

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

Многопрофильный колледж

 УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
/ С.А. Махновский  
08.02.2023г

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ  
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА**

**МДК.03.03 Термическая обработка металлов и сплавов**

**для обучающихся специальности**

**22.02.05 Обработка металлов давлением**

Магнитогорск, 2023

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
«Металлургии и ОМД»  
Председатель О.В. Шелковникова  
Протокол № 6 от 25.01.2023г

Методической комиссией МпК

Протокол № 4 от 08.02.2023г

### **Разработчик (и):**

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Многопрофильный колледж

Н.В. Мелихова

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной профессионального модуля ПМ 03 «Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению вида деятельности ПМ 03 Подготовка и ведение технологического процесса обработки металлов давлением программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.05 Обработка металлов давлением и овладению профессиональными компетенциями.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Практическое занятие 60	6
Практическое занятие 61	10
Практическое занятие 62	20
Практическое занятие 63	24
Практическое занятие 64	29
Практическое занятие 65	39
Практическое занятие 66	41
Практическое занятие 67	43
Практическое занятие 68	46
Практическое занятие 69	50
Лабораторное занятие 11	52
Практическое занятие 70	56
Практическое занятие 71	64
Практическое занятие 72	71
Практическое занятие 73	79
Практическое занятие 74	86

## 1 ВВЕДЕНИЕ

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

Состав и содержание практических и лабораторных 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), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий 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» предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

**уметь:**

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

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля 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 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

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

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде;

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 09 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

Выполнение обучающихся практических и лабораторных работ по учебной дисциплине 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 и лабораторные занятия проводятся в рамках соответствующей темы, после освоения дидактических единиц, которые обеспечивают наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 3.1 Теория термической обработки стали

#### Практическое занятие № 60

#### Определение структуры и свойств стали по диаграмме изотермического распада 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:

Оборудование:

Микроскопы металлографические.

Цифровые камеры для микроскопа.

Металлографические шлифы.

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита (ДИПА).

Индивидуальный раздаточный материал.

#### 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.

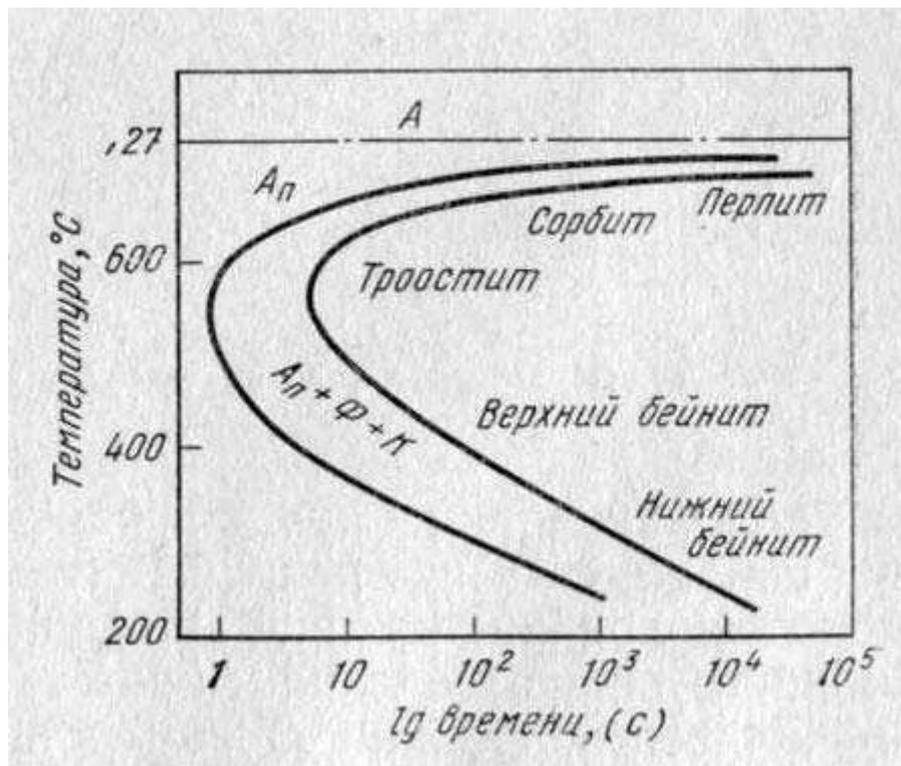
ДИПА – это диаграмма, устанавливающая связь между температурой, временем превращения переохлажденного аустенита и структурой для данной (конкретной) марки стали.

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).

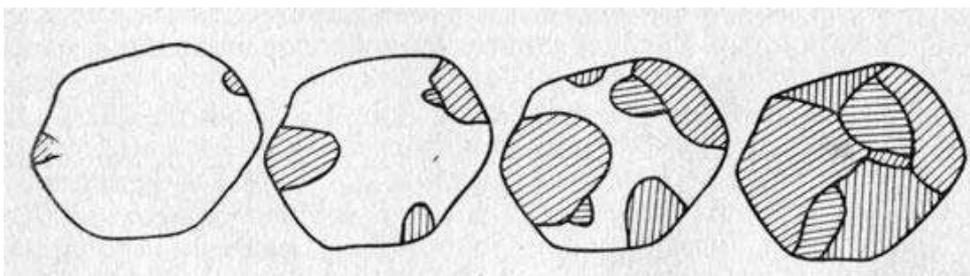


Рисунок 3 – Образование колоний эвтектоида в одном зерне аустенита

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).

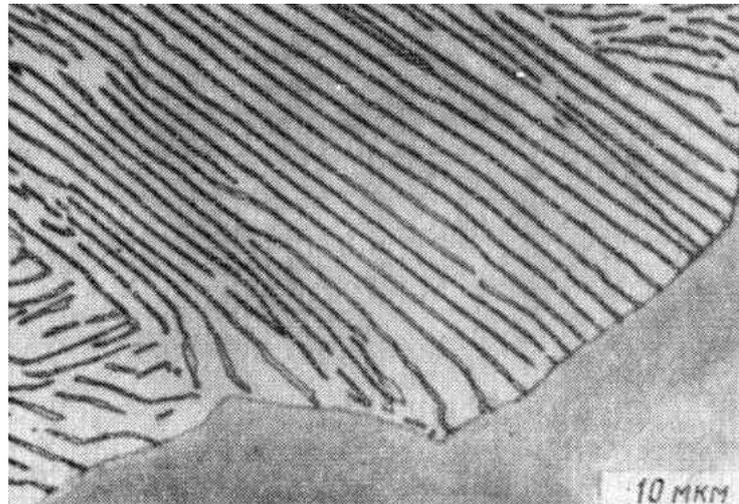


Рисунок 4 – Строение перлита около границы колонии

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).

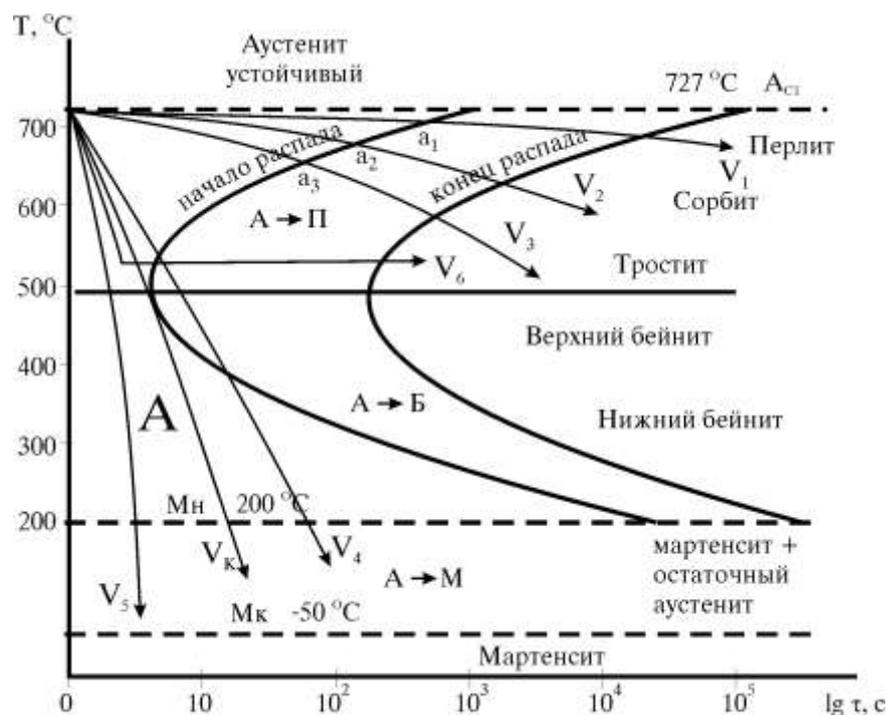


Рисунок 5 – Диаграмма превращения аустенита при охлаждении

**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:**

Работа должна быть представлена в письменном виде с расчетами.

**Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется* - студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.1 Теория термической обработки стали

### Практическое занятие № 61

#### Определение твердости материала динамическими твердомерами NOVOTEST Т-Д2, переносным твердомером ТБ-5013 (Бринель), твердомером переносным ТКП-1(Роквелл)

**Цель работы:** приобрести практические навыки по выбору метода определения твердости для типовых изделий (круг, пластина, лист, кольцо и т.п.), изготовленных из черных и цветных металлов.

#### 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:

Оборудование:

Переносной твердомер ТБ-5013 (Бринелль).

Переносной твердомер ТКП-1 (Роквелл).

Динамический твердомер NOVOTESNT Т-Д2;

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

1. Каждый студент выполняет индивидуальное задание, номер задания соответствует порядковому номеру студента в списке группы, согласно которому определяются данные для задания, размеры изделия, его формы, материал и свойства в соответствии с таблицами (табл. 3 – 5).
2. Ответить на контрольные вопросы.

#### Краткие теоретические сведения:

Одним из методов испытания механических свойств металлов и сплавов является метод определения их твердости. Под твердостью понимается свойство поверхностного слоя материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации при местных контактных воздействиях со стороны другого более твердого тела определенной формы и размера. Испытание на твердость, благодаря своей скорости, простоте, а также возможности производить замеры на готовых изделиях без их разрушения и повреждения получило очень широкое распространение как в лабораторных, так и в заводских условиях. Известные методы определения твердости значительно отличаются друг от друга по форме применяемого индентора, условиям приложения нагрузки и способу расчета чисел твердости.

Твердость можно измерять следующими способами:

- вдавливанием наконечника,
- царапанием поверхности,
- отскокиванием наконечника-шарика (упругая отдача).

Твердость, определенная царапанием, характеризует сопротивление разрушению (для большинства материалов путем среза).

Твёрдость, определенная по отскоку, характеризует упругие свойства металла.

Твердость, определенная вдавливанием в испытываемый материал индентора наконечника, изготовленного из более твёрдого материала (закаленная сталь, алмаз, твердый сплав) показывает сопротивление пластической деформации.

Наиболее распространенным является метод вдавливания, при котором твердость определяют по следующему принципу:

- по величине поверхности отпечатка от вдавливания стального шарика при испытании на прессе типа Бринелля;

- по глубине отпечатка при вдавливании алмазного (твердосплавного) конуса или стального шарика на приборе типа Роквелла;

- по величине поверхности отпечатка от вдавливания алмазной пирамиды при испытании на приборах типа Виккерса.

Во всех методах испытания на твердость очень важно правильно подготовить поверхностный слой образца. Он должен по возможности полно характеризовать тот материал, твердость которого необходимо определить.

Все поверхностные дефекты (окалина, выбоины, грубые риски, вмятины и т.д.) должны быть удалены. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше необходимая чистота поверхности.

Нагрузка должна прилагаться по оси вдавливаемого индентора перпендикулярно к испытываемой поверхности, поэтому её плоскость должна быть строго параллельна опорной поверхности. Неплоские образцы крепят на специальных опорных столиках, входящих в комплект твердомеров.

### Определение твердости по Бринеллю

Твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012 – 59) измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра  $D$  (2,5; 5; 10мм) под действием заданной нагрузки  $F$  в течение определенного времени (Рис. 1). В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое  $HB$  ( $H$  – начальная буква слова *Hardness* – твердость;  $B$  – начальная буква названия метода определения твердости *Brinell*), представляет собой отношение нагрузки  $F$  к площади поверхности сферического отпечатка  $S$  и измеряется в кгс/мм<sup>2</sup> или МПа:  $HB = F/S$ .

Для перевода твердости по Бринеллю в единицы СИ необходимо умножить число твердости в кгс/мм<sup>2</sup> на 9,81, т.е.  $HB = 9,81 \cdot HB$  (МПа).

Твердость, выраженная через диаметр шарика  $D$  и диаметр отпечатка  $d$ , характеризуется формулой:

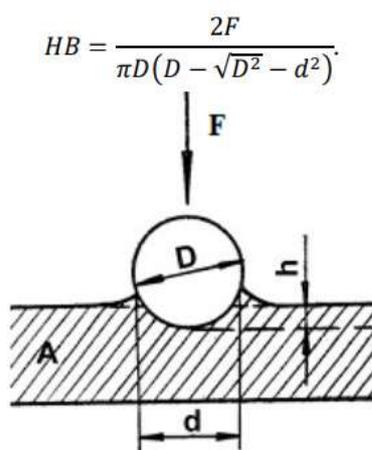


Рис. 1 – Схема испытания на твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012 – 59).

Значения твердости по Бринеллю обычно дают без указания размерности.

Диаметр отпечатка измеряют специальной лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра.

Чем меньше диаметр отпечатка, тем выше твердость испытываемого металла. Чтобы не прибегать к длительным и сложным вычислениям твердости по формуле, пользуются специальной таблицей перевода диаметра отпечатка в числа твердости  $HB$ .

