительной атмосфере, называемому на производстве «исправительным». При таком отжиге происходит интенсивное окисление поверхностного обезуглероженного слоя и превращение его в удаляемую впоследствии окалину.

Твердость углеродистых и инструментальных сталей после отжига должна соответствовать следующим значениям (не более):

Сталь..... У7А У8А У9А У10А У12А У13А

Твердость  $HV$  ... 187 187 192 192 207 217

Допустимая глубина ( $h$ ) обезуглероживания сортового проката углеродистых инструментальных сталей следующая:

Размер профиля, мм..... 6–10 11–16 17–25 26–40 41–60

$h$ , мм..... 0,30 0,40 0,50 0,60 0,75

Режимы отжига сортового проката углеродистых инструментальных сталей приведены на рисунке 30. Продолжительность выдержки определяют по данным таблицы 1.

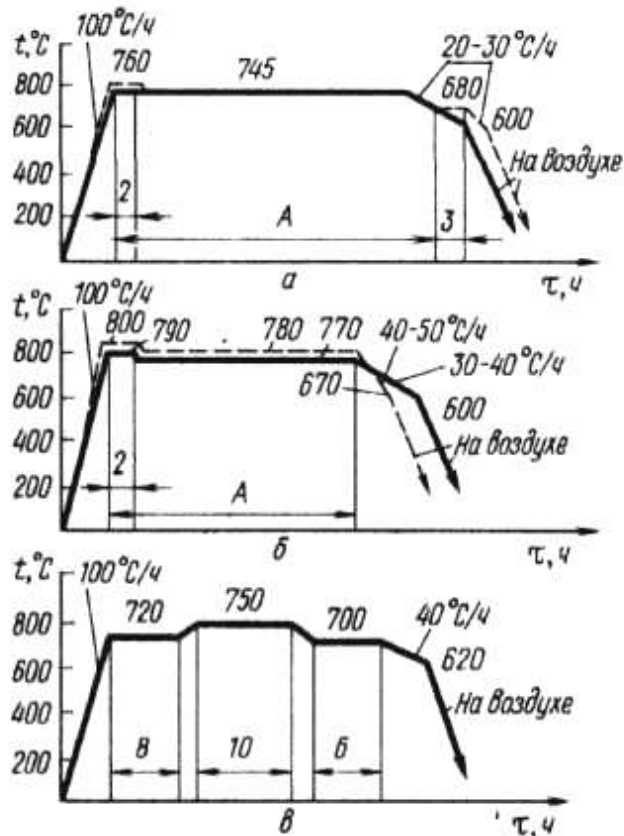


Рисунок 8 – Режимы отжига сортового проката углеродистых инструментальных сталей: *а* – У7, У8, У9; *б* – У10, У11, У12, У13; *в* – «исправительный отжиг сталей У7-У13(масса садки 30 тонн); сплошная линия – профили диаметром до 40 мм; штриховая – диаметром более 40 мм

### Варианты заданий на практическую работу

Таблица 2 - Варианты заданий на практическую работу

Вариант	Марка стали	Цель ТО
1, 6, 11,	У9А	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
16, 21, 26	У12А	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
2, 7, 12,	ХВГ	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
17, 22, 27	Р9	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
3, 8, 13,	4ХВ2С	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
18, 23, 28	40	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
4, 9, 14,	50	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
19, 24, 29	20ХМ	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
5, 10, 15,	25Х2Н4ВА	Снизить твердость, улучшить обрабатываемость резанием
20, 25, 30	15ХФ	Повысить пластичность перед холодным выдавливанием

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

### **Тема 3.5 Технология термической обработки на металлургических заводах** **Практическое занятие № 66**

#### **Выбор режима термообработки листового проката**

**Цель:** Выбрать вид и назначить режим термической обработки листового проката из заданной марки стали для подготовки его к дальнейшей обработке.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Описать назначение термической обработки сортового проката.
2. Выбрать виды и описать режим термической обработки листового проката из заданной марки стали в соответствии с заданием на практическую работу (таблица 2):
  - указать химический состав заданной марки стали;
  - предложить вид термической обработки для достижения указанной в задании цели, дать обоснование выбранному виду термообработки;
  - разработать режим предложенного вида термической обработки, указав температуру нагрева, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения.
3. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей или методическими указаниями, указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
4. Описать контроль качества листового проката после термообработки.
5. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

#### **Теоретическая часть**

Листовой прокат составляет почти половину от общего количества проката, производимого на металлургических заводах, и потребность в нем постоянно возрастает. Применение прогрессивных технологических процессов штамповки и сварки взамен литья,ковки и резания обуславливает широкое использование листового проката в различных отраслях машиностроения и в строительстве. В зависимости от толщины листовую сталь условно разделяют на тонколистовую (толщиной 0,2–3,9 мм) и толстолистовую (толщиной 4,0–160 мм). Тонколистовую сталь производят в листах шириной от 500 до 4000 мм и длиной от 1200 до 5000 мм, а также в виде полосы в рулонах шириной от 200 до 2300 мм. Толстолистовую сталь производят в виде листов или широкой полосы.

Листовой прокат используют, как правило, в состоянии поставки, т. е. без дополнительной термической обработки у потребителя и свойства стали в листах, поставляемых с металлургических заводов, в основном сохраняются и в готовых изделиях. Поэтому к листу предъявляют требования по механическим свойствам. В зависимости от категории (группы) поставки нормируют все или некоторые из следующих характеристик: предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, ударную вязкость после механического старения и при различных температурах (от +20 до минус 70°C).

Преобладающую часть листового проката используют для изготовления изделий методами холодной пластической деформации (штамповкой, гибкой и т. п.), в связи с чем к стали предъявляют требования по штампуемости, характеризуемой глубиной лунки при испытании на вытяжку по Эриксену, и способностью выдерживать испытание на загиб. Перспективными

критериями характеристик штампуемости являются коэффициент нормальной пластической анизотропии и показатель упрочнения.

В некоторых случаях к листовой стали предъявляют требования по микроструктуре (величине и неравномерности зерна, наличию и распределению структурно-свободного цементита, глубине обезуглероженного слоя).

Принято и нашло отражение в стандартах подразделение стали на категории по уровню механических свойств и видам механических испытаний, и на группы по способности к вытяжке (обозначаемые Г – глубокая, Н – нормальная, ВГ – весьма глубокая, СВ – сложная, ОСВ – особо сложная и ВОСВ – весьма особо сложная).

### **Цели и виды термической обработки**

Стандарты на поставку листовой стали представляют заказчику возможность весьма широкого выбора стали как по химическому составу, так и по уровню механических свойств. Требуемые свойства могут существенно отличаться от свойств, получаемых непосредственно после прокатки, и в этом случае возникает необходимость в термической обработке. Такая термическая обработка осуществляется на завершающих стадиях цикла производства листа и является окончательной. Используют также и промежуточную термическую обработку, выполняемую после холодной или горячей прокатки для облегчения последующей холодной деформации.

Рассмотрим основные виды термической обработки, используемые при производстве листового проката.

Рекристаллизационный отжиг – для восстановления пластичности стали после холодной деформации. Такому отжигу подвергают всю тонколистовую холоднокатаную качественную сталь для холодной штамповки. Рекристаллизационный отжиг применяют и на промежуточных стадиях изготовления листа для повышения пластических свойств стали и облегчения ее последующей прокатки.

Отжиг – в основном для горячекатаных листов, свойства которых не соответствуют требованиям стандартов;

Нормализация (иногда с высоким отпускком) – с целью измельчения зерна и повышения его однородности, устранения полосчатости структуры, уменьшения склонности к деформационному старению, улучшения штампуемости.

Закалка и высокий отпуск (улучшение) – для обеспечения требуемых высоких механических свойств.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с общими принципами выполнения названных операций с учетом химического состава и исходной структуры стали, требуемых свойств после термической обработки. Конкретные температурно-временные параметры выполнения различных операций должны быть установлены с учетом состава и назначения стали, предварительной обработки, геометрии полосы, массы садки, теплотехнических характеристик нагревательных устройств.

### **Термическая обработка листового проката из углеродистой стали**

#### **Тонколистовая сталь**

Термическая обработка холоднокатаного листа регулирует конечную структуру и свойства стали с целью ее разупрочнения и обеспечения наилучшей штампуемости. Для этого используют рекристаллизационный отжиг, реже нормализацию.

Основная часть тонколистовой стали предназначена для холодной штамповки. Для этой цели используют низкоуглеродистые кипящие и спокойные стали. Для предотвращения склонности к старению вводят алюминий, ванадий, титан.

Наилучшая штампуемость обеспечивается при структуре равноосного феррита с размером зерна № 5–7 (для кипящих сталей), либо неравноосного (оладьеобразного, сплющенного) феррита

(для спокойных сталей) с небольшим количеством мелкозернистого структурно свободного цементита. Спокойная сталь с неравноосным ферритным зерном характеризуется более низкими пределом текучести и отношением  $\sigma_T/\sigma_B$  меньшей твердостью и большей глубиной выдавливания (по Эриксену).

У нестареющих сталей (содержащих алюминий, титан и ванадий) азот и углерод должны быть связаны в стабильные нитриды и карбиды.

Процесс рекристаллизации в кипящих и спокойных сталях имеет свои особенности, что связывают с влиянием на миграцию границ зерен нитридов алюминия или сегрегационных предвыделений.

Структура и свойства холоднокатаной стали зависят не только от режимов отжига, но и от степени предшествующей холодной деформации, а также от степени обжатия при горячей прокатке, температуры конца горячей прокатки и смотки полосы в рулон.

В общем случае температуру рекристаллизационного отжига назначают в пределах от 640°С до  $A_{c1}$ . При более низкой температуре зерно получается мельче оптимального размера, что ухудшает штампуемость стали. При нагреве выше  $A_{c1}$  ввиду частичной перекристаллизации возникает опасность образования крупной и разнотерной структуры, грубых участков перлита, а также слипания кромок витков в рулоне. Обычно тонкий листовой металл для глубокой вытяжки отжигают при 640–670°С, более толстый – выше 670°С. Так как алюминий замедляет процессы рекристаллизации, спокойные стали отжигают при повышенных температурах (вблизи  $A_{c2}$ ), что также облегчает образование нитридов и повышение устойчивости к старению.

Большую часть листового металла для глубокой вытяжки отжигают в рулонах в колпаковых печах с принудительной циркуляцией защитной атмосферы.

**Отжиг в колпаковых печах.** Рулоны собирают в стопы на стенде печи. Между рулонами прокладывают конвекторные кольца. С помощью крана опускают муфель и проводят уплотнение песочного затвора, затем продувают муфель защитным газом для удаления воздуха, включают вентиляторы, устанавливают нагревательный колпак и осуществляют горячую продувку. Защитный газ должен поступать под муфель в течение всего периода обработки. По окончании нагрева и выдержки печь выключают, снимают колпак и переносят его на другой стенд. Садку охлаждают под муфелем при подаче защитного газа до 110–140°С или до 150–180°С в зависимости от категории поставки.