На приборе Бринелля испытывать можно только те материалы, твердость которых не превышает 450 НВ, так как при большей твердости стальной шарик при вдавливании будет деформироваться, и исказить результат. Чтобы при вдавливании шарика не происходило продавливания материала, толщина образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка. Поэтому способ Бринелля не позволяет измерять твердость тонкого поверхностного слоя менее – 1 мм.

Диаметр шарика, нагрузка и длительность выдержки под нагрузкой устанавливаются в зависимости от испытываемого материала, его твердости, и толщины (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимости диаметра шарика, нагрузки и длительности выдержки под нагрузкой от испытываемого материала, его твердости, и толщины

Материал образца	Твердость НВ	Величина нагрузки	D, мм	Нагрузка F, кгс	Выдержка под нагрузкой, сек
Стали, чугуны	140 - 250	P=30D <sup>2</sup>	10	3000	10
			5	750	10
			2,5	187,5	10
Цветные сплавы: медь, латунь, бронза	35 - 150	P=10D <sup>2</sup>	10	1000	30
			5	250	30
			2,5	62,5	30
Цветные сплавы: алюминий, подшипниковые сплавы	8 - 35	P=2,5D <sup>2</sup>	10	250	60
			5	62,5	60
			2,5	15,6	60

Согласно ГОСТ 9012 – 59 твердость, обозначенная НВ 400, НВ 255 и т.д. показывает число твердости при испытании шариком диаметром 10 мм под нагрузкой 3000 кгс с выдержкой 10 сек. В случае отклонения от указанных параметров испытания перед цифровым выражением твердости необходимо указывать их значения,  $HB_{D^F}$ , например:  $HB_5^{250}$ . Число твердости по Бринеллю – 200 при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой: 250 кгс.

Между числом твердости НВ и пределом прочности для различных материалов установлена следующая примерная зависимость: для стали –  $\sigma_B \approx 0,34...0,35$  НВ; для медных отожженных сплавов  $\sigma_B \approx 0,55$  НВ; для алюминиевых сплавов  $\sigma_B \approx 0,35...0,36$  НВ.

### Определение твердости по Роквеллу

При определении твердости по методу Роквелла (рис. 2) в качестве индентора, вдавливаемого в испытываемый материал, применяют алмазный (твёрдосплавный) конус с углом при вершине 120°С или стальной закаленный шарик диаметром 1,588мм.

В отличие от измерений по методу Бринелля твердость определяют по глубине отпечатка, а не по его площади. Глубина отпечатка измеряется в самом процессе вдавливания, что значительно упрощает испытания. Нагрузка прилагается последовательно в две стадии (ГОСТ 9013 – 59): сначала предварительная F<sub>0</sub>, обычно равная 10 кгс (для устранения влияния упругой деформации и различной степени шероховатости), а затем основная F<sub>1</sub>, что в сумме составит полную F.

Прибор измеряет разность между глубиной отпечатков, полученных под действием полной нагрузки и предварительной, т.е. глубину отпечатка от основной нагрузки. Чем твёрже

измеряемый материал и, следовательно, меньше глубина вдавливания, тем больше число твердости по Роквеллу.

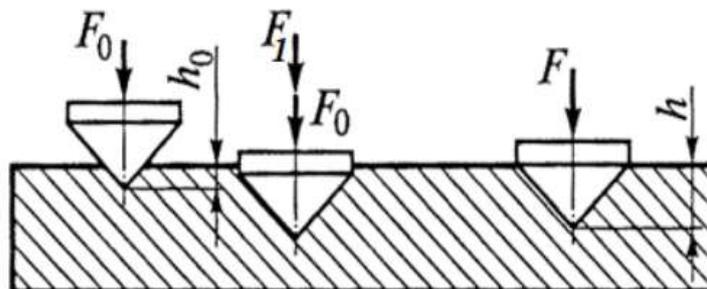


Рис. 2 – Схема определения твёрдости вдавливанием алмазного конуса на приборе Роквелла.

Единица твердости по Роквеллу – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индентора в металл на 0,002 мм. Она не имеет той размерности и того физического смысла, который имеет единица твёрдости по Бринеллю, но может быть пересчитана на числа твердости по Бринеллю с помощью специальных диаграммы и таблицы.

На приборе Роквелла можно измерять твердость:

1) Закаленных и низкоотпущенных сталей и др. сплавов (с твердостью более HB 450) алмазным (твердосплавным) конусом с общей нагрузкой 150 кгс. Значения твердости характеризуются цифрами на черной шкале С циферблата и обозначаются HRC, например, HRC 65.

2) Мягких отожженных сталей, чугунов, цветных сплавов стальным шариком с нагрузкой 100 кгс в деталях или образцах толщиной 0,8 - 2 мм, когда измерения по Бринеллю шариком большего диаметра могут вызвать смятие образца. Значения твердости характеризуются цифрами на красной шкале В и обозначаются HRB.

3) Очень твердых металлов и сплавов, а также тонких (0,3 - 0,5 мм), упрочнённых поверхностных слоёв и пластинок алмазным конусом с нагрузкой 60 кгс, когда вдавливание алмазного (твердосплавного) конуса с большой нагрузкой может вызвать выкрашивание алмаза. Значения твердости здесь характеризуются цифрами, указываемыми большой стрелкой на черной шкале А, и обозначается HRA.

Условия и пределы измерения твердости по Роквеллу установленные ГОСТ приведены в таблице 2. Твердость по методу Роквелла рекомендуется измерять не менее трех раз на одном образце. В расчет принимается среднее значение результатов замеров. Расстояние между отпечатками, а также между отпечатком и краем должно быть соответственно не менее 1,5 и 4 мм при измерении конусом и шариком.

Преимущество метода Роквелла по сравнению с методами Бринелля и Виккерса заключается в том, что значение твердости по методу Роквелла фиксируется непосредственно стрелкой индикатора, при этом отпадает необходимость в оптическом измерении размеров отпечатка.

Таблица 2 – Условия и пределы измерения твёрдости по методу Роквелла

Шкала	Тип индентора	Нагрузка, F, кгс	Обозначение чисел твердости	Пределы измерения твердости
A	Алмазный (твердоспл.) конус	60	HRA	70-95
B	Стальной шарик диам. 1,58 мм	100	HRB	25-100
C	Алмазный (твердоспл.) конус	150	HRC	20-67

### Определение твердости по Виккерсу

При стандартном измерении твердости по Виккерсу (рис. 3) (ГОСТ 2999 – 75) в поверхность образца вдавливаются индентор в форме четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине 136°. Твердость характеризуется площадью полученного отпечатка. Индентор вдавливается при нагрузках 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 или 120 кгс. Чем больше нагрузка, тем глубже он проникает в испытываемый материал. Поэтому для определения твердости тонких слоёв применяют меньшие нагрузки.

После снятия нагрузки, действующей определенное время (10-15 сек для черных и 30 сек для цветных металлов и сплавов), при помощи микроскопа, установленного на твердомере, измеряют диагонали  $d_1$  и  $d_2$  отпечатка, оставшегося на поверхности образца, с точностью до 0,001 мм, затем определяют среднее арифметическое  $d$ .

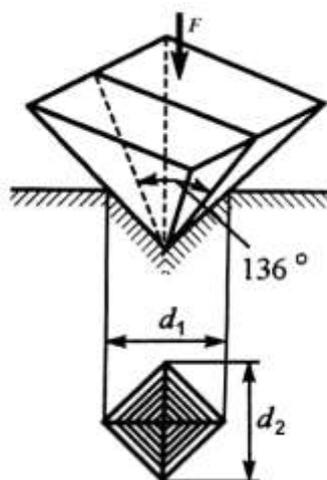


Рис. 3 – Схема испытания на твердость по методу Виккерса (ГОСТ 2999 – 75).

Твёрдость по Виккерсу HV, также, как и по Бринеллю, определяют, как усилие  $F$ , приходящееся на площадь боковой поверхности полученного пирамидального отпечатка  $S$  и измеряется в кгс/мм<sup>2</sup> или МПа

$$HV = \frac{F}{S}$$

Зная нагрузку  $F$ , по значению  $d$  можно определить твердость по специальным таблицам, составленным с использованием формулы. Обозначение, например, HV 500 – число твердости 500, полученное при нагрузке 30 кгс и выдержке 10-15 сек. В случаях отклонений от указанных параметров испытания вводятся дополнительные обозначения: HV 30/20 - 420 – число твердости 420, полученное при нагрузке 30 кгс и выдержке 20 сек; HV 10/40 - 220 - число твердости 220,

полученное при нагрузке 10 кгс и времени выдержки 40 сек. Числа твердости по Виккерсу и по Бринеллю имеют одинаковую размерность и для материалов твердостью до НВ 450 практически совпадают. Алмазная пирамида повышает точность измерения даже при проникновении её на небольшую глубину и делает этот способ особенно пригодным для определения твердости тонких или твердых сплавов.

**Порядок выполнения работы:**

3. Каждый студент выполняет индивидуальное задание, номер задания соответствует порядковому номеру студента в списке группы, согласно которому определяются данные для задания, размеры изделия, его формы, материал и свойства в соответствии с таблицами (табл. 3 – 5).

2. Сделайте записи расчетов в тетрадь.

2. Подготовить защиту практической работы.

**Ход работы:**

1) Назначить метод определения твердости, указать технологические параметры (индентор, нагрузку) для изделия определенной формы и размеров, изготовленного из цветного или черного сплава (табл. 3).

2) Рассчитать твердость материалов, если известен предел прочности материала,  $\sigma_B$ , МПа (табл. 4).

3) Перевести число твердости с Бринелля на Виккерс и Роквелл, используя таблицу перевода значений твердости (табл. 5).

Таблица 3 – Вид изделия и его размеры, марка материала № варианта

№ варианта	Вид изделия и его размеры	Марка материала
1	К 15 x 120	40Х
2	К 30 x 40	ВЧ 50
3	К 70 x 400	СЧ 28
4	П 70 x 30 x 10	КЧ 30-6
5	Л 0,5	ЛС 59 - 1
6	В 50 x 150 x 10	М 1
7	К 100 x 120	АЛ 4
8	В 45 x 40 x 7	сталь 80
9	Ц 120 x 60 x 3	12Х18Н10Т
10	П 40 x 40 x 3	Бр. Б 2
11	Ц 100 x 80 x 2	Бр. АЖ 9 - 4
12	К 25 x 70	ЛК 60 - 2
13	Л 30	СЧ 15
14	К 10 x 10	ВЧ 60
15	Ц 70 x 30 x 7	КЧ 45-7
16	Ф 0,1	А 99
17	П 100 x 60 x 3	38ХМЮА
18	К 35 x 70	У 10
19	В 90 x 70 x 15	15 ГЮТ
20	Ц 40 x 10 x 5	Р18
21	П 80 x 20 x 5	ШХ 4
22	Ф 0,4	40Х13
23	К 60 x 60	18ХГТ
24	К 120 x 300	Л80
25	В 60 x 40 x 20	АЛ 21
26	П 80 x 30 x 20	50ХФ
27	Ц 60 x 30 x 6	У13А
28	Л 1,8	Бр. ОЦ 9 - 1
29	К 20 x 100	Р6М5К5
30	К 10 x 30	сталь 45

Условные обозначения:

К – круг (Диаметр × Длина),

П – пластина, полоса (Длина × Ширина × Толщина),

Л – лист (Толщина)

Ц – кольцо (Диаметр внутренний × Диаметр наружный × Толщина)

Ф – фольга (Толщина)

В – квадрат, прямоугольник (Длина × Ширина × Толщина)

Таблица 4 – Прочность материалов,  $\sigma_B$ , МПа

№ варианта	Прочность материала, $\sigma_B$ , МПа
1	240
2	20
3	220
4	160
5	180
6	70
7	42
8	96
9	700
10	200
11	86
12	94
13	60
14	128
15	260
16	194
17	34
18	395
19	750
20	410
21	440
22	980
23	100
24	700
25	58
26	92
27	650
28	100
29	64
30	380

Таблица 5 – Таблица перевода значений твердости

Роквелл		Бринелль									Бринелль						
HRC	HRA	Диаметр отпечатка, d <sub>0</sub> (2 d <sub>c</sub> , 4 d <sub>s</sub> ), мм	НВ при нагрузке F, кгс			Виккерс, HV	Шор, HS <sub>h</sub>	Роквелл, HRB	Диаметр отпечатка, d <sub>0</sub> (2 d <sub>c</sub> , 4 d <sub>s</sub> ), мм	НВ при нагрузке F, кгс			Виккерс, HV	Шор, HS <sub>h</sub>			
			3000(30D <sup>2</sup> )	1000(10D <sup>2</sup> )	250(25D <sup>2</sup> )					3000(30D <sup>2</sup> )	1000(10D <sup>2</sup> )	250(25D <sup>2</sup> )					
			66	84,5	-					-	-	854			-	100	3,91
65	84,0	2,35	683	227	56,9	820	92	99	3,96	234	77,9	19,5	235	34			
64	83,5	-	-	-	789	-	98	4,01	228	75,9	19,0	226	33				
63	83,0	2,40	652	218	54,3	763	88	97	4,06	222	73,9	18,5	221	33			
62	82,5	-	-	-	739	-	95	4,11	216	72,0	18,0	217	32				
61	81,5	2,45	627	210	52,2	715	85	95	4,17	210	70,9	17,5	213	31			
60	81,0	-	-	-	695	-	94	4,21	205	68,5	17,1	209	30				
59	80,5	2,50	600	200	50,0	675	81	93	4,26	200	66,8	16,7	201	30			
58	80,0	2,55	578	193	48,8	655	78	92	4,32	195	64,9	16,2	197	29			
57	79,5	-	-	-	636	-	91	4,37	190	63,3	15,8	190	29				
56	79,0	2,60	555	185	46,2	617	75	90	4,42	185	61,8	15,5	186	28			
55	78,5	-	-	-	598	-	-	4,43	-	61,5	15,4	-	-				
54	78,0	2,62	532	178	44,0	580	72	89	4,48	180	60,1	15,0	183	28			
53	77,5	-	-	-	562	-	88	4,53	176	58,7	14,7	177	27				
52	77,0	2,70	512	171	42,7	545	70	87	4,58	172	57,3	14,3	174	27			
51	76,5	2,75	595	166	41,3	528	68	86	4,62	169	56,3	14,1	170	26			
50	76,0	-	-	-	513	-	85	4,67	165	55,0	13,8	166	26				
49	75,5	2,80	477	159	39,7	498	66	84	4,71	162	54,0	13,5	163	25			
48	74,5	2,85	460	153	38,3	485	64	83	4,75	159	53,0	13,3	159	25			
47	74,0	2,89	448	149	37,3	471	61	82	4,79	156	52,1	13,0	156	24			
46	73,5	2,92	437	146	36,4	458	60	-	4,80	-	51,9	-	-	-			
45	73,0	2,96	426	142	35,5	446	59	81	4,84	153	51,0	12,8	153	24			
44	72,5	3,00	415	138	34,6	435	57	80	4,88	150	50,1	12,5	149	23			
42	71,5	3,08	393	131	32,7	413	55	-	4,89	-	49,8	-	-	-			
40	70,5	3,16	372	124	31,0	393	52	79	4,93	147	49,0	12,3	146	23			
38	-	3,25	352	117	29,3	373	49	78	4,97	144	48,1	12,0	143	22			
36	-	3,34	332	111	27,7	353	46	-	4,98	-	47,9	-	-	-			
34	-	3,44	313	104	26,1	334	44	77	5,02	141	47,1	11,8	140	21			
32	-	3,53	297	98,9	24,6	317	42	-	5,03	-	46,9	11,7	-	-			
30	-	3,61	283	94,4	23,6	301	40	76	5,06	139	46,3	11,6	139	21			
28	-	3,69	270	90,2	22,5	285	38	75	5,09	137	45,7	11,4	137	21			
26	-	3,76	260	86,8	21,7	271	36	-	5,10	-	45,5	-	-	-			
24	-	3,83	250	83,5	20,9	257	35	74	5,12	135	45,1	11,3	135	19			
22	-	3,91	240	80,0	20,0	246	35	-	5,13	-	45,0	-	-	-			
20	-	3,99	230	76,7	19,2	236	32	72	5,21	130	43,5	10,9	130	19			

Контрольные вопросы

1. Понятие о твердости металлов и сплавов.
2. Какие существуют способы измерения твердости?
3. Чем объясняется широкое применение способа измерения твердости?
4. Как определить твердость по методу Бринелля?
5. Как определить твердость по методу Роквелла?
6. Как определяется индентор (наконечник) для испытания при использовании метода Роквелла?
7. Как определить твердость по методу Виккерса?
8. Обозначение и единицы измерения твердости.
9. Что является вдавливаемым элементом при измерении твердости по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу?
10. Чем объяснить отсутствие универсального метода определения твердости?

### **Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в виде таблицы, письменных ответов на контрольные вопросы.

### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 62

#### Выбор марки материала и режима термической обработки для конкретных деталей

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

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### 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.

№ 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:**

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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»).

7. 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.

8. 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.

9. 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.

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.

10. 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.

11. 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.

12. 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:**

Работа должна быть представлена в письменном виде с решением задач.

### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 63

#### Выбор марки легированной стали для деталей в зависимости от условий их работы

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

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### 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.

№ 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 чугунных 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°С у режущих инструментов и до 800°С — у штампов.

Стали для резания или горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т. е. обладать теплостойкостью (красностойкостью). 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°С 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°С. 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°С (быстрорежущие стали); штамповка стали при повышенном нагреве до 600—800°С. Основная карбидная фаза — карбид вольфрама (молибдена). Твердость HRC 60—62 у быстрорежущих сталей после нагрева до 600—680°С и HRC 45—52 у штамповых — 650—700°С.

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.

Задача. 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
P8МЗК6С	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 P8МЗК6С.

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

Закалка до 1240-1250 °C (P13Ф4К5) и 1210-1220 °C (P8МЗК6С), 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°С с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает синий цвет и несколько улучшает стойкость против воздушной коррозии.

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

Работа должна быть представлена в письменной форме с решением задач.

#### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 64

#### Выбор марки сплава цветных металлов для деталей в зависимости от условий их работы

**Цель:** приобрести навык в работе со справочной литературой по выбору сплава известных цветных металлов для детали в зависимости от условий их работы.

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

- 1 Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней;
- 2 Выбрать сплав цветных металлов для изготовления заданной детали, изучить её химический состав и механические свойства; см. Приложение 3 Дать обоснование выбора сплава для заданной детали;
- 4 Составить отчет

#### Краткое теоретическое обоснование

Для изготовления деталей машин и механизмов используют медные, алюминиевые, магниевые и титановые сплавы. При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники и справочные данные, приведенные в конце методических указаний в Приложении. Цветные сплавы. Сплавы на основе цветных металлов (медь, алюминий, магний, титан, магний, олово, свинец, цинк) обладают лучшими механическими и технологическими свойствами, чем чистые металлы, поэтому они нашли широкое применение в промышленности

##### *Алюминий и алюминиевые сплавы*

*Получение алюминия.* Из руд для промышленного получения алюминия используют преимущественно бокситы и нефелины. Химический состав бокситов выражается формулой  $\text{Na}_2(\text{K}_2)\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Бокситы содержат в своем составе 30/70% глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2-20% кремнезема  $\text{SiO}_2$ , 2-50% окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 0,1-10% окиси титана  $\text{TiO}_2$ . Производство алюминия состоит из двух основных процессов: получения глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из бокситов и восстановления металлического алюминия электролизом из раствора глинозема в расплавленном криолите ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Электролитом служит криолит с добавлением 8-10% глинозема, а также  $\text{AlF}_3$  и  $\text{NaF}$ . Образующийся в результате электролиза жидкий алюминий собирается на дне ванны под слоем электролита. Его называют алюминием-сырцом. Алюминий-сырец содержит металлические (Fe, Cu, Zn и др.) и неметаллические (C,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Si и др.) примеси, а также газы - кислород, водород, окись и двуокись углерода и др. Эти примеси удаляют, например, хлорированием (продувкой хлором) жидкого алюминия-сырца в ковше. Образующийся при этом парообразный хлористый алюминий  $\text{AlCl}_3$ , проходя через расплавленный алюминий, обволакивает пузырьками частицы примесей и выносит их вместе с газами, растворенными в алюминии.

После рафинирования хлором алюминий отливают в слитки и направляют потребителям. Первичный алюминий делят на три группы: алюминий особой чистоты (марка А999), высокой чистоты (четыре марки) и технической чистоты.

Предусмотрено восемь марок, допускающих содержание примесей 0,15-1 %. Название марки указывает ее чистоту. Например, марка А8 обозначает, что в металле содержится 99,8% алюминия, а в марке А99-99,99% алюминия. Алюминий технической чистоты получают в электролизных ваннах. Путем электролитического рафинирования алюминия-сырца получают алюминий марок высокой чистоты. Алюминий - легкий металл серебристо-белого цвета с высокой электро- и теплопроводностью; плотность его 2700 кг/м.<sup>3</sup>, температура плавления в зависимости от чистоты колеблется в пределах 660-667°С.

В отожженном состоянии алюминий имеет малую прочность ( $\sigma=80-100$  МПа), низкую твердость (НВ 20-40), но обладает высокой пластичностью ( $\delta=35-40\%$ ). Алюминий хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо поддается резанию. Имеет высокую стойкость против атмосферной коррозии и в пресной воде. На воздухе алюминий быстро окисляется, покрываясь тонкой плотной пленкой окиси, которая не пропускает кислород в толщу металла, что и обеспечивает его защиту от коррозии. В качестве конструкционных материалов алюминий широко применяют в виде сплавов с другими металлами и неметаллами (медь, марганец, магний, кремний, железо, никель, титан, бериллий и др.).

*Алюминиевые сплавы* сочетают в себе лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные характеристики легирующих добавок. Так, железо, никель, титан повышают жаропрочность алюминиевых сплавов. Медь, марганец, магний обеспечивают упрочняющую термообработку алюминиевых сплавов. В результате легирования и термической обработки удается в несколько раз повысить прочность ( $\sigma$  с 100 до 500 МПа) и твердость (НВ с 20 до 150) алюминия. Все сплавы алюминия подразделяют на деформируемые и литейные.

*Деформируемые алюминиевые сплавы.* Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для получения листов, ленты, фасонных профилей, проволоки и различных деталей штамповкой, прессованием, ковкой. В зависимости от химического состава деформируемые алюминиевые сплавы делят на 7 групп; содержат 2-3 и более легирующих компонента в количестве 0,2-4% каждого. Например, сплавы алюминия с магнием и марганцем; алюминия с медью, магнием, марганцем и др. Деформируемые сплавы разделяют на сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. Деформируемые сплавы, подвергаемые механической и термической обработке, имеют буквенные обозначения, указывающие на характер обработки.

*Термически не упрочняемые сплавы* - это сплавы алюминия с марганцем (АМц) и алюминия с магнием и марганцем (АМг). Они обладают умеренной прочностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и пластичностью.

Термически упрочняемые сплавы приобретают высокие механические свойства и хорошую сопротивляемость коррозии только в результате термической обработки.

Наиболее распространены сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем (дюралюмины) и алюминия с медью, магнием, марганцем и цинком (сплавы высокой прочности).

Дюралюмины маркируют буквой Д, после которой стоит цифра, обозначающая условный номер сплава. Термическая обработка дюралюминов состоит в закалке, естественном или искусственном старении. Для закалки сплавы нагревают до 500°С и охлаждают в воде. Естественное старение производят при комнатной температуре в течение 5-7 суток. Изменение прочности дюралюминия при естественном старении показано на рис. Искусственное старение проводят при 150-180°С в течение 2-4ч.

При одинаковой прочности дюралюмины, подвергнутые естественному старению, более пластичны и коррозионностойки, чем подвергнутые искусственному старению. Особенностью нагрева алюминиевых сплав при закалке является строгое поддержание температуры ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ), чтобы не допустить пережога и достичь наибольшего эффекта термической обработки.

Дюралюмины не обладают необходимой коррозионной стойкостью, поэтому их подвергают лакированию. Дюралюмины выпускают в виде листов, прессованных и катаных профилей,

прутков, труб. Особенно широко применяют дюралюмины в авиационной промышленности и строительстве.

*Литейные алюминиевые сплавы.* Литейные сплавы содержат почти те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13% по отдельным компонентам).

*Линейные сплавы* предназначены для изготовления фасонных отливок. Выпускают 35 марок литейных алюминиевых сплавов (АЛ), которые по химическому составу можно разделить на 5 групп. Например, алюминий с кремнием (АЛ2, АЛ4, АЛ9) или алюминий с магнием (АЛ8, АЛ13, АЛ22 и др.).

Алюминиевые литейные сплавы маркируют буквами АЛ и цифрой, указывающей условный номер сплава.

Сплавы на основе алюминия и кремния называют *силуминами*. Силумины обладают высокими механическими и литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, достаточно высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью.

Сплавы на основе алюминия и магния имеют высокую удельную прочность, хорошо обрабатываются резанием и имеют высокую коррозионную стойкость. Свойства алюминиевых литейных сплавов существенно зависят от способа литья и вида термической обработки. Важное значение при литье имеет скорость охлаждения затвердевающей отливки и скорость охлаждения ее при закалке. В общем случае увеличение скорости отвода тепла вызывает повышение прочностных свойств. Поэтому механические свойства отливок при литье в кокиль (металлические литейные формы) выше, чем при литье в песчано-глинистые формы.

Литейные алюминиевые сплавы имеют более грубую и крупнозернистую структуру, чем деформируемые. Это определяет режимы их термической обработки. Для закалки силумины нагревают до температуры 520-540°C и дают длительную выдержку (5-10 ч.), для того чтобы полнее растворить включения. Искусственное старение проводят при 150-180°C в течение 10-20 ч. Для улучшения механических свойств силумины, содержащие более 5% кремния, модифицируют натрием. Для этого в расплав добавляют 1-3% от массы сплава соли натрия ( $2/3\text{NaF} + 1/3\text{NaCl}$ ). При этом снижается температура кристаллизации сплава и измельчается его структура.

### ***Медь и медные сплавы***

Получение меди и ее сплавов. В настоящее время медь получают из сульфидных руд, содержащих медный колчедан ( $\text{CuFeS}_2$ ). Обогащенный концентрат медных руд (содержащий 11-35% Cu), сначала обжигают для снижения содержания серы, а затем плавят на медный штейн. Цель плавки на штейн - отделение сернистых соединений меди и железа от рудных примесей. Штейны содержат до 16-60% Cu. Медные штейны переплавляют в медеплавильном конвертере с продувкой воздухом и получают черновую медь, содержащую 1-2% примесей железа, цинка, никеля, мышьяка и др. Черновую медь рафинируют для удаления примесей. Содержание меди после рафинирования возрастает до 99,99999% (медь первичная - технически чистая). Чистая медь имеет 11 марок (М00б, М0б, М1б, М1у, М1, М1р, М1ф, М2р, М3р, М2 и М3). Суммарное количество примесей в лучшей марке М00б - 0,01 %, а в марке М3 - 0,5%.

Механические свойства чистой отожженной меди:  $\sigma_{\text{в}} = 220-240$  МПа, НВ 40-50,  $\delta = 45-50\%$ . Чистую медь применяют для электротехнических целей и поставляют в виде полуфабрикатов - проволоки, прутков, лент, листов, полос и труб. Из-за малой механической прочности чистую медь не используют как конструкционный материал, а применяют ее сплавы с цинком, оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом. Легирование меди обеспечивает повышение ее механических, технологических и эксплуатационных свойств. Различают три группы медных сплавов: латуни, бронзы, сплавы меди с никелем.