В качестве защитной атмосферы все чаще используют азотную атмосферу (3–5%  $H_a$  и 95–97%  $N_2$ ) с точкой росы не выше –40°С.

**Скорость нагрева.** Для повышения однородности распределения температуры по сечению рулонов в колпаковых печах нагрев проводят медленно (со скоростью 10–50°С/ч). Рекомендуется также ступенчатый нагрев с выдержкой при 550°С в течение 10–19 ч соответственно для рулонов с массой 11–13 т.

Показано, что повышение скорости нагрева может служить определенным резервом интенсификации весьма длительного процесса отжига, при этом скорость нагрева до 550°С можно не регламентировать, а при более высоких температурах допустимым является нагрев со скоростью 180–250°С/ч для кипящих и 100–150°С/ч для спокойных сталей. Дальнейшее повышение скорости нагрева приводит к снижению пластичности стали.

**Температура нагрева.** Для кипящих сталей назначают температуру в пределах 680–700°С, для спокойных – в пределах 700–720°С.

**Время нагрева и выдержки.** Для сталей продолжительность нагрева и выдержки назначают из условия получения допустимого перепада температуры по сечению рулона. Этот перепад не должен превышать 20–40°С для стали ВОСВ, ОСВ, СВ; 40–50°С – для ВГ и Г; 50–70°С – для Г и Н.



В колпаковых печах первичная рекристаллизация стали проходит уже в процессе медленного нагрева садки до температуры отжига. Собираательная рекристаллизация развивается весьма медленно, поэтому удовлетворительную структуру и свойства стали можно получить после кратковременных выдержек при 680–720°C. При необходимости уменьшения полосчатости структуры, высоких и однородных пластических свойств длительность отжига увеличивают на 2–12 ч в зависимости от марки и назначения стали. Для спокойных сталей с целью обеспечения их устойчивости к деформационному старению изотермическую выдержку назначают в пределах 5–15 ч для сталей с алюминием и до 20 ч для сталей с ванадием.

Скорость охлаждения. Скорость охлаждения не оказывает существенного влияния на геометрию основных структурных составляющих (феррита и цементита), но влияет на свойства стали в связи с переменной растворимостью и выделением азота и углерода из феррита. Наиболее велики изменения растворимости углерода в интервале 720–400°C, азота – в интервале 600–300°C. Для предотвращения склонности стали к старению охлаждение в указанных интервалах должно быть медленным со скоростью, не превышающей 40°C/мин.

Типичный график режима отжига рулонов в одностопной колпаковой печи приведен на рисунке 29.

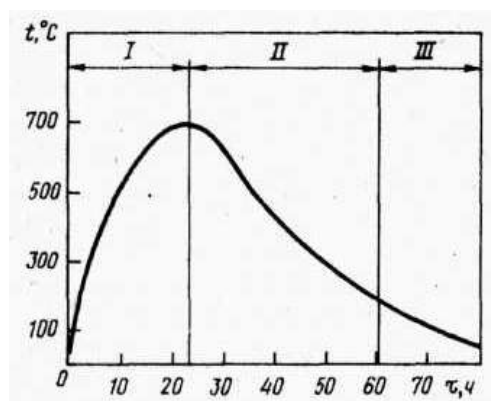


Рисунок 9 – Типичный режим отжига рулонов из стали 10 в одностопной колпаковой печи:

После отжига рулоны направляют на дальнейшую обработку (дрессировку, отделку и др.).

**Непрерывный отжиг.** Большие технологические преимущества в отношении производительности процесса, качества поверхности и однородности свойств металла создает непрерывный отжиг листового проката в горизонтальных протяжных и вертикальных печах башенного типа с конвекционным нагревом и с нагревом в жидких теплоносителях.

Для ускорения рекристаллизации температуру отжига повышают до 720°C и выше (иногда до 870°C). Общая продолжительность цикла нагрева составляет 90–150 с при конвекционном нагреве и 15–20 с при нагреве в жидких теплоносителях. Однако рекристаллизация при быстром нагреве приводит к мелкозернистости феррита, повышению твердости и прочности, ухудшению штампуемости стали. Быстрое охлаждение стали при непрерывном отжиге вызывает повышенное содержание углерода в твердом растворе и обуславливает склонность стали к старению. Выделение углерода из твердого раствора можно достичь при перестаривании, осуществляемом путем нагрева стали до определенной температуры в процессе или после окончания охлаждения стали после отжига.

Графики режимов непрерывного отжига холоднокатаной стали толщиной 0,4–2,0 мм и шириной 900–1550 мм в агрегате с башенными печами представлены на рисунке 30.

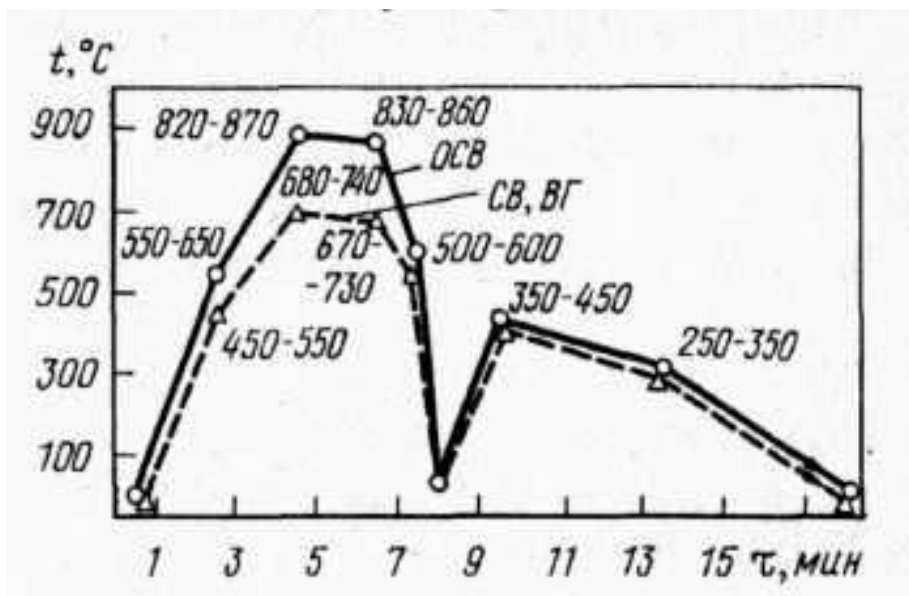


Рисунок 10 - Графики режимов термической обработки на агрегате непрерывного отжига для получения листа категорий СВ, ВГ (сталь 08Ю, 08пс) и ОСВ (сталь 08Ю)

Процессы непрерывного отжига непрерывно совершенствуются и получают все большее распространение для различных сталей, категорий и групп поставки.

Толстолистовую горячекатаную сталь производят в виде листов, рулонов, полосы с весьма широким диапазоном свойств. В зависимости от назначения и условий обработки у потребителя сталь может быть поставлена как без термической обработки, так и после смягчающей либо упрочняющей термической обработки. Для регулирования механических свойств в качестве окончательной термической обработки используют отжиг, нормализацию (часто с высоким отпуском) и закалку с высоким отпуском.

Термическую обработку проводят в проходных роликовых печах, при этом для травленных полос используют защитные атмосферы.

Нормализацию (с высоким отпуском) применяют для повышения пластичности стали толщиной не более 15 мм, предназначенной для холодной штамповки.

Закалка с высоким отпуском позволяет уменьшить склонность сталей к деформационному и термическому старению и повысить характеристики прочности

08кп, 10кп, 15кп, 08, 10, 15, 15Г, Ст1, Ст2	920—940
20, 20Г, ВМСт3, Ст3 . . . . .	900—910
25, 30, 30Г, Ст4, Ст5 . . . . .	860—880
35, 40, 45, 45Г . . . . .	820—840
50, 50Г, 60Г, 65Г, 70, 70Г . . . . .	780—820

Приведем температуру нормализации и закалки некоторых сталей, °С:

Охлаждение при закалке проводят в закалочных устройствах (прессы, душирующие установки, роликовые закалочные машины).

Отпуск осуществляют в проходных (реже садочных) печах при 600–700°С. Время нагрева при отпуске в проходных печах определяют из расчета 1,5–4,0 мин/мм, охлаждение – на воздухе или распыленной водой.

Термическая обработка листового проката из легированных сталей

Прокат из легированных сталей поставляется тонко- и толстолистовым как без термической обработки, так и в термически обработанном состоянии. В зависимости от требуемых

механических свойств готовых листов применяют следующие виды термической обработки: отжиг, нормализацию, нормализацию с высоким отпуском, закалку с высоким отпуском. В последние годы производство термически обработанного и особенно упрочненного проката непрерывно расширяется, что имеет большое народнохозяйственное значение ввиду сокращения удельного расхода стали, увеличения срока службы изделий, надежности и долговечности продукции, что равносильно увеличению объема готовой металлопродукции. В частности, упрочняющая термическая обработка проката из углеродистых и низколегированных сталей является эффективным способом повышения прочности и хладостойкости стали.

Для листов из низколегированных сталей в основном используют нормализацию или закалку с высоким отпуском. Нормализация позволяет повысить в основном ударную вязкость стали; закалка с отпуском в 1,5–1,8 раза повышает характеристики прочности стали при сохранении достаточно высокой пластичности и хладостойкости, снижает склонность к деформационному старению.

Листы из легированных конструкционных сталей подвергают отжигу, отпуску, нормализации или улучшению.

Высоколегированные стали аустенитного и аустенито-ферритного классов закаливают, а ферритного и мартенситного – отжигают или подвергают высокому отпуску.

Термическую обработку (нормализацию, закалку, отпуск) листов толщиной до 50 мм проводят в проходных роликовых печах, более толстых – в печах садочного типа (преимущественно в камерных с выдвижным подом).

Температура нагрева некоторых сталей при различных операциях термической обработки приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Температура нагрева листов из легированных сталей при различных операциях термической обработки.

Марка стали	Температура, °С		
	отжига	нормализации (Н), закалки (З)	отпуска
<i>Низколегированные стали</i>			
14ХГС, 17Г1С, 17ГС, 16ГС, 14Г2	—	900–920 (Н)	—
09Г2, 10ХСНД, 10Г2С1Д	—	930–950 (Н, З)	690–710
09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1	—	940–960 (Н, З)	660–690
<i>Легированные конструкционные стали</i>			
38ХА, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х	750–800	840–860 (Н)	690–710
20ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 25ХГФ	750–800	820–840 (Н)	690–710
<i>Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали: аустенитный класс</i>			
08Х22Н6Т, 10Х14Г14Н3, 10Х14АГ13, 20Х20Н14Г2	—	1000–1050 (З)	—
20Х13Н4Г9, 10Х14Г14Н4Т, 12Х14Г9АН4, 03Х17Н14М3	—	1050–1080 (З)	—
20Х25Н20С2, 12Х25Н16ТАР	—	1080–1100 (З)	—
10Х23Н18	—	1100–1150 (З)	—
<i>мартенситный класс</i>			
12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 11Х11Н2ВМФ	840–880	—	—
<i>ферритный класс</i>			
14Х17Н2, 08Х13, 12Х17, 08Х17Т, 08Х18Т1, 15Х25Т, 15Х28	—	760–780	—

Время нагрева и выдержки назначают с учетом теплотехнических характеристик печей, в общем случае для проходных роликовых печей продолжительность нагрева может быть ориентировочно определена из расчета 1,0–2,0 мин/мм для нормализации и закалки, 3,0–6,0 мин/мм для отпуска.