### ***Латуни.***

Латунями называют двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк.

При введении других элементов (кроме цинка) латуни называют специальными по наименованию элементов, например железофосфорномарганцевая латунь. В сравнении с медью латуни обладают большей прочностью, коррозионной стойкостью и лучшей обрабатываемостью

(резанием, давлением). Латунь содержит до 40-45% цинка. При большем содержании цинка снижается прочность латуни и увеличивается ее хрупкость.

Содержание легирующих элементов в специальных латунях не превышает 7-9%. Сплав обозначают начальной буквой Л - латунь. Затем следуют первые буквы основных элементов образующих сплавов: Ц - цинк, О - олово, Мц - марганец, Ж - железо, Ф - фосфор, Б - бериллий и т.д. Цифры, следующие за буквами, указывают на количество легирующего элемента в процентах. Например, ЛАЖМц66-6-3-2-алюминиево-железомарганцовистая латунь, содержащая 66% меди, 6% алюминия, 3% железа, и 2% марганца, остальное - цинк.

По технологическому признаку латуни, как и все сплавы цветных металлов, подразделяют на литейные и деформируемые. Литейные латуни предназначены для изготовления фасонных отливок, их поставляют в виде чушек. Деформируемые латуни выпускают в виде простых латуней, например Л90 (томпак), Л80 (полутомпак), и сложных латуней, например ЛАЖ60-1-1, ЛС63-3 и др. Латунь поставляют в виде полуфабрикатов - проволоки, прутков, лент, полос, листов, труб и других видов прокатных и прессованных изделий. Латунь широко применяют в общем и химическом машиностроении.

*Бронзы.* Сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем, свинцом, бериллием называют бронзами. В зависимости от введенного элемента бронзы называют оловянными, алюминиевыми и т.д. Бронзы обладают высокой стойкостью против коррозии, хорошими литейными и высокими антифрикционными свойствами и обрабатываемостью резанием. Для повышения механических характеристик и придания особых свойств бронзы легируют железом, никелем, титаном, цинком, фосфором. Введение марганца способствует повышению коррозионной стойкости, никеля - пластичности, железа - прочности, цинка улучшению литейных свойств, свинца - улучшению обрабатываемости.

Бронзы маркируют буквами Бр, правее ставят элементы, входящие в бронзу: О - олово, Ц - цинк, С - свинец, А - алюминий, Ж - железо, Мц - марганец и др. Затем ставят цифры, обозначающие среднее содержание элементов в процентах (цифру, обозначающую содержание меди в бронзе, не ставят). Например, марка БрОЦС5-5-5 означает, что бронза содержит олова, свинца и цинка по 5%, остальное - медь (85%). Оловянные бронзы содержат в среднем 4-6% олова, имеют высокие механические ( $\sigma_{\text{в}} = 150-350$  МПа;  $\delta = 3-5\%$ ; твердость НВ 60-90), антифрикционные и антикоррозионные свойства; хорошо отливаются и обрабатываются резанием. Для улучшения качества в оловянные бронзы вводят свинец, повышающий антифрикционные свойства и обрабатываемость; цинк, улучшающий литейные, механические и антифрикционные свойства.

Различают деформируемые и литейные оловянные бронзы.

Деформируемые бронзы поставляются в виде полуфабрикатов (прутки, проволоки, ленты, полосы) в нагартованном (твердом) и отожженном (мягком) состояниях. Эти бронзы применяют для вкладышей подшипников, втулок деталей приборов и т.д. Литейные оловянные бронзы содержат большое количество олова (до 15%), цинка (4-1,0%), свинца (3-6%), фосфора (0,4-1,0%). Литейные бронзы применяют для получения различных фасонных отливок. Высокая стоимость и дефицитность олова - основной недостаток оловянных бронз.

Безоловянные бронзы содержат алюминий, железо, марганец, бериллий, кремний, свинец или различное сочетание этих элементов. Алюминиевые бронзы содержат 4-11 % алюминия. Алюминиевые бронзы имеют высокую коррозионную стойкость, хорошие механические и технологические свойства. Эти бронзы хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, а при содержании алюминия до 8% - и в холодном состоянии. Бронзы, содержащие 9-11 % алюминия, а так же железо, никель, марганец, упрочняются термической обработкой (закалка и отпуск). Наиболее поддающаяся закалке БрАЖН 10-4-4 после закалки (980 °С) и отпуска (400 °С) повышает твердость с НВ 170-200 до НВ 400.

*Марганцовистые бронзы* (БрМц-5) имеют сравнительно невысокие механические свойства, но обладают высокой пластичностью и хорошей сопротивляемостью коррозии.. а также сохраняют механические свойства при повышенных температурах. Свинцовистые бронзы (БрС-30) отличаются высокими антикоррозионными свойствами и теплопроводностью (в четыре раза

большой, чем у оловянных бронз); применяют для высоконагруженных подшипников с большими удельными давлениями.

*Бериллиевые бронзы* (БрБ2) после термообработки имеют высокие механические свойства, например у БрБ2  $\sigma_{\text{в}} = 1250$  МПа,  $H \text{ В } 350$ , высокий предел упругости, хорошую коррозионную стойкость, теплостойкость. Из бериллиевых бронз изготавливают детали особо ответственного назначения.

*Кремнистые бронзы* (БрКН 1-3, БрКМц3-1) применяют как заменители дорогостоящих бериллиевых бронз.

*Сплавы меди с никелем. Медно никелевые сплавы* - это сплавы на основе меди, в которых основным легирующим компонентом является никель. По назначению их подразделяют на конструкционные и электротехнические сплавы.

*Куниали* (медь - никель - алюминий) содержат 6-13% никеля, 1,5-3% алюминия, остальное - медь. Куниали подвергают термической обработке (закалка - старение).

Куниали служат для изготовления деталей повышенной прочности, пружин и ряда электромеханических изделий.

*Нейзильберы* (медь - никель - цинк) содержат 15% никеля, 20% цинка, остальное - медь. Нейзильберы имеют приятный белый цвет, близкий к цвету серебра. Они хорошо сопротивляются атмосферной коррозии; применяют в приборостроении и производстве часов.

*Мельхиоры* (медь - никель и небольшие добавки железа и марганца до 1 %) обладают высокой коррозионной стойкостью, в частности в морской воде. Их применяют для изготовления теплообменных аппаратов, штампованных и чеканных изделий.

*Копель* (медь - никель 43% - марганец 0,5%) - специальный сплав с высоким удельным электросопротивлением, используемый в электротехнике для изготовления электронагревательных элементов. Константан (медь - никель 40% - марганец 1,5%) имеет такое же назначение, как и манганин. 72

### **Титан, магний и их сплавы**

#### *Получение титана.*

*Титан* - серебристо-белый металл с высокой механической прочностью и высокой коррозионной и химической стойкостью. Для производства титана используют рутил, ильменит, титанит и другие руды, содержащие 10-40% двуокиси титана  $\text{TiO}_2$ . После обогащения концентрат титановых руд содержит до 65%  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  и сопутствующие окислы железа разделяют восстановительной плавкой. В процессе плавки окислы железа и титана восстанавливаются, в результате чего получают чугуны и титановый шлак, в котором содержится до 80-90%  $\text{TiO}_2$ .

Титановый шлак хлорируют, в результате чего титан соединяется с хлором в четыреххлористый титан  $\text{TiCl}_4$ . Затем четыреххлористый титан нагревают в замкнутой реторте при температуре 950-1000 °С в среде инертного газа (аргон) вместе с твердым магнием. Магний отнимает хлор, превращаясь в жидкий  $\text{MgCl}_2$ , а твердые частицы восстановленного титана спекаются в пористую массу, образуя титановую губку. Путем сложных процессов рафинирования и переплава их титановой губки получают чистый титан. Технически чистый титан содержит 99,2-99,65% титана.

Свойства и применение титана. Прочность технически чистого титана зависит от степени его чистоты и соответствует прочности обычных конструкционных сталей. По коррозионной стойкости титан превосходит даже высоколегированные нержавеющие стали. Для получения сплавов титана с заданными механическими свойствами его легируют алюминием, молибденом, хромом и другими элементами. Главное преимущество титана и его сплавов заключается в сочетании высоких механических свойств ( $\sigma_{\text{в}} > 1500$  МПа;  $\delta = 10-15\%$ ) и коррозионной стойкости с малой плотностью. Алюминий повышает жаропрочность и механическую прочность титана. Ванадий, марганец, молибден и хром повышают жаропрочность титановых сплавов. Сплавы хорошо поддаются горячей и холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют удовлетворительные литейные свойства, хорошо свариваются в среде инертных газов. Сплавы удовлетворительно работают при температурах до 350-500 °С. По технологическому назначению титановые сплавы делят на деформируемые и литейные, а по прочности — на три группы: низкой

( $\sigma_{\text{в}} = 300700$  МПа), средней ( $\sigma_{\text{в}} = 700-1000$  МПа) и высокой ( $\sigma_{\text{в}}$  более 1000 МПа) прочности. К первой группе относят сплавы под маркой ВТ1, ко второй - ВТ3, ВТ4, ВТ5 и др., к третьей - ВТ6, ВТ 14, ВТ 15 (после закалки и старения).

Для литья применяют сплавы, аналогичные по составу деформируемым сплавам (ВТ5Л, ВТ14Л), а также специальные литейные сплавы. Литейные сплавы имеют более низкие механические свойства, чем соответствующие деформируемые. Титан и его сплавы, обработанные давлением, выпускают в виде прутков, листов и слитков. Титановые сплавы применяют в авиационной и химической промышленности.

*Получение магния.* Магний - самый легкий из технических цветных металлов, его плотность 1740 кг/м<sup>3</sup> температура плавления 650°C. Технически чистый магний - непрочный металл с низкой тепло- и электропроводностью. Для улучшения прочностных свойств в магний добавляют алюминий, кремний, марганец, торий, церий, цинк, цирконий и подвергают термообработке. Для производства магния используют преимущественно карналлит (MgCl<sub>2</sub>·KCl·6H<sub>2</sub>O), магнезит (MgCO<sub>3</sub>), доломит (CaCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub>) и отходы ряда производств, например, титанового. Карналлит подвергают обогащению, в процессе которого отделяют KCl и нерастворимые примеси путем перевода в водный MgCl<sub>2</sub> и KCl. После получения в вакуум-кристаллизаторах искусственного карналлита его обезвоживают и электролитическим путем получают из него магний, который затем подвергают рафинированию. Технически чистый магний (первичный) содержит 99,8—99,9% магния.

Маркировка и химический состав магниевых сплавов для фасонного литья и слитков, предназначенных для обработки давлением, регламентируются стандартами. Свойства и применение магния. В зависимости от способа получения изделий магниевые сплавы делят на литейные и деформируемые.

*Литейные магниевые сплавы* при меняют для изготовления деталей литьем. Их маркируют буквами МЛ и цифрами, обозначающими порядковый номер сплава, например, МЛ5. Отливки из магниевых сплавов иногда подвергают закалке с последующим старением. Некоторые сплавы МЛ применяют для изготовления высоконагруженных деталей в авиационной промышленности: картеры, корпуса приборов, фермы шасси и т.п. Деформируемые магниевые сплавы предназначены для изготовления полуфабрикатов (листов, прутков, профилей) обработкой давлением. Их маркируют буквами МА и цифрами, обозначающими порядковый номер сплава, например, МА5. Сплавы МА применяют для изготовления различных деталей в авиационной промышленности. Ввиду низкой коррозионной стойкости магниевых сплавов изделия и детали из них подвергают оксидированию с последующим нанесением лакокрасочных покрытий.

#### ***Олово, свинец, цинк и их сплавы***

*Олово* - блестящий белый металл, обладающий низкой температурой плавления (231°C) и высокой пластичностью. Применяется в составе припоев, медных сплавов (бронза) и антифрикционных сплавов (баббит). *Свинец* - металл голубовато-серого цвета, обладает низкой температурой плавления (327°C) и высокой пластичностью. Входит в состав медных сплавов (латунь, бронза), антифрикционных сплавов (баббит) и припоев.

*Цинк* - светло-серый металл с высокими литейными и антикоррозионными свойствами, температура плавления 419°C. Входит в состав медных сплавов (латунь) и твердых припоев.

*Припой.* Припой - это металлы или сплавы, используемые при пайке в качестве связки (промежуточного металла) между соединяемыми деталями. Припой имеют более низкую температуру плавления, чем соединяемые металлы. Незначительный нагрев соединяемых металлов, а вследствие этого отсутствие изменения структуры металла являются основным преимуществом пайки в сравнении со сваркой.

По температуре расплавления припой подразделяют на легкоплавкие (145—450°C), среднеплавкие (450—1100°C) и высокоплавкие (1100—1850°C).

К легкоплавким относят оловянно-свинцовые (ПОС), оловянные, мало сурьмянистые и сурьмянистые (ПОССу) и другие припои; медноцинковые (латуни) относят к среднеплавким (905-9850С), а многокомпонентные на основе железа - к высокоплавким (1190—1480 0С).

Оловянно-свинцовые припои широко применяют во всех отраслях промышленности. Для снижения охрупчивания олова при низких температурах в состав припоев вводят сурьму. Оловянно-свинцовые припои имеют низкую коррозионную стойкость во влажной среде. В этих условиях паяные соединения необходимо защищать лакокрасочными покрытиями. Оловянные припои имеют высокую прочность, пластичность и коррозионную стойкость. Их применяют при пайке радиотехнической и электронной аппаратуры. Медно-цинковые припои (латуни) широко применяют для пайки большинства металлов. Для повышения прочности паяных соединений в медно-цинковые припои вводят олово, никель и марганец. Добавки олова понижают температуру плавления латуни, повышают коррозионную стойкость и улучшают жидко-текучесть припоя. При пайке сложных изделий со швами на вертикальной стенке применяют пастообразные и порошковые припои. Легкоплавкие пастообразные припои состоят обычно из трех частей: порошкообразного припоя, флюса и загустителя.

Так, пасту состава: припой Пор ПОССу-30-2 (70%), вазелин (20%), бензойная кислота (1,2%), аммоний хлористый (1,2%) и эмульгатор ОП-7 (0,6%) — применяют для пайки стальных, медных и никелевых изделий. Тугоплавкие порошкообразные припои применяют для пайки твердосплавных пластин при производстве режущего инструмента. Состав припоя: ферромарганец (40%), ферросилиций (10%), чугунная стружка (20%), медная стружка (5%), толченое стекло (15%) — плавится при температуре 1190-1300°C.

*Применение цинка.* Цинк имеет хорошую коррозионную стойкость и атмосферных условиях и в пресной воде. Поэтому цинк служит для хорошей антикоррозионной защиты кровельного железа и изделий из него. Чистый цинк (марок Ц ВО, ЦВ1) применяют в полиграфической и автомобильной промышленности; цинк марки ЦВОО- и электротехнике для изготовления источников постоянного тока. Для получения фасонных отливок применяют сплавы ЦАМ с алюминием (4%), медью (0,5—3,5%) и магнием (0,1%). Из сплавов ЦАМ благодаря их легкоплавкости и жидко-текучести литьем под давлением получают отливки, не требующие дополнительной обработки поверхности. Деформируемые цинковые сплавы ЦАМ9-1,5, содержащие алюминий (911%), медь (1-2%), магний (0.05%), применяют для получения биметаллической антифрикционной ленты со сталью и алюминием.

*Антифрикционные сплавы* Антифрикционные сплавы предназначены для повышения долговечности трущихся поверхностей машин и механизмов. Трение происходит в подшипниках скольжения между валом и вкладышем подшипника. Поэтому для вкладыша подшипника подбирают такой материал, который предохраняет вал от износа, сам минимально изнашивается, создает условия для оптимальной смазки и уменьшает трение. Исходя из этих требований, антифрикционный материал представляет собой сочетания достаточно прочной и пластичной основы, в которой имеются опорные (твердые) включения. При трении пластичная основа частично изнашивается, а вал опирается на твердые включения. В этом случае трение происходит не по всей поверхности подшипника, а смазка удерживается в изнашивающихся местах пластичной основы. Антифрикционными сплавами служат сплавы на основе олова, свинца, меди или алюминия, обладающие специальными антифрикционными свойствами.

Антифрикционные свойства сплавов проявляются при трении в подшипниках скольжения. Это, в первую очередь, низкий коэффициент трения, хорошая прирабатываемость к сопрягаемой детали, высокая теплопроводность, способность удерживать смазку и др. Из антифрикционных сплавов наиболее широко применяют баббит, бронзу, алюминиевые сплавы, чугун и металлокерамические материалы.

Антифрикционные сплавы хорошо прирабатываются в парах трения благодаря мягкой основе — олову, свинцу или алюминию. Более твердые металлы (цинк, медь, сурьма), вкрапленные в мягкую основу, способны выдерживать большие нагрузки. После приработки и частичной деформации мягкой основы в ней образуются углубления, способные удерживать смазку, необходимую для нормальной работы пары.

*Баббиты* — антифрикционные материалы на основе олова или свинца. Их применяют для заливки вкладышей подшипников скольжения, работающих при больших окружных скоростях и при переменных и ударных нагрузках. По химическому составу баббиты классифицируют на три

группы: оловянные (Б83, Б88), оловянно-свинцовые (БС6, Б16) и свинцовые (БК2, БКА). Последние не имеют в своем составе олова. Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты. Микроструктура баббита Б83 состоит из мягкой основы, представляющей собой твердый раствор сурьмы в олове. Баббиты на основе свинца имеют несколько худшие антифрикционные свойства, чем оловянные, но они дешевле и менее дефицитны. Свинцовые баббиты применяют в подшипниках, работающих в легких условиях. В марках баббитов цифра показывает содержание олова.

Например, баббит БС6 содержит по 6% олова и сурьмы, остальное — свинец.

Для оловянных и оловянно-фосфористых бронз характерны высокие антифрикционные свойства: низкий коэффициент трения, небольшой износ, высокая теплопроводность, что позволяет подшипникам, изготовленным из этих материалов, работать при высоких окружных скоростях и нагрузках.

Алюминиевые бронзы, используемые в качестве подшипниковых сплавов, отличаются большой износостойкостью, но могут вызвать повышенный износ вала. Их применяют вместо оловянных и свинцовых баббитов и свинцовых бронз. Свинцовые бронзы в качестве подшипниковых сплавов могут работать в условиях ударной нагрузки. Латунь по антифрикционным свойствам уступает бронзам. Их используют для подшипников, работающих при малых скоростях и умеренных нагрузках.

Из-за дефицитности олова и свинца применяют сплавы на менее дефицитной основе, например, алюминиевые сплавы.

Алюминиевые сплавы обладают хорошими антифрикционными свойствами, высокой теплопроводностью, хорошей коррозионной стойкостью в масляных средах и достаточно хорошими механическими и технологическими свойствами. Их применяют в виде тонкого слоя, нанесенного на стальное основание, т.е. в виде биметаллического материала.

В зависимости от химического состава различают две группы сплавов:

1 Сплавы алюминия с сурьмой, медью и другими элементами, которые образуют твердые фазы в мягкой алюминиевой основе. Наибольшее распространение получил сплав САМ, содержащий сурьму (до 6,5%) и магний (0,3—0,7%). Этот сплав хорошо работает при высоких нагрузках и больших скоростях в условиях жидкостного трения. Сплав САМ широко применяют для изготовления вкладышей подшипников коленчатого вала двигателя и тракторов и автомобилей.

2 Сплавы алюминия с оловом и медью, например, АО20-1 (20% олова и до 1,2% меди) и АО9-2 (9% олова и 2% меди). Они хорошо работают в условиях сухого и полужидкостного трения и по антифрикционным свойствам близки к баббитам. Их используют для производства подшипников в автомобилестроении, транспортном и общем машиностроении. Для работы в подшипниковых узлах трения применяют специальные антифрикционные чугуны. Изготавливают три типа антифрикционного чугуна: серый, высокопрочный с шаровидным графитом и ковкий. Антифрикционный чугун идет на изготовление червячных зубчатых колес, направляющих для ползунов деталей машин, работающих в условиях трения. Металлокерамические сплавы получают прессованием и спеканием порошков бронзы или железа с графитом (1-4%). Пористость сплава 15—30%. После спекания сплавы пропитывают минеральными маслами, смазками или маслографитовой эмульсией. Сплавы хорошо прирабатываются к валу, а наличие смазки в порах способствует снижению износа подшипника.

### **Задачи по выбору марки сплава цветных металлов для конкретных деталей в зависимости от условий их работы**

1 Детали арматуры турбин и котлов гидронасосов работают во влажной атмосфере и изготавливаются массовыми партиями литьём, имеют сложную форму и высокую точность размеров. Подберите применяемый для этой цели цветной сплав и сталь для изготовления форм.

2 Трубки в паросиловых установках должны быть стойки против коррозии. Подберите марку сплава на медной основе, пригодную для изготовления трубок, не содержащих дорогих элементов.

Укажите способ изготовления трубок и сравните механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами стали, стойкость против коррозии в тех же условиях.

3 Необходимо изготовить зубчатые колеса из сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Предел прочности не ниже 340 МПа. Объясните, почему в таких случаях: не применяют нержавеющей сталь, стойкую против коррозии в условиях воды и пара. Укажите цветной сплав, пригодный для изготовления подобных зубчатых колес.

4 Детали самолётов: педали, рычаги, стойки педалей и т.п. изготавливают из сплава с хорошими литейными свойствами, обладающего, кроме того, хорошей обрабатываемостью резанием. Предел прочности сплава должен быть не ниже 220 МПа. Рекомендуйте состав сплава, укажите механические свойства его в готовом изделии и сопоставьте его свойства с аналогичными свойствами стали.

5 Вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей внутреннего сгорания изготавливают из сплавов, обладающих высокими антифрикционными свойствами. Подберите состав сплава, укажите причины хорошей их работы в условиях износа и назовите сплавы, применяемые для заливки подшипников.

6 Бесшовные трубы опреснительных установок, подающие морскую воду, нагретую до 80 – 120 °С, целесообразно для повышения их долговечности изготавливать из сплава со значительно большей стойкостью против коррозии в этих условиях, чем у нержавеющей стали. Выберите марку сплава и сопоставьте его со свойствами нержавеющей стали X18H9T.

7 Сварные бензиновые и масляные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в авиапромышленности из легких листов сплавов обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и хорошей свариваемостью. Подберите сплав, пригодный для данного назначения, и для сравнения приведите марку стали, стойкой против коррозии в указанных средах.

8 Червяк редуктора для уменьшения коэффициента трения часто изготавливают из стали, а венец колес – из сплава на медной основе. Подберите марку и состав сплава для венца, колеса, обладающего высокими антифрикционными свойствами. Укажите для сравнения сталь для изготовления червяка редуктора диаметром 30 мм.

9 Выберите состав цветного сплава, обладающего высокой пластичностью, для изготовления деталей из листа способом глубокой вытяжки. Укажите назначение термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки для повышения пластичности, и приведите для сравнения сталь с аналогичными свойствами.

10 Выберите латунь для изготовления на станках-автоматах винтов, болтов и гаек, которая позволяет получить чистую поверхность и высокую производительность. Сравните механические свойства выбранного сплава с аналогичными характеристиками латуни высокой вязкости и пластичности.

### **Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в письменном виде с решением задач и ответами на контрольные вопросы.

### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично»* выставляется - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо»* выставляется - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малозначительные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие сплавы называются латунями?
2. Что такое томпак?
3. Что такое полутомпак?
4. Какие сплавы называются бронзами?
5. Где применяются антифрикционные материалы?
6. Какие легирующие элементы улучшают литейные свойства латуни; бронзы; магниевых сплавов; алюминиевых сплавов?
7. Какие легирующие элементы добавляют в магний?
8. Какие легирующие элементы добавляют в алюминий?
9. Какие легирующие элементы добавляют в титан?
10. Какие сплавы называются баббитами?
11. Какие сплавы называются литейными и почему?
12. Какие сплавы называются деформированными и почему?

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 65 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:**

Оборудование не используется.

Индивидуальный расходный материал.

**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.
3. Назначить вид ХТО для конкретной детали исходя из условий ее эксплуатации.
4. Подготовить защиту практической работы.

**Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в виде таблицы.

**Критерии оценки:**

*Оценка «отлично»* выставляется - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные

осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 66 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:**

Оборудование не используется.

Индивидуальный раздаточный материал.

Атлас дефектов.

#### **Задание:**

1. Ознакомится 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:**

Работа должна быть представлена в виде таблицы.

**Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 67

#### 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:**

Оборудование:

Микроскопы металлографические.

Цифровые камеры для микроскопа.

Отрезной станок.

Шлифовально-полировальный станок двухдисковый с прижимными кольцами.

Пресс для горячей запрессовки образцов.

Вытяжной шкаф.

Печь муфельная.

Индивидуальный раздаточный материал.

**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 железуглеродистые 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 свыше 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.

Виды отпуска	Виды изделий, подвергающиеся отпуску
низкий	
средний	
высокий	

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

Работа должна быть представлена в виде таблицы.

#### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично»* выставляется - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малозначительные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 68

#### 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:

Оборудование:

Микроскопы металлографические.

Цифровые камеры для микроскопа.

Отрезной станок.

Шлифовально-полировальный станок двухдисковый с прижимными кольцами.

Пресс для горячей запрессовки образцов.

Вытяжной шкаф.

Печь муфельная.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

1. Ознакомится 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.

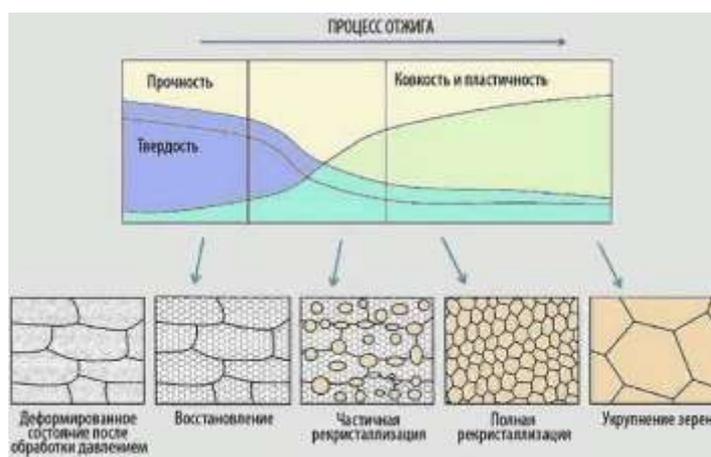


Рисунок 6 – Фазовые составляющие при отжиге

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  $A_{c3}$ , 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 выше 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 Ас 1 и Ас 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 ускорить 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:**

Работа должна быть представлена в виде таблицы.

#### **Критерии оценки:**

Оценка «отлично» выставляется - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные

осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие № 69 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:**

Оборудование:

Микроскопы металлографические.

Цифровые камеры для микроскопа.

Отрезной станок.

Шлифовально-полировальный станок двухдисковый с прижимными кольцами.

Пресс для горячей запрессовки образцов.

Вытяжной шкаф.

Печь муфельная.

Закалочный бак.

Индивидуальный раздаточный материал.

**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:**

Работа должна быть представлена в письменном виде с расчетами.

#### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малозначительные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется* - студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Лабораторное занятие №11 Разработка технологии термической обработки

**Цель:** изучить основные этапы ТПП и принципы составления маршрутных технологий 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:**

Оборудование не используется.