Охлаждение листов при закалке осуществляют в прессах или в роликовых закалочных машинах. Закалочный пресс состоит из двух гребешковых рам, между которыми зажимают лист с усилием около 1300 кН и охлаждается водой через отверстия в полых прижимных рейках рамы. Более совершенными устройствами для охлаждения толстых листов являются роликовые закалочные машины, где лист зажимают не рейками, а вращающимися роликами и в процессе охлаждения струями воды он перемещается.

В ряде случаев, особенно при использовании садочных печей, листы охлаждают в баках с водой, перемешиваемой воздухом.

Охлаждение при нормализации низколегированных сталей и отпуске проводят на воздухе (на открытом рольганге) или ускоренно (распыленной водой).

Для отжига листов и рулонов чаще используют садочные печи. Охлаждение при отжиге легированных конструкционных сталей проводят в стопах или на рольганге, закрытом футерованным кожухом, со скоростью 30–60°С/ч приблизительно до 500°С, далее на воздухе.

Для предотвращения обезуглероживания и окисления холоднокатаную и горячекатаную травленую листовую сталь нагревают в защитных атмосферах. После отжига холоднокатаные листы охлаждают в защитной атмосфере до 160–180°С.

В последние годы на металлургических заводах освоен ускоренный отпуск листов, который проводят в печах с температурой 940–960°С, а время пребывания листов в печи рассчитывают таким образом, чтобы температура металла на выходе из печи была на 20–30°С выше температуры при обычном отпуске. Это в 2–3 раза сокращает длительность отпуска.

Термическая обработка листового проката из двухфазных (мартенситно-ферритных) сталей

Применение таких сталей позволило получить повышенные характеристики прочности ( $\sigma_T = 350\text{--}450$  МПа,  $\sigma_B = 600\text{--}1000$  МПа) при штампуемости на уровне низкоуглеродистых нелегированных сталей ( $\delta = 20\text{--}30\%$ ,  $\sigma_T / \sigma_B = 0,5\text{--}0,63$ ). Эти стали содержат 0,06–0,13% С; 1–2% Мп; 0,25–1,5% Si; 0,5% Cr; 0,1% V или 0,1–0,4% Мо.

Двухфазную структуру, состоящую из зерен феррита, окруженных участками мартенсита (иногда бейнита) в количестве 5–15% получают закалкой при нагреве до температур, соответствующих  $\alpha + \gamma$  области (750–800°С) с резким охлаждением со скоростью 10–200°С/с. Легирующие элементы способствуют повышению устойчивости аустенита и тем самым предотвращают его распад при охлаждении из двухфазной области. Кроме того, кремний способствует повышению временного сопротивления стали и не влияет на ее предел текучести. Наличие феррита служит основной причиной хорошей штампуемости стали.

При изготовлении деталей методом штамповки после деформации проводят кратковременный отпуск при 200–400°С. Отпуск можно совместить с процессом сушки изделий после покраски, что создает большие технологические преимущества. При отпуске развивается деформационное старение, повышающее предел текучести стали.

Термическую обработку двухфазных сталей в колпаковых печах не производят ввиду неизбежного слипания витков рулона при нагреве до высоких температур (соответствующих  $\alpha + \gamma$  области) и невозможности осуществления требуемых больших скоростей охлаждения. Для термической обработки используют агрегаты непрерывного отжига. Конкретные температурно-временные параметры термической обработки назначают с учетом фактического состава стали (температур критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ ) и требуемых свойств. Иногда используют перестаривающий отпуск, что повышает предел текучести стали.

Мартенситно-ферритные стали используют в автомобильной промышленности (для изготовления ободов колес, дверных крепежных и других деталей) и других отраслях машиностроения, когда необходимо уменьшить массу деталей за счет повышения прочности или заменить используемую сталь равнопрочной с лучшей штампуемостью.

## Варианты заданий на практическую работу

Таблица 2 - Варианты заданий на практическую работу

Вариант	Сталь	Цель ТО
1-5	холоднокатаный лист 0,8 мм, марка 10сп	получить категорию вытяжки ОСВ, ТО в колпаковых печах
6-10	холоднокатаный лист 0,8 мм, марка 08Ю	получить категорию вытяжки ОСВ, в агрегате непрерывного отжига
11-15	горячекатаный лист 10 мм, марка Ст1	повысить пластические свойства перед штамповкой
16-20	горячекатаный лист 3 мм, марка 30ХГСА	повысить ударную вязкость
21-25	горячекатаный лист 3 мм, марка 40Х	повысить прочность при сохранении достаточной пластичности
26-30	холоднокатаный лист 0,5 мм, 08ХГС	получить высокие характеристики прочности и пластичности за счет получения двухфазной феррито-мартенситной структуры

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

### Тема 3.5 Технология термической обработки на металлургических заводах Практическое занятие № 67

#### Термическая обработка проволоки

**Цель:** Выбрать вид и назначить режим термической обработки проволоки из заданной марки стали для подготовки ее к дальнейшему волочению.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Описать цель проведения промежуточной термической обработки проволоки (катанки) перед волочением.
2. Выбрать вид и описать режим термической обработки проволоки из заданной марки стали в соответствии с заданием на практическую работу (таблица 3):
  - указать химический состав заданной марки стали;
  - предложить вид термической обработки для достижения указанной в задании цели, дать обоснование выбранному виду термообработки;
  - разработать режим предложенного вида термической обработки, указав температуру нагрева, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения.
3. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей или методическими указаниями, указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
4. Описать контроль качества проволоки после термообработки.
5. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

#### **Теоретическая часть**

#### **Технология термической обработки проволоки**

Проволока представляет собой сталь с круглым или фасонным (квадратным, прямоугольным, клиновидным, трапециевидным и др.) сечением размером (диаметром) до 16 мм, поставляемую в мотках (при диаметре до 10 мм) или в бунтах (диаметром более 10 мм). Наиболее распространена круглая проволока. Проволоку изготавливают свыше 7000 типоразмеров.

По назначению различают пружинную, канатную, арматурную, подшипниковую, вязальную, игольную проволоку и др.

По величине диаметра проволоку условно подразделяют на особо толстую – диаметром свыше 8 мм, толстую – 6–8 мм, средней толщины – 1,6–6,0 мм, тонкую – 0,4–1,6 мм, тончайшую – 0,1–0,4 мм, наитончайшую (микронную) – менее 0,1 мм.

Значительную часть проволоки выпускают с защитными антикоррозионными покрытиями: цинком, оловом, кадмием, алюминием, хромом, пластмассами и лаками.

Развивается производство биметаллической проволоки (сталеалюминиевой, сталемедной).

В общем объеме производства проволоки преобладающую долю занимает проволока обыкновенного качества, изготавливаемая из низкоуглеродистых сталей; меньшую – повышенной и высокой прочности из средне- и высокоуглеродистых и легированных сталей.

Для большинства видов проволоки нормируются механические свойства в состоянии поставки. При этом основными контролируемыми характеристиками являются: предел прочности на растяжение, число перегибов, число скручиваний, способность выдерживать навивку вокруг стержня определенного диаметра без поломок и растрескивания. Кроме того, к проволоке отдельных групп в зависимости от ее назначения предъявляют дополнительные требования. В частности, тонкую (диаметром до 0,8 мм) канатную проволоку дополнительно испытывают на разрыв с узлом. Подшипниковую проволоку, предназначенную для изготовления деталей подшипников качения, проверяют по излому, микроструктуре, глубине обезуглероженного слоя, макроструктуре (флокенам, остаткам усадочной раковины, пористости, газовым пузырям, трещинам и др.).

Для отдельных видов проволоки стандартами предусмотрены различные классы и категории поставки. Например для пружинной проволоки из углеродистых сталей, применяемой для пружин, навиваемых в холодном состоянии и не подвергаемых закалке (ГОСТ 9389–78), установлены четыре класса (I, II, ПА и III), различающиеся по уровню механических свойств. Канатную проволоку поставляют по высшей и первой категориям.

Ввиду того, что дефекты поверхности служат концентраторами напряжений и очагами разрывов, к проволоке, особенно высокопрочной, предъявляют весьма высокие требования по качеству поверхности. Не допускаются закаты, плены, окалина, ржавчина, а также риски, царапины, раковины и вмятины, превышающие по глубине половину предельно допустимых отклонений по диаметру проволоки.

### **Технологические схемы производства проволоки, цели и виды термической обработки**

Проволоку получают главным образом волочением. Исходной заготовкой служит горячекатаный прокат – катанка с размерами 4,7–19 мм. Наиболее часто используют катанку диаметром 6,5 мм.

Качество катанки должно обеспечивать отсутствие обрывов при волочении и однородность готовой проволоки по механическим свойствам, в связи с чем катанка контролируется по неметаллическим включениям, усадочной рыхлости, раковинам, пузырям, дефектам прокатки (закатам, трещинам, вмятинам и т. д.). Наряду с перечисленными характеристиками весьма важна микроструктура катанки, регулируемая в зависимости от состава стали условиями ее охлаждения после прокатки и последующей термической обработкой. На заводах используют охлажденную на воздухе, ускоренно-охлажденную и сорбитизированную катанку. Для сталей с 0,4–0,9% С оптимальной деформируемостью при волочении, наряду с высокой однородностью структуры и свойств металла, обладает сорбитизированная (патентированная) катанка.

Ускоренно-охлажденную катанку производят путем охлаждения проката водой до среднемассовой температуры 650–680 °С с переохлаждением поверхности ниже температуры начала мартенситного превращения, дальнейшее охлаждение происходит на воздухе в смотанном

состоянии, что приводит к неоднородности структуры и свойств по сечению катанки и длине мотка. Структура изменяется от сорбита отпуска в поверхностных слоях до тонкопластинчатого перлита в центре сечения. Для повышения пластичности такую катанку подвергают **патентированию**.

Все большее применение находит в промышленности сорбитизация катанки с прокатного нагрева без последующего ее патентирования. По деформируемости такая катанка близка к патентированной в солях.

Для производства игольной проволоки из стали У7А, которая должна иметь в состоянии поставки структуру зернистого перлита, предложена новая перспективная технология, заключающаяся в ускоренном охлаждении катанки перед смоткой в бунт до 500 –550°С, что приводит к распаду аустенита по абнормальному механизму с образованием структуры мелкодисперсного зернистого перлита, с последующим рекристаллизационно-сфероидизирующим отжигом проволоки (диаметром 3,0 мм) по сокращенному режиму (690°С, 4 ч) для получения требуемой дисперсности зернистого перлита.

Технологический процесс производства проволоки включает чередование операций термической обработки (патентирования, нормализации или отжига), подготовки поверхности металла к волочению, волочения. В зависимости от стали и диаметра проволоки этот цикл выполняют однократно либо повторяют несколько раз. Процесс начинается либо с подготовки поверхности, либо с термической обработки.