ГОСТ 3.1118-82 «Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт»;

MS Windows Calculate Linux Desktop.

MS Office 7 Zip.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### **Задание:**

1.Составить маршрутную карту термической обработки данной детали по полученным данным.

#### **Краткое теоретическое обоснование**

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 чистой механической обработкой, если это возможно. Если термообработка проводится после чистой 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 стандартами технологическая документация для оформления ТП термической обработки включает документы на единичный и типовой ТП.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На основании методических рекомендаций к проведению лабораторной работы составить маршрутную карту термической обработки данной детали по полученным данным.
3. Подготовить защиту практической работы.

#### **Ход работы:**

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения лабораторной работы.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Составить маршрутную карту термической обработки данной детали по полученным данным.
4. Сделать записи расчетов в тетрадь.

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

Работа должна быть представлена в виде маршрутной карты термической обработки детали по полученным данным.

#### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется* - студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.2 Основные виды термической и химико - термической обработки стали

### Практическое занятие №70

#### Микроструктура стали после термической обработки

**Цель:** изучить влияние различных видов термической и химико-термической обработки на микроструктуру и свойства сталей.

#### 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:

Оборудование:

металлографические микроскопы.

телевизионная установка для демонстрации микроструктур

микрошлифы

ГОСТ 8233 "Сталь. Эталоны микроструктуры".

#### Задание:

1. Изучить микроструктуры после различных видов отжига, закалки, отпуска закаленной стали, поверхностной закалки и лазерного термоупрочнения, цементации, цементации и нитроцементации с последующей закалкой и низким отпуском, азотирования и борирования.

#### Краткое теоретическое обоснование

В машиностроении при изготовлении деталей машин термическая обработка проводится обычно два раза. Первая предварительная термическая обработка ведется для заготовок с целью улучшения технологических свойств, а после механической обработки резанием на металлорежущих станках выполняется окончательная упрочняющая термическая обработка деталей машин для обеспечения требуемых по условиям работы деталей в машине механических, эксплуатационных и других свойств.

В основу термической обработки изделий машиностроения положены фазовые превращения первого рода, происходящие в твердом состоянии на этапах нагрева и охлаждения у железоуглеродистых сплавов (рис. 1).

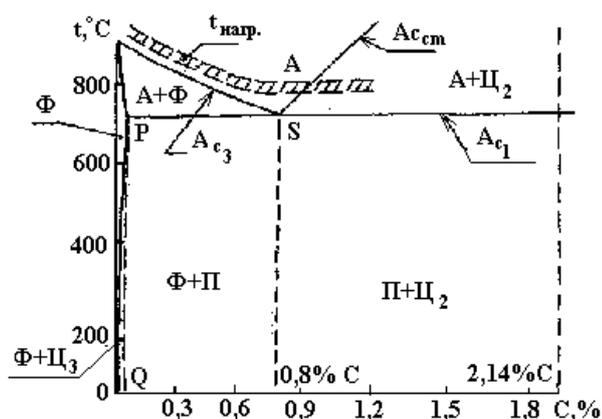


Рисунок 1 - Интервал температур нагрева на диаграмме состояния железо - углерод при отжиге и закалке изделий

В процессе медленного нагрева в печах при проведении закалики или отжига по достижении температуры, обозначенной  $t_{Ac1}$  (для углеродистых сталей  $727\text{ }^\circ\text{C}$ ) происходит фазовое превращение перлита в аустенит:  $\text{П} (\text{Ф}+\text{Ц}) \rightarrow \text{А}$ . В доэвтектоидных сталях ( $C_p < C < C_s$ ) при последующем нагреве в интервале температур  $t_{Ac1} \dots t_{Ac3}$  происходит после завершения превращения  $\text{П} \rightarrow \text{А}$  еще фазовое превращение феррита в аустенит:  $\text{Ф} \rightarrow \text{А}$ .

Важнейшую роль при термической обработке играет этап охлаждения, на котором формируется из аустенита окончательная микроструктура. В зависимости от степени переохлаждения аустенита ниже температуры  $t_{A1}$  ( $727\text{ }^\circ\text{C}$ ) происходит одно из трех фазовых превращений:

**перлитное:**  $\text{А} \rightarrow \text{Ф} + \text{Ц}$ ;

**бейнитное:**  $\text{А} \rightarrow \text{Б}$ ;

**мартенситное:**  $\text{А} \rightarrow \text{М}$ .

Интервалы температур указанных фазовых превращений для одной из доэвтектоидных углеродистых сталей показаны на диаграмме изотермического превращения переохлажденного аустенита. (рис. 2). На этой диаграмме горизонтальными пунктирными линиями нанесены температуры фазовых превращений  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  в равновесном состоянии, а сплошные линии разделяют диаграмму на области с различными фазами (границу между перлитным и бейнитным превращениями в виде линии диаграмма не показывает). Приведены также нанесенные на диаграмму кривые охлаждения:  $V_1$  - с печью (полный отжиг);  $V_2$  - на спокойном воздухе (нормализационный отжиг);  $V_3$  - в масле (частичная закалка);  $V_4 > V_{кр.зак}$  - в воде (полная закалка).

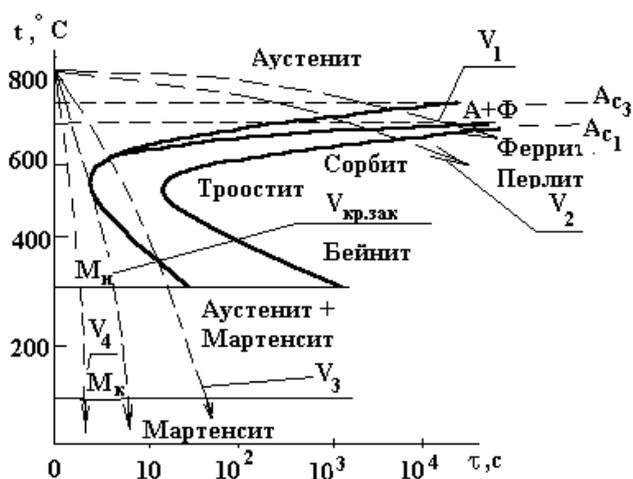


Рисунок 2 - Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита доэвтектоидной углеродистой стали

При перлитном превращении  $\text{А} \rightarrow \text{Ф} + \text{Ц}$  с понижением его температуры уменьшаются толщины пластин феррита  $\delta_{\text{ф}}$  и одной цементита  $\delta_{\text{ц}}$  ( $\delta = \delta_{\text{ф}} + \delta_{\text{ц}}$ ), а твердость смеси  $\text{Ф} + \text{Ц}$  возрастает. Структуры, отличающиеся по величинам  $\delta$  и твердости, получили разное наименование: *перлит* ( $\delta = 0,6 \dots 1,0 \text{ мкм}$ ), *сорбит* ( $\delta = 0,25 \dots 0,30 \text{ мкм}$ ), *троостит* ( $\delta = 0,10 \dots 0,15 \text{ мкм}$ ).

*Бейнит* представляет собой двухфазную структуру из несколько перенасыщенного твердого раствора углерода в  $\alpha$ -железе с искаженной кристаллической решеткой ОЦК и дисперсных кристаллов карбидов. Он характеризуется высокой твердостью HRC 38...46 и прочностью.

*Мартенсит* является перенасыщенным твердым раствором внедрения углерода в искаженной кристаллической решетке железа ОЦК (тетрагональная решетка с отношением  $c/a > 1$ ). В конструкционных среднеуглеродистых сталях микроструктура представляет собой пакетный мартенсит из параллельных тонких пластин толщиной  $0,1 \dots 0,2 \text{ мкм}$  с большой твердостью HRC > 45.

На перлитном превращении основано проведение полного и нормализационного отжига, а на мартенситном – закалки изделий.

После закалки выполняется еще одна термическая обработка – **отпуск** (нагрев до температур не выше  $t_{Ac1}$  ( $727^{\circ}\text{C}$ )). В зависимости от конкретной температуры нагрева образуются различные структуры. При нагреве до  $160\dots 200^{\circ}\text{C}$  (низкий отпуск) формируется структура *отпущенного мартенсита* (мартенсит, из которого частично путем диффузии выделился углерод в виде дисперсных пластин особого  $\epsilon$ -карбида).

Отпуск при температурах  $350\dots 470^{\circ}\text{C}$  (средний отпуск) приводит к формированию игольчатой структуры *троостита отпуска*, состоящей из феррита и кристаллов цементита размером  $0,5\dots 1,0$  мкм. Возрастание температуры отпуска до  $550\dots 650^{\circ}\text{C}$  (высокий отпуск) обеспечивает получение сферических частиц цементита размером карбидов до  $1,5\dots 2$  мкм в ферритной основе (*сорбит отпуска*).

Кроме объемного упрочнения применяются способы поверхностного упрочнения. Широко используется в машиностроении **поверхностная закалка** способом индукционного нагрева с использованием токов высокой частоты (ТВЧ) в десятки тысяч и более герц. Деталь помещают с некоторым зазором в специальное устройство - индуктор из медных трубок, к которому подают от машинного или лампового генератора ток высокой частоты. Вследствие возникновения в детали электрических вихревых токов с наибольшей плотностью в поверхностном слое происходит нагрев этого слоя выше температур фазовых превращений  $Ac_1$  и  $Ac_3$  и образование аустенита.

При последующем быстром охлаждении в поверхностном слое аустенит превращается в мартенсит.

При термической обработке с лазерным нагревом (**лазерное термоупрочнение**) используются газовые и твердотельные лазерные установки, которые снабжаются системами транспортировки и фокусировки луча лазера, механизмами перемещения изделий по заданному режиму. При воздействии лазерного луча на поверхность происходит поглощение и передача энергии высокой концентрации тонкому поверхностному слою, соответствующий нагрев выше температур  $Ac_1$  и  $Ac_3$ , возможно плавление и переход в жидкое состояние тонкого поверхностного слоя. В процессе быстрого охлаждения нагретого объема путем интенсивного теплоотвода холодной массой изделия без применения специальной охлаждающей среды создается скорость охлаждения до  $1000$  градусов в секунду ( $V_{охл.} \gg V_{крит. \text{ зак.}}$ ), происходит фазовое превращение в нагретом малом объеме металла аустенита в мартенсит, то есть закалка.

При химико-термической обработке происходит одновременно тепловое и химическое воздействие на материал, что изменяет химический состав и структуру в поверхностных слоях деталей на некоторую толщину. Для изменения химического состава поверхностных слоев детали помещают в активную среду: газовую, жидкую, твердую, из которой в результате адсорбции атомов насыщаемого элемента поверхностью детали и дальнейшей диффузии адсорбированных атомов от поверхности на некоторое расстояние вглубь изделия формируется поверхностный слой с измененным химическим составом и структурой.

В машиностроении получили наибольшее применение следующие виды химико-термической обработки:

**Цементация** - поверхностное насыщение углеродом обычно в газовой науглероживающей среде (эндогазе и др.) при температуре  $920\dots 950^{\circ}\text{C}$  в течении  $8\dots 10$  часов. После цементации детали подвергаются закалке от температуры  $800\dots 840^{\circ}\text{C}$  и низкому отпуску при  $160\dots 200^{\circ}\text{C}$ .

**Нитроцементация** - поверхностное насыщение одновременно углеродом и азотом в газовой среде при температуре  $840\dots 860^{\circ}\text{C}$  с выдержкой  $4\dots 8$  часов. После завершения выдержки проводят закалку деталей и низкий отпуск при температуре  $160\dots 180^{\circ}\text{C}$ .

**Азотирование** – насыщение поверхностного слоя азотом в газовой среде диссоциированного аммиака при температуре  $500\dots 520^{\circ}\text{C}$  в течение  $25\dots 50$  часов. После азотирования дополнительную термическую обработку не проводят.

Реже применяют другие виды химико-термической обработки, например, насыщение поверхностных слоев деталей бором (борирование), алюминием (алитирование), кремнием (силицирование) и др.

Представление о толщине поверхностного слоя и твердости при некоторых видах химико-термической обработки дает табл. 1. Механические свойства некоторых сталей приведены в табл. 2.

Таблица 1. Глубина слоя и твердость поверхностного слоя после химико-термической обработки деталей

Вид обработки	Цементация, закалка и низкий отпуск	Нитроцементация, закалка и низкий отпуск	Закалка, высокий отпуск и азотирование
Толщина слоя, мм	1,5...1,8	0,2...0,8	0,3...0,5
Твердость поверхностного слоя	HRC 58...62	HRC 58...64	HV 850...1050

Таблица 2. Механические свойства поверхностного слоя и сердцевины некоторых типовых сталей после термической обработки

Марка стали	Оптовая цена <sup>x</sup>	Для деталей с поперечным сечением, мм	Твердость поверхностного слоя, HRC	Механические свойства сердцевины		
				$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	НВ
<b>Цементация, закалка и низкий отпуск</b>						
20	1,0	до 50	56...62	290	490	156
20X	1,1	до 60	56...63	390	640	250
25ХГМ	1,4	до 60...80	56...63	1080	1180	300
20ХН2М	2,1	до 60...80	56...63	830	1080	340
<b>Закалка, высокий отпуск, азотирование</b>						
38Х2МЮА	1,9	до 60	HV 950...1050	880	1030	50...270
<b>Индукционная поверхностная закалка, и низкий отпуск</b>						
45	1,0	до 100	до 60	450	750	195...240

### Порядок выполнения работы:

1. На основании методических рекомендаций к проведению практической работы изучить микроструктуры после различных видов отжига, закалки, отпуска закаленной стали, поверхностной закалки и лазерного термоупрочнения, цементации, цементации и нитроцементации с последующей закалкой и низким отпуском, азотирования и борирования и зарисовать схемы микроструктур стали после наиболее характерных разновидностей термической обработки (образцы 20, 21, 22, 24, 25, 27, 29-1, 29-2, 32), наименование и марка стали, вид термической обработки, составляющие структуры.

2. Подготовить защиту практической работы.

### Ход работы:

1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения лабораторной работы.

2. Получить задание у преподавателя.

3. Практическая часть работы заключается в изучении микроструктуры после различных видов отжига, закалки, отпуска закаленной стали, поверхностной закалки и лазерного термоупрочнения, цементации, цементации и нитроцементации с последующей закалкой и низким отпуском, азотирования и борирования. Микроанализ проводится, как правило, при увеличении микроскопа  $\times 100$  или  $\times 600$ . Студентам предоставляются лабораторные коллекции микрошлифов, подготовленные для исследований.

Для более подробной оценки микроструктуры используется ГОСТ 8233 "Сталь. Эталоны микроструктуры". По этому стандарту может быть дана количественная характеристика или номер балла структуры по различным признакам: процентное соотношение между ферритом и

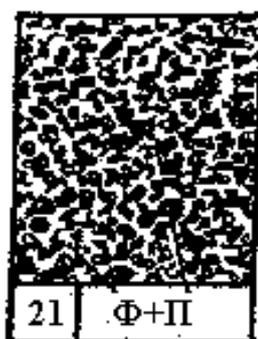
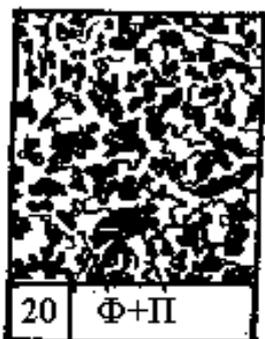
перлитом, мартенситом и трооститом, пластинчатым и зернистым перлитом; балл дисперсности пластинчатого перлита, мартенсита.

Данные о микроструктуре сталей после различных видов термической и химико-термической обработки представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3. Перечень лабораторной коллекции микрошлифов стали после термической и химико-термической обработки

№ шлифа	Марка стали, ГОСТ	Вид термической обработки	Микроструктура
Стали после термической обработки			
20	Конструкционная сталь 40, ГОСТ 1050-88	Отжиг полный	Феррит и перлит
21		Отжиг нормализационный	Феррит и перлит
22		Закалка полная	Мартенсит пакетный
23		Закалка неполная	Мартенсит и феррит
24		Закалка частичная	Мартенсит и темный троостит
25		закалка полная и высокий отпуск (улучшение)	Сорбит отпуска (Ф+Ц)
26	Инструментальная сталь У12, ГОСТ 1435-90	Отжиг на зернистый перлит	Перлит зернистый
27		Закалка неполная заэвтектоидной стали	Мартенсит и белые зерна вторичного цементита
Стали после поверхностной закалки и лазерного термоупрочнения			
28	Конструкционная сталь 45, ГОСТ 1050-88	Закалка поверхностная с нагревом токами высокой частоты	Поверхностный слой: мартенсит; сердцевина: феррит + перлит
28-1	Инструментальная сталь У10, ГОСТ 1435-90	Лазерное термоупрочнение (закалка)	Поверхностный слой: мартенсит мелкоигльчатый и карбиды дисперсные. Переходная зона: мартенсит, троостит и карбиды
Стали после химико-термической обработки			
29-1	Сталь 20, ГОСТ 1050-88	Цементация	Поверхностный слой: перлит + цементит вторичный; перлит; переходная зона: перлит + феррит; сердцевина: феррит + небольшое количество перлита
29-2	Сталь 20, Гост 1050-88	Цементация с последующей закалкой и низким отпуском	Поверхностный слой имеет мартенсит высокоуглеродистый. Сердцевина – ферритная с участками перлита

30	Сталь 20Х, ГОСТ 4543-71	Цементация с последующей закалкой и низким отпуском	Поверхностный слой – высокоуглеродистый мартенсит. Сердцевина – малоуглеродистый бейнит
31	Сталь 08КП, ГОСТ 1050-88	Нитроцементация с последующей закалкой и низким отпуском	Поверхностный слой – высокоуглеродистый мартенсит с карбонитридами. Сердцевина – феррит
32	Сталь 4Х5В2ФС ГОСТ 5950-73	Закалка с отпуском и последующее азотирование	Поверхность – темный азотированный слой. Сердцевина – троостит отпуска
33	Сталь 38ХС, ГОСТ 4543-71	Борирование и поверхностная закалка	Поверхностный слой – тонкая зона светлых вытянутых зерен боридов, широкая зона мартенсита. Сердцевина – перлит и небольшое количество мелких зерен феррита



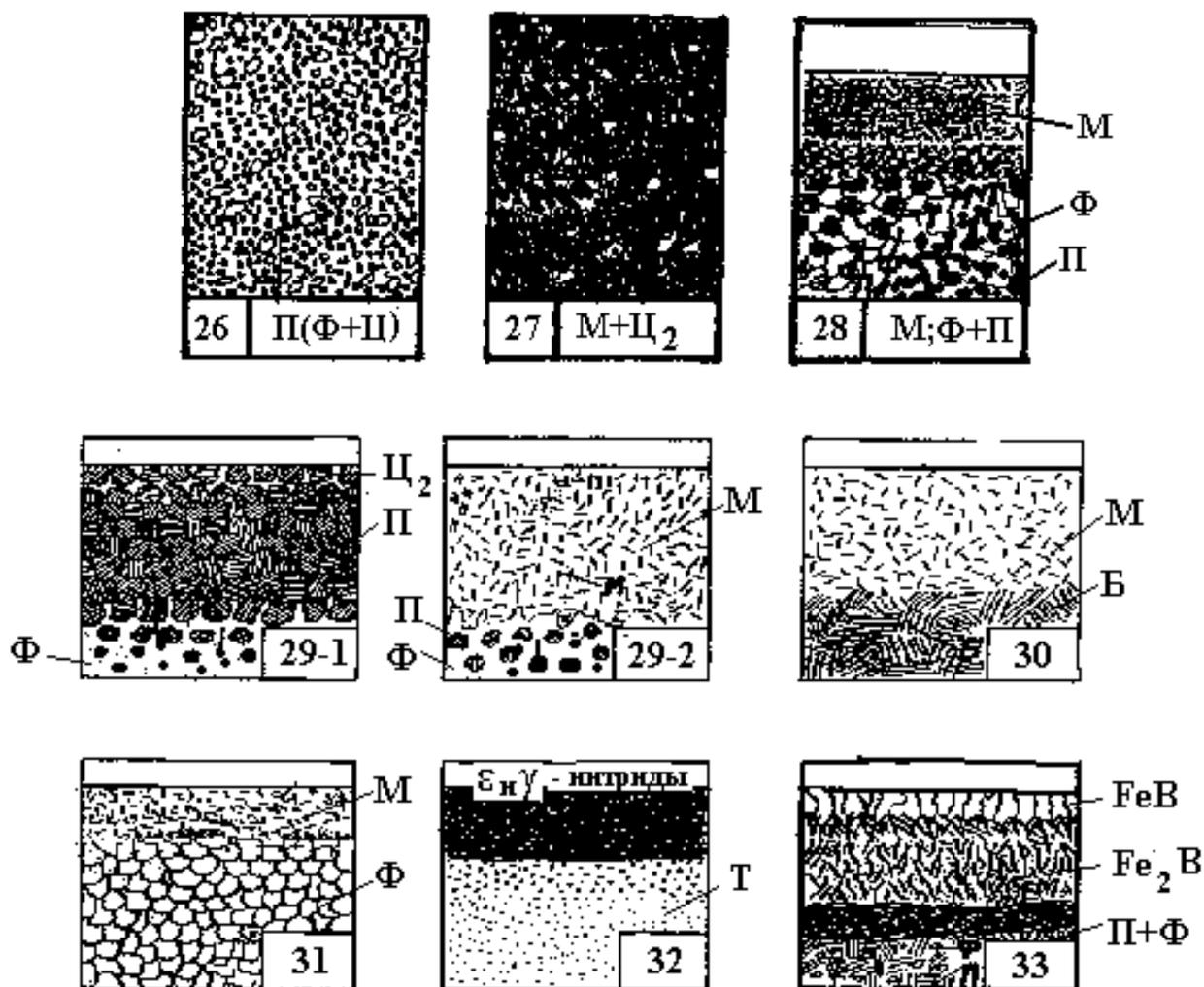


Рисунок 3 - Схемы микроструктур после термической и химико-термической обработки сталей

3. Зарисовать схемы микроструктур стали после наиболее характерных разновидностей термической обработки (образцы 20, 21, 22, 24, 25, 27, 29-1, 29-2, 32,33), наименование и марка стали, вид термической обработки, составляющие структуры.

4. Сделать записи в тетрадь.

### Контрольные вопросы

1. Какие фазовые превращения происходят при нагреве доэвтектоидных сталей до температур образования аустенита?
2. Какие три фазовые превращения происходят при распаде переохлажденного аустенита?
3. Что представляют собой перлитное, бейнитное и мартенситное превращения?
4. Какая разновидность мартенсита образуется в конструкционной стали?
5. Какие структурные изменения происходят при повышении температуры отпуска закаленных сталей?
6. Что представляют собой перлит, сорбит, троостит, бейнит, мартенсит?
7. Что представляют собой отпущенный мартенсит, троостит отпуска, сорбит отпуска?
8. В чем заключается химико-термическая обработка материалов?
9. Какие основные разновидности химико-термической обработки применяются в машиностроении?
10. Какую микроструктуру имеет поверхностный слой после цементации?

11. Какую микроструктуру имеет поверхностный слой после цементации, закалки и низкого отпуска?

**Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в виде зарисованных схем микроструктур и письменных ответов на контрольные вопросы.

**Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.3 Технология термической обработки на металлургических заводах

### Практическое занятие № 71 Выбор режима термообработки проволоки

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

#### **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:**

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### **Задание:**

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;
3. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки.

#### **Краткое теоретическое обоснование**

##### **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 аномальному 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
	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{мин}$	$t_{о}, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{мин}$	
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°С. 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 электродуговым нагревом. При использовании индукционного нагрева проволоку в мотках нагревают до 750–830°С по наружной поверхности мотка и 680–700°С – по внутренней поверхности в течение 35–60 мин, предпочтительно в газовой защитной атмосфере. Охлаждение до 400°С ведут замедленно в течение 15–20 мин, далее – до температуры 40–50°С 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 патентованной 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 патентуемая 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 сорбитной 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 ( $\tau, \text{мин}$ ) в зависимости от диаметра проволоки ( $D, \text{мм}$ ) 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  $950^\circ\text{C}$ , 10 мин; охлаждение в ванне с температурой  $320^\circ\text{C}$  в течение 10с; перенос в ванну с температурой  $600^\circ\text{C}$  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 ( $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$  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  $20\text{--}40^\circ\text{C}$  по сравнению с температурой свинцовой ванны.

Для патентирования используют также ванны с кипящим слоем.

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

### 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.
  - 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.

### 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

### Форма представления результата:

Работа должна быть представлена в виде таблицы.

### Критерии оценки:

*Оценка «отлично»* выставляется - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо»* выставляется - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно»* выставляется - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических

навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется-* студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.3 Технология термической обработки на металлургических заводах

### Практическое занятие № 72

#### 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.

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

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.
3. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки.

#### Краткое теоретическое обоснование

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 отпуском) – 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 нестаряющихся 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 разнотернистой 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. Собирательная рекристаллизация развивается весьма медленно, поэтому удовлетворительную структуру и свойства стали можно получить после кратковременных выдержек при 680–720°С. 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°С, азота – в интервале 600–300°С. Для предотвращения склонности стали к старению охлаждение в указанных интервалах должно быть медленным со скоростью, не превышающей 40°С/мин.

Типичный график режима отжига рулонов в одностопной колпаковой печи приведен на рисунке 1.

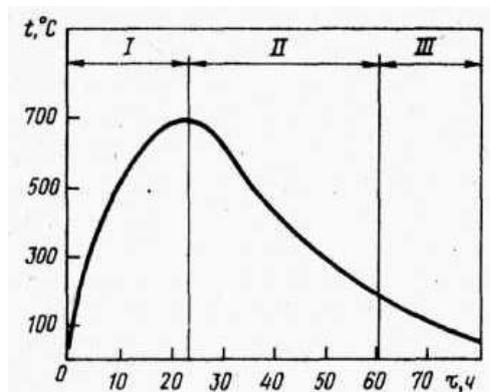


Рисунок 1 – Типичный режим отжига рулонов из стали 10 в одностопной колпаковой печи:

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°С и выше (иногда до 870°С). 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 2.

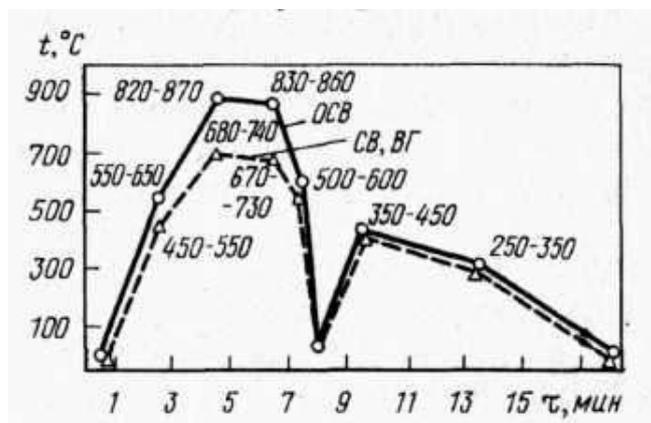


Рисунок 2 - Графики режимов термической обработки на агрегате непрерывного отжига для получения листа категорий СВ, ВГ (сталь 08Ю, 08пс) и ОСВ (сталь 08Ю)

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 закалывают, 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% Мn; 0,25–1,5% Si; 0,5% Cr; 0,1% V или 0,1–0,4% Mo.