Подготовка поверхности катанки включает удаление окалины, которое проводят травлением серной и соляной кислотой, либо механическими способами (ломкой окалины путем изгиба металла в роликах, обдувкой струей металлической дроби или абразива). Перед волочением на поверхность катанки наносят изолирующий (подсмазочный) слой из материала, обладающего высокой адгезией с материалом катанки и обеспечивающего хороший захват смазки при волочении. Непосредственно перед волочением наносят волочильные смазки (жирные кислоты и мыла на их основе), затем осуществляют волочение в твердосплавных (на основе карбида вольфрама и кобальта) либо алмазных (для тончайшей проволоки) волоках.

Для повышения стойкости против коррозии отдельные виды проволоки производят с защитными покрытиями, которые наносят либо на проволоку окончательного размера, либо на заготовку после ее патентирования. Завершающими операциями цикла производства проволоки являются испытания, смазка и упаковка.

Современное состояние производства проволоки характеризуется тенденцией к совмещению отдельных технологических операций в единых агрегатах и линиях, что является предпосылкой создания высокомеханизированных и автоматизированных поточных линий и цехов. В частности совмещают операции патентирования и цинкования, патентирования и подготовки поверхности к волочению, отжига и волочения проволоки из низкоуглеродистых сталей.

Термическую обработку при производстве проволоки применяют с целью:

- а) получения структуры, обеспечивающей способность стали к волочению до заготовки заданного размера;
- б) получения заданных характеристик прочности и пластичности готовой проволоки.

Основными операциями термической обработки являются рекристаллизационный отжиг, патентирование и закалка с отпуском.

#### *Рекристаллизационный отжиг*

Это основной вид термической обработки при изготовлении проволоки из низкоуглеродистых сталей. Такой отжиг применяют в качестве промежуточной обработки и для проволоки из высокоуглеродистых сталей, поставляемой со структурой зернистого перлита.

Мотки проволоки отжигают в колпаковых печах с газовым или электрическим обогревом, либо в проходных печах с размещением мотков на движущемся роликовом или ленточном поду. Типичные режимы отжига в колпаковых и проходной печи с роликовым подом приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Режимы отжига мотков проволоки в колпаковых печах

Марка стали	Диаметр проволоки, мм	$\sigma_B$ , МПа	Режим отжига	
			$t_H$ , °C	$\tau$ , ч
10	0,9—10,0	350—460	700	3
25	0,2—6,0	400—530	700	3
30, 50	0,2—6,0	500—600	700	6
У7—У9	0,2—0,6	600—700	670	4

Примечание.  $t_H$  — температура нагрева.

Марка стали	Режим нагрева		Режим охлаждения (в печи)		Структура
	$t_H$ , °C	$\tau$ , мин	$t_0$ , °C	$\tau$ , мин	
У8А	720	60	650	—	ЗП + + ПП
У12А	770	60	690	60	ЗП
65С2ВА	740	60	650	—	ЗП
Р6АМ5	860	180	730	240	СП
	860	180	600	—	СП

Используют также печи и установки, в которых осуществляется скоростной нагрев и охлаждение проволоки, перемещаемой в виде отдельных нитей. В частности, в протяжных печах одновременно протягиваются 12–48 нитей металла. Температуру рекристаллизационного отжига назначают в пределах 680–730°C. В связи с пониженной пластичностью металла и склонностью к деформационному старению этот процесс применяют в основном в качестве предварительной обработки проволоки на промежуточных этапах ее производства.

Разработаны установки для отжига проволоки с индукционным и электроконтактным нагревом. При использовании индукционного нагрева проволоку в мотках нагревают до 750–830°C по наружной поверхности мотка и 680–700°C – по внутренней поверхности в течение 35–60 мин, предпочтительно в газовой защитной атмосфере. Охлаждение до 400°C ведут замедленно в течение 15–20 мин, далее – до температуры 40–50°C в масле – в течение 10–15 мин. Замедленное охлаждение подавляет склонность проволоки к деформационному старению в процессе хранения, что весьма важно, например, для сеновязальной проволоки.

Отжиг тончайшей проволоки из низкоуглеродистых сталей (для производства сеток) выполняют с индукционным нагревом на катушках в вакуумированном муфеле.

#### Патентирование

Патентирование широко применяют в производстве стальной проволоки из средне- и высокоуглеродистых и некоторых легированных (70С2ХА, 65Г, 50ХФА и др.) сталей, содержащих



0,35–0,94% С. Патентирование выполняют путем нагрева стали до аустенитного состояния с последующим охлаждением в средах (солях, свинце, кипящем слое) с температурами, обеспечивающими превращение переохлажденного аустенита в тонкопластинчатый перлит (сорбит) с толщиной пластинок цементита 10–40 нм и феррита 60–200 нм. В микроструктуре патентированной стали не должно быть мартенситных включений и избыточного феррита.

Такая структура позволяет проводить волочение с высокими степенями обжатия и обеспечивает после волочения упрочнение стали с сохранением повышенной пластичности и вязкости.

Патентирование осуществляется при непрерывном движении проволоки через нагревательную печь для аустенитизации и патентировочную ванну для превращения аустенита. Особенностью нагрева и охлаждения при патентировании является кратковременность этих процессов, так как их выполняют на проволоке, размотанной в нить. В связи с этим температурные режимы нагрева и охлаждения назначают в зависимости не только от состава стали, но и от диаметра проволоки. Температура проволоки, как правило, не успевает достичь температуры соответствующих печей или ванн.

При патентировании в промышленных условиях превращение переохлажденного аустенита происходит не в изотермических условиях, а при снижающейся температуре проволоки, при этом отличие фактических температур начала и конца превращения от температуры охлаждающей среды тем меньше, чем тоньше патентируемая проволока при прочих равных условиях.

#### *Патентирование с печным нагревом*

Стальную проволоку нагревают в печах с электрическим, газовым или мазутным обогревом. Температуру нагрева ( $t_n, ^\circ\text{C}$ ) при патентировании проволоки диаметром  $\leq 6,0$  мм определяют и зависимости от содержания углерода в стали ( $C, \%$ ) и диаметра проволоки ( $D, \text{мм}$ ) по формуле:

$$t_n = 900 - 50 C + 10D.$$

Температура патентирования, рассчитанная таким образом, превышает принятую для обычных процессов термической обработки (закалки, отжига). Положительное влияние повышенных температур нагрева при патентировании связывают с более полным растворением карбидов и повышением степени гомогенности аустенита, а также с его крупнозернистостью. Все это обеспечивает равномерное строение сорбитовой структуры после патентирования, повышенную пластичность и деформируемость стали, а также получение после волочения волокнистой структуры с высокой прочностью и стойкостью к перегибам и скручиваниям. Сообщается, что применение еще более высоких температур нагрева (до  $970\text{--}1050^\circ\text{C}$  и даже до  $1100\text{--}1180^\circ\text{C}$ ) позволяет повысить содержание углерода в патентируемой стали, в частности использовать сталь У12Л вместо У9А.

В ряде случаев перед патентированием для повышения однородности структуры выполняют высокотемпературную нормализацию, например для стали У9А при  $1050^\circ\text{C}$  в течение 15 мин. это позволяет интенсифицировать процесс волочения и получить более высокую пластичность, вязкость и циклическую прочность стали после волочения.

Время нагрева ( $\tau$ , мин) в зависимости от диаметра проволоки ( $D$ , мм) определяют по формулам:

$$\tau = 30 + 5D^2, \text{ при } D \leq 5 \text{ мм};$$

$$\tau = 30 + [(5 + D)12]D^2, \text{ при } D > 5 \text{ мм}.$$

Температуру охлаждающей среды ( $t_b, ^\circ\text{C}$ ) в патентировочной ванне назначают в пределах  $420\text{--}540^\circ\text{C}$ , рассчитывая ее по формуле  $t_b = 490 + 60 C - 15D$

Верхний предел температур патентировочной ванны ограничен опасностью образования грубодифференцированного перлита; излишне низкая температура может привести к появлению

участков мартенсита. Важно, что пониженную пластичность проволоки могут вызвать даже весьма небольшие участки мартенсита, не выявляемые при металлографических исследованиях.

Минимально необходимое время пребывания проволоки в ванне, обеспечивающее превращение переохлажденного аустенита для углеродистых сталей, составляет 15 с.

Требуемые выдержки при нагреве и охлаждении обеспечиваются в агрегатах патентирования выбором соответствующих длин печей и ванн при заданной скорости перемещения проволоки, что, вместе с количеством одновременно обрабатываемых нитей, определяет производительность агрегата.

В легированных сталях превращение переохлажденного аустенита замедляется, это требует применения значительно больших выдержек в ванне и затрудняет патентирование. Перлитное превращение можно резко ускорить за счет ступенчатого патентирования, и выполняемого путем резкого переохлаждения проволоки до температуры, несколько превышающей температуру начала мартенситного превращения, с последующим переносом в среду с температурой, соответствующей области перлитного превращения, где и происходит образование сорбита. Для легированных сталей 50С2ХГ, 60С2ХГР, 60С2ХГФК2, 70С2ХГ ступенчатое патентирование выполняют по режиму: аустенитизация при 950°С, 10 мин; охлаждение в ванне с температурой 320°С в течение 10с; перенос в ванну с температурой 600°С и выдержка в ней 5–10 с.

Ранее в качестве среды для патентировочных ванн применяли расплавленный свинец. В связи с его токсичностью и дефицитностью в настоящее время в основном используют расплавы солей (NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub> и др.). Установлено, что скорость охлаждения проволоки в спокойных расплавах солей несколько ниже, чем в свинце. Однако при перемешивании расплавов солей их охлаждающая способность возрастает и может быть даже выше, чем у расплавленного свинца, благодаря этому достигаются равноценные свойства проволоки, прошедшей патентирование в солях и в свинце. Подобный результат дает понижение температуры расплава солей на 20–40°С по сравнению с температурой свинцовой ванны.

Для патентирования используют также ванны с кипящим слоем.

Временное сопротивление ( $\sigma_b$ , МПа) проволоки, патентированной по приведенным выше оптимальным режимам, может быть оценено по формуле:  $\sigma_b = (100 C - D + 53) \times 10$

### Варианты заданий на практическую работу

В таблице 1 представлены варианты заданий на практическую работу.

Таблица 1 - Варианты заданий на практическую работу

Вариант	Катанка	Цель ТО
1-5	марка 10, диаметр 2 мм	промежуточная обработка перед волочением в колпаковых печах
6-10	марка 65С2ВА, диаметр 3 мм	промежуточная обработка перед волочением в проходных печах
11-15	марка 50, диаметр 4 мм	промежуточная обработка перед волочением - патентирование
16-20	марка 70С2ХА, диаметр 6 мм	промежуточная обработка перед волочением - патентирование
21-25	марка 30, диаметр 2 мм	промежуточная обработка перед волочением в колпаковых печах
26-30	марка У8А, диаметр 3 мм	промежуточная обработка перед волочением в проходных печах

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

## Тема 3.6 Термическая обработка валков горячей и холодной прокатки

### Практическое занятие № 68

#### Разработка технологического процесса термической обработки прокатных валков

**Цель:** выбрать виды и режимы термической обработки для прокатного валка стана холодной прокатки из заданной марки стали с заданными свойствами

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Описать условия работы валков холодной и горячей прокатки и требования предъявляемые к ним.

2. Выбрать виды и режим предварительной и окончательной термической обработки поковок для валков холодной прокатки листовых станов диаметром 400 мм из стали 9Х2МФ, обеспечивающие следующие механические свойства –  $\sigma_B > 600$  МПа, НВ 250:

- указать химический состав заданной марки стали;
- кратко описать технологические этапы производства валков холодной прокатки;
- предложить виды используемой термической обработки, дать обоснование выбранным видам термообработки, указав их назначение;
- назначить режимы предварительной термической обработки, обеспечивающие заданный уровень механических свойств. Обосновать выбранные температуру нагрева, время выдержки, указав скорости нагрева и охлаждения.
- назначить режим окончательной термической обработки валков, указав цель этой обработки

3. Выбрать виды и режим термической обработки поковок для валков горячей прокатки листовых станов диаметром 800 мм из стали 60 ХН, обеспечивающей следующие механические свойства –  $\sigma_{0,2} > 400$  МПа,  $\sigma_B > 760$  МПа,  $\delta > 10\%$ ,  $KCU > 0,20$  МДж/м<sup>2</sup>, НВ 220:

- указать химический состав заданной марки стали;
- кратко описать технологию производства валка горячей прокатки;
- предложить виды используемой термической обработки, дать обоснование выбранным видам термообработки, указав их назначение;
- разработать режимы предложенных видов термической обработки, рассчитав температуру нагрева, время выдержки, указав скорости нагрева и охлаждения.

3. Построить график предварительной термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.

4. Описать требуемый контроль качества валков холодной и горячей прокатки после термообработки.

5. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

#### **Теоретическая часть**

Валки холодной прокатки работают в весьма тяжелых условиях под влиянием значительных статических и динамических нагрузок. Они должны обладать высокой прочностью, износостойкостью, выносливостью и достаточной вязкостью. В процессе работы валки подвергаются воздействию высоких удельных давлений и значительных контактных напряжений. Многократное приложение меняющихся по знаку и величине напряжений приводит к накоплению в поверхностной зоне валка дефектов усталостного характера и образованию отслоений.

Стойкость валков холодной прокатки определяется рядом факторов, связанных с технологией их изготовления и условиями эксплуатации. К первой группе факторов следует отнести химический состав и механические свойства валков, технологию выплавки стали, ковки,

термической и механической обработки. Ко второй группе факторов относятся режимы обжатия, скорость прокатки, давление металла на валки, натяжение полосы, условия охлаждения и температурное поле валков, механические свойства прокатываемого металла и др. Исходя из изложенного, к валкам холодной прокатки предъявляют следующие требования:

1) высокая и равномерная твердость поверхности, что обеспечивает высокое качество прокатываемого листа;

2) высокая прокаливаемость, необходимая для получения определенной глубины закаленного слоя (активного слоя и переходной зоны). Активный слой должен быть не менее 8 мм для валков с диаметром бочки до 250 мм и не менее 10 мм при диаметре бочки свыше 250 мм. При наличии такого слоя высокой твердости исключается возможность продавливания поверхности бочки при перегрузках. Переходная зона уменьшает вероятность развития усталостных трещин на границе активного слоя и центральных слоев;

3) высокая износостойкость рабочего слоя;

5) высокая теплостойкость (до 350–400°С) при общем и локальном разогреве; высокая контактная прочность рабочего слоя, стойкость против образования поверхностных дефектов – трещин, отслоений, выкрошек и т. д.;

6) высокое качество поверхности. Шероховатость обрабатываемых поверхностей бочки и шеек валков должна быть не более 1,25 мкм (ГОСТ 2789–73);

7) благоприятное распределение и минимальная величина остаточных напряжений по всему сечению валка после закалки и отпуска. Наиболее опасен «пик» растягивающих напряжений на границе рабочего и переходного слоев. Уровень и характер распределения остаточных напряжений определяет объемно-напряженное состояние валков, а, следовательно, сопротивляемость поверхностных слоев бочки усталостным разрушениям;

8) отсутствие флокенов, грубых скоплений карбидов, карбидной сетки, крупноигльчатого мартенсита и других дефектов макро- и микроструктуры.

Исходя из перечисленных требований, для изготовления рабочих валков холодной прокатки применяются качественные стали, содержащие минимальное количество вредных примесей. В валковой стали должно быть минимальное количество неметаллических включений, отсутствие усадочной рыхлости, осевой или внецентренной пористости, минимальное содержание газов (особенно водорода), мелкое зерно и т. д.

Способ выплавки и разливки стали значительно предопределяет качество валков холодной прокатки, например сопротивление воздействию контактных напряжений. Переход от разливки валковой стали на воздухе к изготовлению валков из стали электрошлакового переплава, применение разливки стали в вакууме или вакуумно-дуговой переплав повышает относительную контактную прочность. Примерно в два раза снижается газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями.

Для изготовления валков холодной прокатки на отечественных заводах наиболее широко используют пять марок высокоуглеродистых сталей: 9Х1, 90ХФ, 9Х2, 9Х2МФ и 9ХСВФ. Сталь 9Х1 применяют для валков с диаметром бочки менее 400 мм; стали, легированные ванадием, вольфрамом, молибденом, кремнием, применяют для изготовления валков с диаметром бочки 400 мм и более.

Все эти стали заэвтектоидные. После закалки и низкого отпуска они имеют структуру, состоящую из мелкоигольчатого мартенсита с избыточными равномерно распределенными карбидами и небольшим количеством остаточного аустенита, которая обеспечивает высокую твердость.

В настоящее время на некоторых заводах применяют стали с пониженным содержанием углерода: 60ХСМФ, 60Х2СМФ, 7Х2СМФ, 7Х2СВФ и 75ХСМФ. Для изготовления рабочих валков многовалковых станков используют перспективную сталь ледебуритного класса Х9ВМФШ, а также сталь карбидного класса 6Х6М1Ф, что позволяет практически отказаться от приобретения валков за границей. Широко применяют для изготовления валков холодной прокатки и стали с пониженным содержанием углерода типа 7ХМФ. Повышение стойкости валков из сталей с пониженным содержанием углерода достигается за счет повышения вязкости, меньшей хрупкости закаленного слоя, пониженного уровня остаточных напряжений, повышенной устойчивости стали против образования трещин и отслоений на поверхности бочки валка.

Практика показывает, что большое количество валков станков холодной прокатки выходит из строя задолго до естественного износа закаленного слоя (например, рабочих валков – более 50%). За разрушение могут быть ответственными технология выплавки и разливки стали, горячей пластической деформации, термической обработки. В металле могут быть трещины металлургического, ковочного или закалочного происхождения, химическая и структурная неоднородность, различные концентраторы напряжений, повышенное содержание серы и фосфора, флокены, карбидная сетка, малая глубина закаленного слоя, неравномерная твердость, большое количество остаточного аустенита и другие факторы, способствующие снижению срока эксплуатации валков.

Технология изготовления валков холодной прокатки включает следующие основные этапы: выплавка, разливка в слитки, ковка, предварительная термическая обработка, механическая обработка, окончательная термическая обработка.

Предварительную термическую обработку проводят с целью перекристаллизации структуры ковочного металла, снижения твердости и уровня остаточных напряжений, подготовки структуры к механической обработке и последующей закалке, предотвращения флокенообразования, так как все применяемые валковые стали флокеночувствительны. Даже в случае правильного проведенияковки и получения исходной структуры зернистого перлита без признаков перегрева противоблокенная обработка валков холодной прокатки обязательна, хотя для их изготовления и применяют сталь высокого качества.

Единой рекомендации относительно технологии предварительной термической обработки валков холодной прокатки до сих пор нет. К предварительной термической обработке поковок валков относятся: отжиг, улучшение, нормализация с отпуском и др. Пожалуй, наибольшее распространение на машиностроительных заводах получили следующие виды предварительной термической обработки: отжиг с последующим улучшением, двойная нормализация с последующим отпуском и отжиг на зернистый перлит. Выбор режима определяется размерами валков, технологией прокатки, условиями эксплуатации. Так, например, для валков отделочных чистовых клетей, где требуется большая жесткость, рекомендуется режим изотермического отжига с улучшением, а для рабочих валков предчистовых клетей, которые обеспечивают большие обжатия проката и испытывают большие удельные нагрузки – режим двойной нормализации с отпуском. На рисунке 11 представлены указанные режимы предварительной термической обработки валков холодной прокатки диаметром 400мм из стали 9Х2МФ.

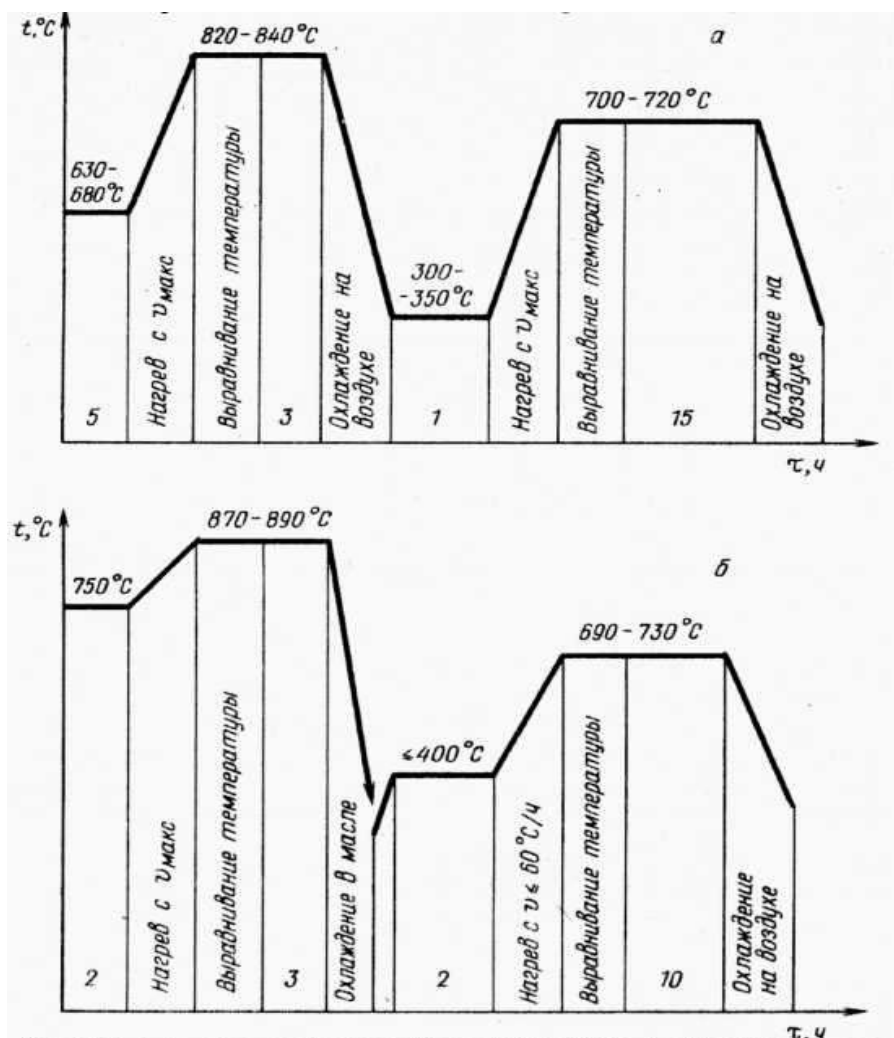


Рисунок 11 – Режим предварительной термической обработки валков холодной прокатки отделочных чистовых клетей – отжиг (а) и улучшение (б)

Температура аустенитизации при отжиге составляет 800–840°C, что немного выше критической точки  $A_{c1}$  для стали 9Х1 (745°C), 9Х2 (740–770°C), 9Х2В (745–760°C), 9Х2МФ (748°C) и 9ХФ (770°C). При такой температуре значительное количество карбидов не переходит в раствор, а при последующем охлаждении они будут являться центрами выделяющихся карбидов, что повышает дисперсность феррито-карбидной смеси. В процессе изотермической выдержки при температуре 700–720 °С образуется структура зернистого перлита, происходит частичное удаление и перераспределение водорода с переводом его в неактивную форму.