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°C) с резким охлаждением со скоростью 10–200°C/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°C. 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.

#### 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.
3. Указать химический состав заданной марки стали;
4. Предложить вид термической обработки для достижения указанной в задании цели, дать обоснование выбранному виду термообработки;
5. Разработать режим предложенного вида термической обработки, указав температуру нагрева, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения.
6. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей или методическими указаниями, указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
7. Описать контроль качества листового проката после термообработки.
8. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

#### 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

**Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в виде построенного графика термической обработки и описанием технологического процесса термообработки.

**Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется*- студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.3 Технология термической обработки на металлургических заводах

### Практическое занятие №73

#### Выбор термической обработки для сортовой стали

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

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

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.
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.

#### Краткое теоретическое обоснование

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 1, *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.

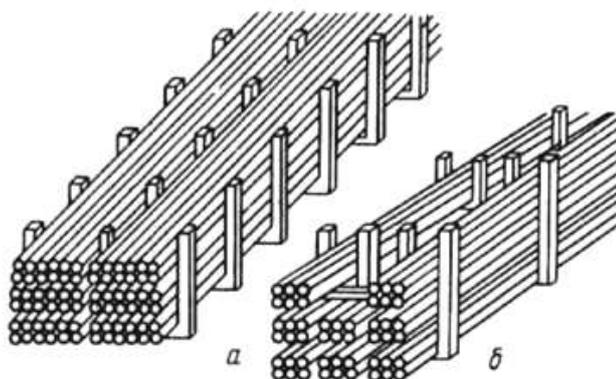


Рисунок 1 – Схемы укладки пакетов: *а* – схема обычной укладки пакетов; *б* – схема П-образной укладки пакетов

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°C /ч до 600–550°C, 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>HV</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  $700-600^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение со скоростью  $20-50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  до  $600^{\circ}\text{C}$  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  $40-60\text{мм}$  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°С 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  $A_{c_m}$  (до 850°С) 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°С. Для ускорения нагрева в первые два часа выдержки температуру поднимают до 790–860°С. 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 *НВ* ... 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 2. Продолжительность выдержки определяют по данным таблицы 1.

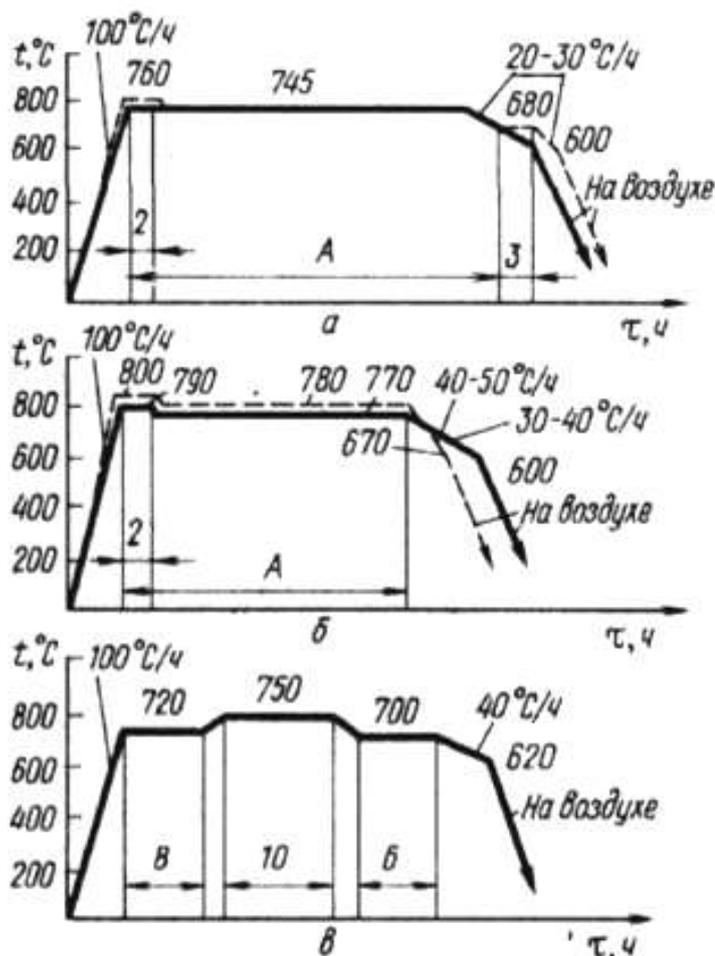


Рисунок 2 – Режимы отжига сортового проката углеродистых инструментальных сталей: *а* – У7, У8, У9; *б* – У10, У11, У12, У13; *в* – «исправительный отжиг сталей У7-У13(масса садки 30 тонн); сплошная линия – профили диаметром до 40 мм; штриховая – диаметром более 40 мм

#### 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;
3. Указать химический состав заданной марки стали;
4. Предложить вид термической обработки для достижения указанной в задании цели, дать обоснование выбранному виду термообработки;
5. Разработать режим предложенного вида термической обработки, указав температуру нагрева, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения.
6. Построить график термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей или методическими указаниями указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
7. Описать контроль качества сортового проката после термообработки.
8. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

#### 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, обрабатываемость резанием	улучшить
17, 22, 27	P9	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
3, 8, 13,	4XB2C	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
18, 23, 28	40	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
4, 9, 14,	50	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
19, 24, 29	20XM	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
5, 10, 15,	25X2H4BA	Снизить твердость, обрабатываемость резанием	улучшить
20, 25, 30	15XФ	Повысить пластичность	перед холодным выдавливанием

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

Работа должна быть представлена в виде построенного графика термической обработки и описанием технологического процесса термообработки.

#### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется* - студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## Тема 3.3 Технология термической обработки на металлургических заводах

### Практическое занятие №74

#### Разработка технологического процесса термической обработки прокатных валков

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

#### 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:

Оборудование не используется.

Марочник сталей и сплавов.

Индивидуальный раздаточный материал.

#### Задание:

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.

4. Построить график предварительной термической обработки и описать технологический процесс термообработки.

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

#### Краткое теоретическое обоснование

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 обжата, 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, крупноиглочатого 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 мелкоиглочатого 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 разлива 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, разлива 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 1 представлены указанные режимы предварительной термической обработки валков холодной прокатки диаметром 400мм из стали 9Х2МФ.

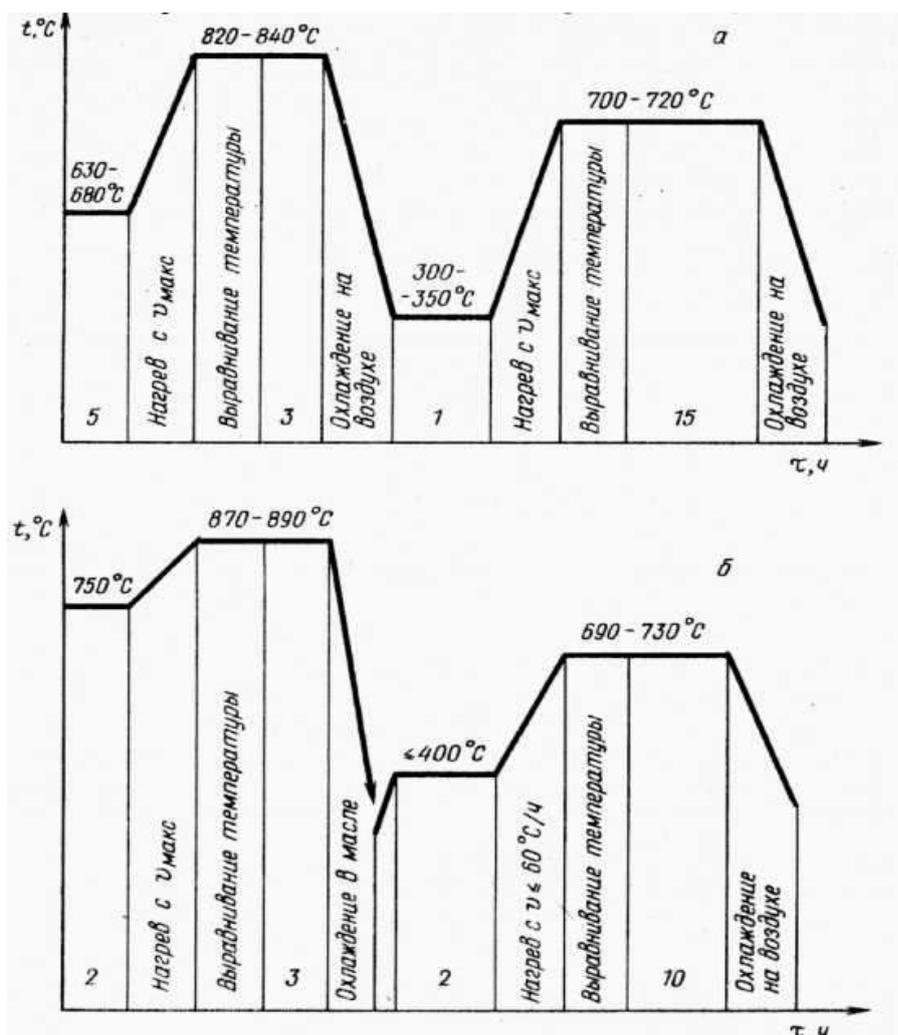


Рисунок 1– Режим предварительной термической обработки валков холодной прокатки отделочных чистовых клетей – отжиг (а) и улучшение (б)

Температура аустенитизации при отжиге составляет  $800\text{--}840^\circ\text{C}$ , что немного выше критической точки  $A_{c1}$  для стали 9Х1 ( $745^\circ\text{C}$ ), 9Х2 ( $740\text{--}770^\circ\text{C}$ ), 9Х2В ( $745\text{--}760^\circ\text{C}$ ), 9Х2МФ ( $748^\circ\text{C}$ ) и 9ХФ ( $770^\circ\text{C}$ ). 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  $700\text{--}720^\circ\text{C}$  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  $4,0\text{--}5,0\text{ см}^3$  на  $100\text{ г}$  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  $870\text{--}890^\circ\text{C}$  способствует почти полному растворению

карбидной фазы  $(Fe, Cr)_3C$  в аустените и обогащению твердого раствора хромом, что вызывает повышение закаливается 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  $850^{\circ}C$  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  $130-200^{\circ}C$ .

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  $100^{\circ}C$  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  $10^{10}-10^{12}\text{ см}^{-2}$ ). 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 при ковке, измельчение зерна и, как следствие, повышение механических свойств поковок. Применение высокого отпуска с длительной выдержкой предупреждает образование флокенов.

На рис. 2 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.

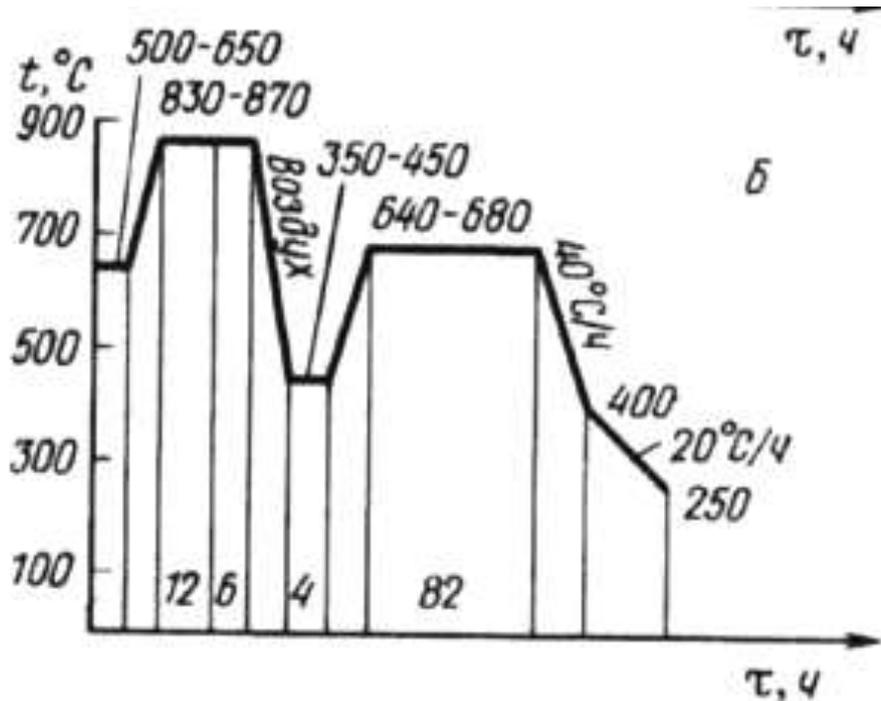


Рисунок 2 - График термической обработки поковок для производства валков горячей прокатки. Цифры обозначают продолжительность выдержки в часах.

Поковки для валков горячей прокатки подвергают 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 подвергают 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 водороду 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.

### **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.
4. Построить график предварительной термической обработки и описать технологический процесс термообработки. Пользуясь марочником сталей указать механические свойства заданной марки стали после термической обработки.
5. Описать требуемый контроль качества валков холодной и горячей прокатки после термообработки.
6. Сделать вывод по результатам работы и оформить отчет.

### **Форма представления результата:**

Работа должна быть представлена в виде построенного графика термической обработки и описанием технологического процесса термообработки.

### **Критерии оценки:**

*Оценка «отлично» выставляется* - студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), без ошибок самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений,

*Оценка «хорошо» выставляется* - студент обладает теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), самостоятельно демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет,

*Оценка «удовлетворительно» выставляется* - студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков, показания и противопоказания, возможные осложнения, нормативы и проч.), демонстрирует выполнение практических умений, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем,

*Оценка «неудовлетворительно» выставляется-* студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков, показаний и противопоказаний, возможных осложнений, нормативы и проч.) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.