Напомним, что удаление водорода из изделий больших сечений в процессе изотермической выдержки весьма затруднительно, поэтому повышенное содержание водорода в жидкой стали (выше 4,0–5,0 см<sup>3</sup> на 100 г металла) делает протипофлокенную обработку малоэффективной. С той же целью охлаждение с температуры изотермической выдержки следует проводить замедленно. Совершенствование технологии выплавки и разлива стали (вакуумная разливка, ВДП) понижает содержание водорода в стали, что делает возможным сокращение времени охлаждения поковок с температурыковки, времени изотермической выдержки и ускоренное охлаждение с температуры выдержки.

После грубой механической обработки и сверления осевого канала валки подвергают улучшению. Этот процесс приводит к полной ликвидации остатков карбидной сетки, измельчению карбидной фазы, получению мелкодисперсной перлито-сорбитовой структуры, повышению прочности (особенно отношения предела текучести к пределу прочности). Температура аустенитизации валковой стали при закалке 870–890°C способствует почти полному растворению карбидной фазы (Fe, Cr)<sub>3</sub>C в аустените и обогащению твердого раствора хромом, что вызывает повышение закаливаемости и прокаливаемости стали. Закалка в масле с последующим отпуском должны обеспечить твердость порядка *HV* 230–280.

Первая схема предварительной термической обработки, состоящая из отжига с улучшением, обеспечивает высокий запас упругих свойств стали. Вторая схема предварительной обработки – двойная нормализация с отпуском – исключает операцию улучшения. Нормализация при высокой температуре (первая) растворяет карбидную сетку, а нормализация при низкой температуре (вторая) устраняет перегрев и измельчает структуру. Вторая схема предварительной термической обработки валков по сравнению с отжигом и улучшением повышает предел текучести стали, обеспечивает высокий уровень пластичности, но несколько пониженный уровень прочности и ударной вязкости. Твердость обычно не превышает *HV* 220.

#### Технология окончательной термической обработки

После предварительной термической обработки валков холодной прокатки снимают припуск 3–15 мм и проводят окончательную термическую обработку. Основная цель ее заключается в получении высокой твердости на поверхности бочки валков, что необходимо для обеспечения высокого качества листового проката. Наибольшее распространение на

отечественных заводах получила закалка с индукционного нагрева токами промышленной частоты на специальных установках типа ТП4-700. Валок нагревается внутри многovitкового кольцевого индуктора. Охлаждение проводят водой через спрейер под давлением 0,3–0,7 МПа.

Применение нагрева токами промышленной частоты позволило повысить твердость и глубину активного закаленного слоя валков холодной прокатки. Однако при этом уменьшается плавность перехода от закаленного слоя к исходной структуре, что приводит к преждевременному выходу валков из строя в результате отслоения. Для более глубокого прогрева валков по сечению, обеспечения более плавного перехода от активного слоя к незакаленному внутреннему и создания более благоприятного распределения остаточных напряжений по сечению после закалки валки предварительно подогревают на установке ТПЧ до температуры 850°C на поверхности бочки. Число подогревов зависит от требуемой глубины активного слоя и диаметра бочки валка.

После закалки валки холодной прокатки подвергают низкотемпературному отпуску. Отпуск приводит к значительному снятию и перераспределению остаточных напряжений в закаленном валке, образованию дисперсных карбидов, распаду остаточного аустенита, стабилизации размеров, выравниванию твердости поверхности бочки валка. Низкотемпературный отпуск назначают в соответствии с техническими условиям заказчика и требованиями ГОСТ 3541 79, его проводят при температуре 130–200°C.

Имеющиеся случаи отслоения на поверхности валков наряду с другими дефектами являются, возможно, результатом неудовлетворительной технологии окончательной термической обработки. Для повышения эксплуатационной стойкости валков рекомендуется готовые рабочие валки для холодной прокатки подвергать дополнительному среднетемпературному отпуску при печном или индукционном нагреве. При этом возможное снижение твердости рабочего слоя валков компенсируется превращением части остаточного аустенита в мартенсит отпуска и выделением дисперсных карбидов. Температура дополнительного отпуска должна не менее чем на 100°C превышать температуру отпуска, который проводят непосредственно после закалки.

Перспективным направлением в области технологии термической обработки валков холодной прокатки является закалка при двойном индукционном нагреве с применением токов низкой и средней частоты.

Увеличение надежности и долговечности прокатных валков может быть достигнуто применением высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки валков, что связано с изменениями в тонком строении поверхностного слоя, повышением плотности несовершенств в деформированном металле (плотность дислокаций при ВТМПО увеличивается до  $10^{10}$ – $10^{12}$  см<sup>-2</sup>). Электронно-микроскопические исследования свидетельствуют о более высокой степени дисперсности карбидной фазы после ВТМПО. Впервые к валкам холодной прокатки процесс ВТМПО применен М. Л. Бернштейном и М. Я. Белкиным.

Условия работы прокатных станов, даже аналогичного назначения и конструкции, могут значительно различаться. Общим в условиях работы валков горячей прокатки является



следующее. Деформируемый металл разогревает поверхностный слой валка до высоких температур. Поверхность валка расширяется значительно сильнее, чем более холодные глубинные слои. Это приводит к возникновению больших напряжений: сжимающих – на поверхности и растягивающих – в глубинных слоях. В момент завершения каждого прохода горячего металла между валками поверхность валка, не находящаяся больше в соприкосновении с горячим металлом, под влиянием охлаждения водой остывает и быстро сжимается. В результате в валках возникают напряжения противоположного знака. Многократно повторяющийся циклический быстрый нагрев до высоких температур поверхностных слоев валка при контакте с раскатываемой заготовкой и их последующее охлаждение приводят к образованию сетки трещин разгара.

Проведенное М. А. Тылкиным исследование показало, что температура поверхности валка при установившемся процессе прокатки составляет 750–800°C, снижаясь во время пауз между пропусками на 100–150°C, а при переходе к новой заготовке – на 300–350°C. Однако уже на глубине 3–4мм от поверхности валка температура не превышает 100°C. Термические и структурные напряжения, возникающие на поверхности валка, суммируются с напряжениями от действующих нагрузок и могут превысить предел прочности отдельных микрообъемов, что и приводит к образованию трещин или сетке разгара.

Длительное пребывание стали при высоких температурах может привести к структурным изменениям. В сталях перлитного класса наиболее часто происходит сфероидизация цементита и карбидов.

Для прокатных валков критерием работоспособности являются термостойкость, износостойкость и усталостная прочность. В России кованные валки горячей прокатки изготавливают из сталей 55Х, 60ХГ, 60ХН, 40ХН и углеродистой стали 50.

Однако химический состав стали не может однозначно определить качество валков горячей прокатки, так как повышению сопротивления стали износу и зарождению трещин способствуют много других факторов, среди которых не последнее место занимает термическая обработка. При повышении дисперсности структуры стальных валков возрастает их износостойкость, но снижается стойкость против поломок. Наоборот, в случае зернистой структуры увеличивается стойкость против поломок, но снижается износостойкость.

Термическая обработка поковок для валков горячей прокатки послековки является, как правило, их окончательной термической обработкой и состоит из нормализации и длительной выдержки при температуре высокого отпуска.

Необходимость нормализации вызвана тем, что в процессековки температура различных частей крупных поковок колеблется в широком интервале. Степень деформации различных слоев поковок неодинакова; отдельные участки подвергаются воздействию высоких температур без последующей пластической деформации, что приводит к сохранению крупного зерна. Целью нормализации является уменьшение остаточных напряжений, возникающих приковке,

измельчение зерна и, как следствие, повышение механических свойств поковок. Применение высокого отпуска с длительной выдержкой предупреждает образование флокенов.

На рис. 12 представлен режим термической обработки поковок для валков горячей прокатки, применяемый на различных заводах. Из рисунка видно, что для поковок из стали 60ХН изотермическую выдержку для предупреждения образования флокенов при отпуске в субкритическом районе определяли из расчета 7 ч на 100мм диаметра.

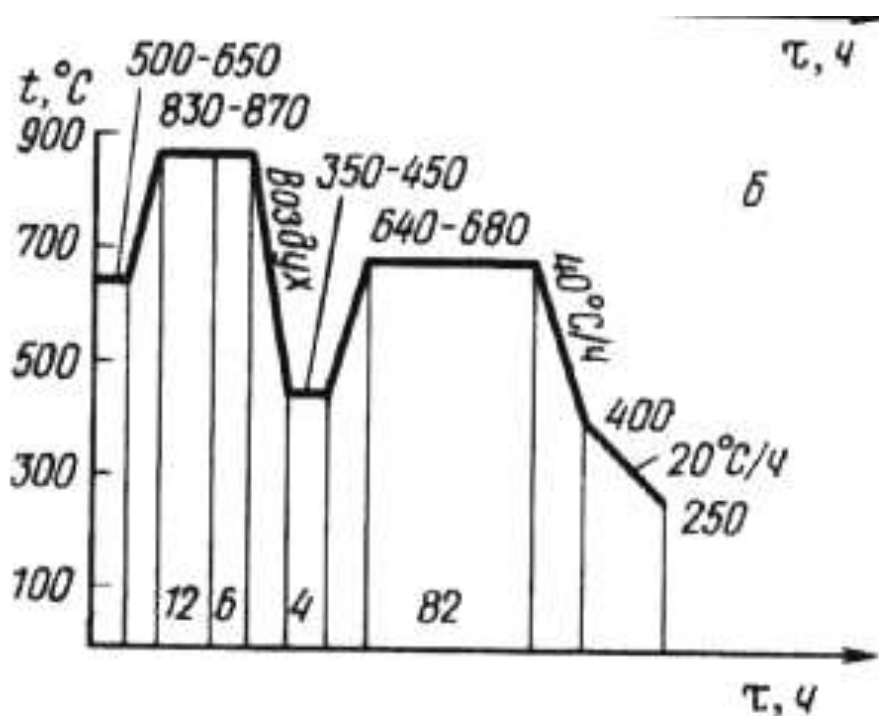


Рисунок 12 - График термической обработки поковок для производства валков горячей прокатки. Цифры обозначают продолжительность выдержки в часах.

Поковки для валков горячей прокатки подвергаются термической обработке в больших печах с выдвижным подом, в которых садка достигает 220–250 т. Поковки на подине располагают в несколько ярусов. Практика термической обработки показывает, что для нормального прогрева изделий больших сечений необходима выдержка 2,5–3 ч на 100мм диаметра. Только в этом случае будут обеспечены необходимые условия для перекристаллизации, что приведет к измельчению зерна по сечению поковки, наиболее полному устранению внутренних напряжений, оставшихся послековки, и, как следствие, к улучшению механических свойств поковок после термической обработки.

Контроль качества. Крупные поковки для валков горячей прокатки при сдаточных испытаниях подвергаются контролю на механические свойства (на глубине  $1/3 R$  от поверхности

шеек на продольных образцах)  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ , KCV и макроконтролю (на флокены и ликвационную неоднородность). Согласно техническим условиям, такому контролю подвергают каждую двадцатую поковку указанного назначения. Для этого от поковки с прибыльной части слитка отрезается проба. Кроме пробы, от шейки поковок отрезают темплет толщиной 20мм для макроконтроля. В состоянии поставки валки горячей прокатки должны обладать следующими свойствами:  $\sigma_b \geq 800$  МПа,  $\sigma_{0,2} \geq 500$  МПа,  $\delta \geq 8\%$ ,  $\psi \geq 33\%$ ,  $KCV \geq 0,3$  МДж/м<sup>2</sup>.

Поковки с флокенами бракуют и, как правило, подвергают перековке. В сечении шейки поковки встречается до ста флокенов. Обычно они располагаются во внецентренной зоне, на глубине  $(1/3-2/3) R$ , и не наблюдаются в поверхностной и центральной зонах, что можно объяснить следующим:

1. Из поверхностных зон металла путем диффузии водорода легче удалиться.
2. В центральных зонах сосредоточено больше различных пор и несплошностей, в которые может мигрировать водород, не создавая в них при этом критических давлений.
3. После отпуска остаточные напряжения в поковках распределяются таким образом, что в зоне, находящейся на глубине  $(1/3-2/3) R$ , возникают максимальные растягивающие напряжения, которые и способствуют возникновению флокенов.

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

### **Тема 3.7 Термическая обработка цветных металлов и сплавов**

#### **Практическое занятие № 69**

##### **Выбор режима термообработки сплавов на основе меди**

**Цель:** по полученным данным выбрать вид термической обработки сплавов на основе меди по полученным данным..

**Выполнив работу, Вы будете:**

**уметь:**

- применять типовые методики определения параметров обработки металлов давлением;
- выбирать справочные данные, характеризующие взаимосвязи структуры и свойств обрабатываемых металлов и сплавов, для обеспечения выпуска продукции с заданными свойствами;

**Материальное обеспечение:** методическое пособие

**Задание:**

1. Ознакомится с методическим указанием к данной практической работе.
2. По полученным данным составить технологическую карту термической обработки для вида продукции из сплава меди.
3. Полученные результаты записать в тетрадь и предоставить преподавателю для проверки.

**Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы произвести подбор термической обработки для продукции из сплавов на основе меди.
2. Сделать записи расчетов в тетрадь.
3. Подготовить защиту практической работы.

### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения практической работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Составить технологическую карту термической обработки для заданного сортамента.
4. Сделать записи расчетов в тетрадь.

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

## **Тема 3.7 Термическая обработка цветных металлов и сплавов**

### **Практическое занятие № 70**

#### **Выбор режима термообработки сплавов на основе алюминия**

**Цель работы:** определить вид термической обработки листов из алюминиевых сплавов на основе их свойств.

**Задание:** составить зависимость видов термической обработки от свойств алюминиевых сплавов.

#### **Теоретические положения**

Единственный вид термической обработки алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой – отжиг, а способ упрочнения – наклёп при холодной деформации. Листовые полуфабрикаты из всех сплавов рассматриваемой группы поставляются промышленности в горячекатаном без термической обработки, отожженном, нагартованном и полунагартованном состояниях после горячей или холодной прокатки. Применительно к рассматриваемой группе сплавов используют высокий и низкий отжиг. Высокий отжиг. Высокий отжиг проводят при повышенных температурах и времени выдержки, достаточном для полного разупрочнения сплавов, вызываемого рекристаллизацией. Эту операцию применяют либо как промежуточную термообработку для снятия наклёпа после холодной или горячей прокатки, либо как окончательную термообработку для получения полуфабрикатов с высоким уровнем пластических свойств.

При назначении режимов высокого отжига необходимо считаться с возможностью роста зёрен (собирательная рекристаллизация), неблагоприятно влияющего на механические свойства сплавов. Во избежание роста зерна при высоком отжиге выдержка должна соответствовать минимально необходимой. Росту крупного зерна способствуют неоднородное распределение легирующих элементов в твёрдом растворе (дендритная ликвация) и неравномерность деформации по объёму полуфабрикатов. Склонность к образованию крупных зёрен особенно сильно проявляется при медленном нагреве, когда из появившихся в небольшом количестве при низких температурах центров рекристаллизации успевают вырасти зёрна больших размеров. Поэтому нагрев при высоком отжиге следует вести с максимально возможными скоростями. Режимы отжига при промежуточной и окончательной термической обработке могут различаться.

В случае промежуточного отжига основным является получение максимальных характеристик пластичности, а нежелательные структурные изменения могут быть устранены последующей холодной прокаткой и окончательной термообработкой.

Низкий отжиг. При низком отжиге, который проводится при сравнительно низких температурах, в металле происходит полигонизация, а рекристаллизация не успевает пройти полностью. Как известно, процесс рекристаллизации протекает во времени, и поэтому при заданной температуре отжига, варьируя время выдержки, можно регулировать степень снятия наклёпа от предыдущей деформации. При низком отжиге наблюдается частичное разупрочнение и некоторое повышение пластичности. Его применяют только как окончательную термообработку для обеспечения требований потребителя по механическим и физико-химическим свойствам полуфабрикатов. Режимы высокого и низкого отжига для сплавов, не упрочняемых термической обработкой, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы высокого и низкого отжига листов из не упрочняемых термической обработкой листов из алюминиевых сплавов

Марка сплава	Температура начала рекристаллизации, °С	Отжиг	Температура отжига	Время выдержки, мин, при толщине, мм	
				Менее 6	Более 6
АД 00, АД0, АД1,АД	150-200	Высокий	300-500	2-10	10-30
		низкий	150-300	60-180	60-180
АМц	300	Высокий	300-500	2-10	10-30
		низкий		60-180	60-180
АМг1, АМг2, АМг3	300	Высокий	350-420	2-10	10-30
		Низкий	150-180	60-180	60-180
	280	высокий	350-420	60-180	60-180
АМг4	250	Высокий	300-350	30-120	30-180
АМГ5, АМг6, АМг6-1-1	270-300	высокий	310-335	30-120	30-180

Одни элементы измельчают зерно алюминия при кристаллизации, другие – при рекристаллизации. Размер рекристаллизованных зёрен в алюминии при присадке титана уменьшается только при высоком содержании железа. Уменьшению величины зерна рекристаллизованного алюминия способствуют отжиг слитков, повышение температуры горячей прокатки, увеличение скорости нагрева деформированных полуфабрикатов при отжиге. Алюминиевые листы применяют в отожжённом, нагартованном (наклёпанном) и

полунагартованном (полунаклепанном) состояниях. Полу- нагартованное состояние достигается либо нагартовкой отождённых листов до необходимого уровня прочности, либо низким отжигом нагартованного металла.

В полунагартованном состоянии регламентируется и нижний, и верхний уровень прочностных свойств, что и определяет выбор режима низкого отжига. Нагартованный алюминий при отжиге разупрочняется по-разному в зависимости от исходной степени деформации при холодной прокатке. Чем выше исходная степень деформации, тем более интенсивно протекает разупрочнение.

Рассмотрим некоторые факторы, определяющие выбор режимов термической обработки сплавов алюминия, не упрочняемых термической обработкой.

**Сплав АМц.** Листы из сплава АМц поставляют в отождённом, нагартованном и полунагартованном состояниях. Особенности технологии получения листов в отождённом состоянии связаны с необходимостью создания мелкозернистой структуры. Слиткам сплава АМц, отлитым непрерывным методом в короткий кристаллизатор, свойственно неравномерное распределение марганца по объёму твёрдого раствора, что наряду с неоднородностью деформации при холодной прокатке приводит к получению крупнозернистой структуры после высокого отжига. Для устранения этого явления используют два пути: гомогенизационный отжиг слитка и регулирование химического состава сплава

Гомогенизация при высоких температурах приводит к частичному распаду твёрдого раствора марганца в алюминии и устранению внутрикристаллитной ликвации. Изменения структуры, вызванные гомогенизацией слитка, способствуют выравниванию температур начала рекристаллизации по объёму холоднокатаных листов. Поэтому при нагреве во всём объёме полуфабрикатов одновременно появляется большое количество центров рекристаллизации, и зерно после высокого отжига получается мелким. На величину зерна влияет и скорость нагрева: чем больше скорость, тем мельче зерно.

Нагартовка позволяет в 2÷3 раза повысить прочностные свойства листов при резком снижении удлинения. Полунагартованное состояние может быть получено либо нагартовкой с небольшими степенями деформации при холодной прокатке, либо низким отжигом нагартованного металла. При получении полунагартованных листов из сплава АМц по второму способу необходимо, чтобы требуемый уровень свойств мог быть получен при отжиге в достаточно широком интервале его температур.

Величина этого интервала зависит от химического состава сплава. Скорость разупрочнения при отжиге после холодной прокатки резко снижается с уменьшением содержания железа и кремния, и при содержаниях этих компонентов не более 0,2 % температурный интервал низкого отжига, обеспечивающий получение требуемого уровня свойств, вполне приемлем для практического использования.

**Сплавы А1-Mg.** Сплавы системы А1-Mg не упрочняются термической обработкой. Повышение прочностных свойств достигается нагартовкой на 20÷40 %; при этом листы из

сплавов АМг5 и АМг6 после некоторых видов термической обработки приобретают чувствительность к межкристаллитному коррозионному растрескиванию.

Листы из сплавов А1-Mg обычно отжигают в рулонах. Горячекатаные рулоны сплавов АМг2, АМг3, АМг4 перед холодной прокаткой, как правило, не отжигают. В том же случае, если температуры конца горячей прокатки низки, рулоны необходимо отжигать во избежание резкой развертки и сдвига витков перед холодной прокаткой. Сплавы АМг5 и АМг6 сильно наклёпываются, и перед холодной прокаткой их отжигают по режимам высокого отжига.

Сплавы АМг5 и АМг6 относятся к труднодеформируемым, и холодную прокатку листов ведут в несколько подкатов с промежуточными отжигами. Температура промежуточных и окончательных отжигов находится в пределах  $310\div 335$  °С. Для обеспечения хороших коррозионных свойств желательны медленный нагрев и последующее медленное охлаждение после отжига. Такая термическая обработка обеспечивает равномерный распад твёрдого раствора с выделением мелкодисперсной  $\beta$ -фазы  $Al_3Mg_2$ . Повышение температуры высокого отжига до  $350$  °С приводит к переходу магния в твёрдый раствор. Если при последующей эксплуатации изделий из сплавов АМг5 и АМг6 они нагреваются до  $70\div 120$  °С, то по границам зёрен выделяется  $\beta$ -фаза и материал становится склонным к межкристаллитной коррозии.

Полунагартованные листы из сплавов системы А1-Mg получают низ-ким отжигом холоднокатаного материала. Нагартованные листы из сплава АМг6 получают холодной деформацией со степенями  $20\div 40$  %. Однако это состояние материала не стабильно.

Для получения листов из сплава АМг6, сочетающих высокий уровень прочностных и коррозионных свойств, рекомендуют следующую технологическую схему:

- а) горячая деформация;
- б) предварительная нагартовка не менее чем на  $20$  % при  $150\div 200$  °С;
- в) гетерогенизационный отжиг при  $200\div 270$  °С;
- г) окончательная деформация, величина которой определяется требуемым уровнем механических свойств.

Листы из термически упрочняемых алюминиевых сплавов подвергают полному или сокращённому отжигу. Сплавы марок Д1, Д16, Д19, ВАД1 можно также нагревать для снятия технологического наклёпа.

**Полным отжигом** называется отжиг, при котором обеспечивается достаточно полное протекание процессов распада твёрдого раствора и коагуляции выделяющихся фаз. Обычно его проводят при температурах  $350\div 430$  °С. При полном отжиге материал независимо от исходного состояния полностью разупрочняется, поскольку температура отжига выше температуры начала рекристаллизации.

**Сокращённый отжиг** осуществляется при температурах  $290\div 320$  °С для сплава В92ц и  $350\div 370$  °С для остальных сплавов. Этот тип отжига применяют для повышения пластичности полуфабрикатов, упрочнённых закалкой и последующим старением, а также для снятия

остаточных напряжений. Отжиг проводят после предварительной механической обработки полуфабрикатов в целях уменьшения поволоки и коробления после окончательной механической обработки.

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).

### **Тема 3.7 Термическая обработка цветных металлов и сплавов**

#### **Практическое занятие № 71**

#### **Технология термообработки на металлургических заводах**

**Цель работы** – изучить основные этапы ТПП и принципы составления маршрутных технологий термической обработки.

**Задание:** составить маршрутную карту термической обработки данной детали по полученным данным.

#### **Теоретические положения**

Разработка технологических процессов (ТП) термической обработки является составной частью технологической подготовки производства (ТПП), которая осуществляется на основе руководящих документов, объединенных в единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП). Эта система предусматривает организацию и управление процессом ТПП, широкое применение прогрессивных типовых ТП, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерных и управленческих работ.

Основное назначение ЕСТПП:

1) Создание для всех предприятий и организаций системного подхода к выбору и применению методов и средств ТПП, соответствующих достижениям современной науки и техники;

2) Обеспечение условий производства продукции, требуемой категории качества в минимальные сроки, при минимальных трудовых и материальных затратах на всех стадиях создания нового изделия, включая опытные образцы, а также изделия единичного производства;

3) Организация производства высокой степени гибкости, допускающей возможность непрерывного его совершенствования и быстрого перехода или переналадки на выпуск других изделий.

Цель ТПП - это обеспечение полной технологической готовности предприятия (наличие комплекта технологической документации и средств технического оснащения) к производству изделий высшей категории качества в соответствии с заданными технико-экономическими показателями, устанавливающими высокий технический уровень и минимальные трудовые и материальные затраты. ТПП начинается с получения исходных документов на разработку и



производство новых изделий, организацию нового и совершенствование действующего производства.

ТПП включает решение следующих задач:

1. Отработка новых деталей, узлов и др. в целом на их технологичность;
2. Разработка технологических процессов;
3. Проектирование и изготовление средств технологической оснастки для выполнения термической обработки;
4. Организация и управление процессом ТПП.

Решение задач ТПП должно осуществляться на различных уровнях: общероссийском, отраслевом и предприятиях.

Проектированию ТП термической обработки предшествует разработка технологического маршрута, который осуществляется на основе рабочего чертежа каждой детали. Рабочие чертежи полностью прорабатываются конструктором машины или механизма, и только он в праве изменить заданные требования. Маршрутная технология - это перечень подразделений предприятия (цеха, участки, лаборатории), которые участвуют в изготовлении данной детали или изделия, перечень операций и их последовательность.

Первым этапом ТПП является разработка конструкторской документации (чертежи деталей, спецификации), количество деталей, ведомости изделий, изготовленных из специальных материалов и по кооперации, ведомости деталей требующих для изготовления специального оборудования (испытательные стенды). Вторым этапом ТПП является согласование действий различных подразделений, участвующих в изготовлении данного изделия, на предмет его технологичности. Такое согласование проводится со службами предприятия с участием главных специалистов (главный технолог, главный металлург, главный сварщик и др.).

На третьем этапе ТПП определяется соответствие марки материала с заданными техническими требованиями на деталь, с ее геометрическими размерами на предмет возможности образования деформации, коробления, трещин и чистотой поверхности. Четвертым этапом является уточнение маршрутной технологии предложенной на предварительном этапе.

Место термической обработки в процессе изготовления отдельных заготовок и деталей устанавливается в уточненной маршрутной технологии и предлагается отделом главного технолога. Операции термической обработки стараются провести перед чистовой механической обработкой, если это возможно. Если термообработка проводится после чистовой механической обработки, то при окончательной термической обработке необходимо учитывать коробление и деформацию, которые не должны выводить изделия за пределы допуска по размерам. В общем виде целью термической обработки является ликвидация внутренних напряжений детали, улучшение обрабатываемости материала, повышение механических свойств изделий до значений, требуемых от них, а также создание специальных свойств. В зависимости от цели и видов

термической обработки она может быть предварительной и окончательной, таким видам термообработки может подвергаться одна и та же деталь.

В соответствии с руководящими документами по ЕСТПП при разработке технологических процессов решаются следующие вопросы:

1. Анализ исходных данных (чертеж, программа выпуска изделий, стандарты, справочники);
2. Выбор вида технологического процесса: типового, группового, единичного;
3. Выбор исходной заготовки;
4. Разработка операций термической обработки, включая транспортировку и контроль качества изделий;
5. Соблюдение требований техники безопасности и экологии при выполнении технологического процесса;
6. Расчет экономической эффективности разработанного процесса;
7. Оформление технологической документации (технологическая карта).

Рассмотрим кратко, что включает каждый из семи перечисленных пунктов. При этом следует отметить, что пункты 5 и 6 освещаются и прорабатываются соответственно в разделах курсов по технике безопасности, БЖД и экономики, организации производства.

**Исходные данные** при проектировании термической обработки разделяются на базовые, руководящие и справочные. Базовые данные - это информация, содержащаяся в чертежах деталей, спецификациях, технических условиях на изготовление и годовая производственная программа их выпуска. Руководящие данные включают в себя информацию из стандартов всех уровней на технологические процессы и методы управления ими, перечень оборудования и оснастки, производственные инструкции, отраслевые руководящие материалы, информацию из классификаторов. Справочные сведения - это информация, взятая из книг, справочников, каталогов, периодической литературы, данные по ранее разработанным типовым технологическим процессам, а также методики расчета экономической эффективности, типовые компоновки оборудования.

**Выбор вида технологических процессов** зависит от особенностей технологического процесса, которые характеризуются возможностью одновременной обработки значительного числа как одноименных, так и разноименных деталей, удобством применения различных приспособлений для термической обработки. Технологический процесс (ТП) может быть: единичным, групповым, типовым. При единичном ТП обрабатывается одна или несколько деталей; при групповом - количество деталей сравнительно невелико; при типовом - ведется обработка различных деталей из разных материалов по одному ТП. Передовым производством считается такое, где наиболее широко используются групповые и типовые технологические процессы.

Под типизацией ТП понимается выполнение следующего комплекса

задач:

- 1.Классификация заготовок и деталей по конструкторско-технологическому подобию.
- 2.Систематизация и анализ возможных технологических решений по термической обработке изделий для получения заданных свойств;
- 3.Проектирование (разработка) оптимального для данного производства типового процесса термической обработки.

При термической обработке параметрами конструкторского технологического подобия являются следующие параметры: вид термообработки (предварительная или окончательная); операции термообработки; их название; параметры: температура нагрева, скорости нагрева и охлаждения и др.; марка материала; эффективное сечение изделия; его габаритные размеры. При применении типовых или групповых ТП достигается снижение трудоемкости и сокращение сроков ТПП.

**Выбор исходной заготовки** зависит от этапа проведения термической обработки. Она может выполняться как предварительная, так и окончательная. При нагреве и охлаждении изделий всегда происходит изменение его формы и размеров, поэтому предварительную термообработку (ПТО) желательно проводить только на заготовках или полуфабрикатах. К ним относятся отливки, штамповки, поковки, прокат, прессованные изделия, все они имеют значительный допуск на размеры и, следовательно, при термообработке возможно допустить значительные коробление и деформацию.

Окончательную термическую обработку (ОТО) проходят изделия или после предварительной механической обработки или после чистовой мехобработки, поэтому на эти изделия допуск на коробление и деформацию весьма мал. Необходимо помнить, что при ОТО глубина прокаливаемости должна быть больше, чем допуск на шлифование при чистовой обработке, чтобы не снять весь упрочненный при термической обработке слой. Следовательно, выбор размеров исходной заготовки выполняется при согласовании с технологическими службами других подразделений.

**Разработка операций термической обработки** включает в себя название этих операций и их параметры. Сюда входит установление температуры нагрева, времени нагрева, выдержки и охлаждения, среда нагрева и охлаждения. Кроме основных операций термической обработки предусматриваются дополнительные - очистка от окалины или масла, правка деталей, их транспортировка. На каждой операции необходимо предусмотреть контроль качества изделий, оговорив приборы, методы контроля, количество проверяемых деталей.

**Оформление технологической документации** выполняется в соответствии с требованиями единой системы технологической документации (ЕСТД). Назначением ЕСТД является применение единых форм бланков при оформлении технологических процессов в пределах России; обеспечение единых требований к заполнению этих бланков, когда вся информация вводится в них с использованием служебных символов. В соответствии со стан-

дартами технологическая документация для оформления ТП термической обработки включает документы на единичный и типовой ТП.

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, в ходе работы должны быть отражены теоретические положения, выполнены задания (перечисленные в порядке выполнения работы).