

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В.И. СИГОВА, В.А. ПЧЕЛИНЦЕВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ЧАСТЬ 2
ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ
ПО РАЗДЕЛАМ: МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

для студентов
инженерных специальностей
всех форм обучения

СУМЫ ИЗДАТЕЛЬСТВО СУМГУ 2005

Раздел «Материаловедение» является составной частью общей дисциплины ТКМ и МВ для студентов инженерных специальностей заочной формы обучения.

Материаловедением называют прикладную науку о связи состава, строения и свойств материалов. Решение важнейших технических проблем, связанных с экономией материалов, уменьшением массы машин и механизмов, повышением точности, надежности и работоспособности изделий, во многом зависит от развития материаловедения.

Цель курса «Материаловедение» - дать студентам знания о взаимосвязи структуры и свойств материалов с их составом, физическими, технологическими, механическими и служебными свойствами в разных термодинамических условиях; ознакомить с возможностями современного материаловедения по разработке и созданию материалов с уровнем свойств применительно к заданным параметрам и условиям работы деталей и узлов машин. Изучение данного курса обеспечивает технологическую подготовку будущего специалиста и является предпосылкой для успешного усвоения специальных дисциплин, грамотному выполнению курсовых и дипломных проектов.

Задачами курса является изучение:

- структуры, свойств материалов и сплавов и их связи с диаграммой состояния;
- физической сущности превращений при термической, термомеханической и химико-термической обработки сталей;
- технологических возможностей объемного и поверхностного теплового воздействия на металлы и сплавы, прогрессивных методов упрочняющей обработки;
- принципов легирования железоуглеродистых и цветных сплавов, свойств и областей применения легированных и специальных сплавов;
- особенностей строения и свойств неметаллических и композиционных материалов;
- принципов выбора конструкционных сталей с использованием ЭВМ.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В соответствии с учебным планом дисциплина «Материаловедение» изучается студентами-заочниками путем самостоятельной работы над учебной литературой.

Рекомендуется следующая последовательность изучения дисциплины:

1 Ознакомление с программой изучаемой темы и методическими указаниями к ней, которые приведены в разделе «Рабочая программа и методические указания». В методических указаниях приведены рекомендации по последовательности изучения учебного материала и дополнительная информация по отдельным вопросам программы для успешного усвоения учебного курса.

2 Ввиду взаимосвязанности разделов курса необходимо хорошо усвоить предыдущий материал, для чего рекомендуется составлять конспект с отражением основных положений рассматриваемой темы.

3 После изучения темы необходимо ответить на вопросы, сопровождая их графическим оформлением, что важно при изучении курса «Материаловедение».

Для успешного изучения курса учебным планом (табл.1) предусмотрены аудиторские занятия.

Таблица 1 - Выписка из учебного плана

Курс	Се- местр	Аудиторные занятия, ч			Контр. или курс.раб.	ИРС, ч	Экзамен, семестр
		всего	лекции	лаб.раб.			
3	6	12	8	4	+	4	6

Лекционные и лабораторные занятия проводятся в период установочной сессии. Тематика лекций приведена в таблице 2, названия лабораторных работ в таблице 3.

Таблица 2 - Тематический план лекций

Тема лекции	Затраты времени, ч
1 Строение и свойства металлов. Теория сплавов	1
2 Диаграмма состояния железо-цементит и структура железоуглеродистых сплавов	2
4 Основные превращения в сталях. Технология термической обработки сталей. Методы поверхностного упрочнения	3
5 Специальные и цветные сплавы. Особенности термической обработки	1
6 Неметаллические материалы в машиностроении	1
Всего:	8

Таблица 3 - Тематический план лабораторных занятий

Название лабораторной работы	Объем, ч.
1 Диаграмма состояния Fe-Fe ₃ C. Структура железоуглеродистых сплавов	4
2 Термическая обработка сталей	4
Всего:	8

После изучения теоретического материала студенты приступают к выполнению курсовых работ. Номер варианта заданий к курсовой работе выдается в период установочной сессии преподавателем. Задания к курсовой работе, методические указания по их выполнению и примеры ответов на некоторые основные вопросы задания приведены в соответствующих разделах. **Пример выполнения курсовой работы подан в конце учебного пособия.** Необходимые консультации по выполнению курсовой работы проводятся в межсессионный период на индивидуальных занятиях. Выполненные курсовые работы в установленном порядке сдаются на кафедру для рецензирования.

К сдаче экзамена по курсу допускаются студенты, имеющие зачтенные курсовые работы согласно учебному плану, а также выполнившие и защитившие все лабораторные работы.

При самостоятельном изучении разделов следует пользоваться литературой, список которой приведен в конце рабочей программы.

1 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Введение

Металловедение как наука о свойствах металлов и сплавов в связи с их составом и структурой. Роль материалов и прогрессивных методов их термообработки в развитии современной техники и производства.

1.2 Классификация металлических и неметаллических материалов по типу химической связи.

Основные свойства металлов и сплавов. Типы кристаллических решеток и их основные характеристики. Анизотропия и полиморфизм кристаллов. Реальное строение кристаллов. Дефекты кристаллического строения (точечные, линейные, поверхностные и объемные) и их влияние на свойства металлов. Процессы плавления и кристаллизации. Термодинамические основы фазовых превращений. Кинетика кристаллизации. Факторы, влияющие на величину зерна. Модифицирование.

Сплавы и их разновидности: механические смеси, химические соединения, твердые растворы и особенности их строения. Диаграммы состояния сплавов и методика их построения. Основные типы диаграмм состояния. Фазы и компоненты. Роль диаграммы состояния в материаловедении. Правило фаз (Гиббса) и отрезков для диаграмм состояния. Кривые охлаждения и нагревания. Понятие о вторичных превращениях в сплавах. Связь между составом, структурой и свойствами сплава (правило Курнакова).

Методические указания

По своей природе химическая связь едина, она имеет электронную природу, но проявляется в разных кристаллах по-разному. Различают следующие основные типы связей: ионную, ковалентную, полярную (молекулярную) и металлическую. Соответственно получают четыре типа кристаллических решеток: ионные, атомные, полярные и металлические. **Ионная связь** (гетерополярная)

возникает у разнородных атомов, когда какой-либо из них отдает с внешней оболочки, а другой принимает на свою внешнюю оболочку электроны. При этом образуются положительно и отрицательно заряженные ионы, которые благодаря электрическим силам взаимно притягиваются. Примером ионной связи являются кристаллы соли NaCl. **Ковалентная** (гемеопорярная) связь осуществляется обобществлением пар валентных электронов соседних атомов. Типичным кристаллом с такой связью является алмаз, где в межатомном пространстве создается резко выраженная локализация электронов. **Полярная связь** возникает в кристаллах вследствие смещения электрических зарядов в молекулах и атомах с появлением слабого электрического притяжения. Этот тип связи характерен для инертных газов с завершенными электронными оболочками. **Металлическая связь** возникает при образовании из внешних электронов отрицательно заряженного электронного «газа», а положительно заряженные ионы создают плотную кристаллическую решетку. Металлическая связь ненаправленная, т.к. валентные электроны обобществляются атомами в объеме всего кристалла, в отличие от ковалентных кристаллов, где такое обобществление ограничено одной парой атомов. Металлический тип связи обуславливает отличительные свойства металлов: высокую электропроводность и теплопроводность, прочность и пластичность.

Все материалы состоят из атомов или молекул. В зависимости от степени закономерности их расположения в пространстве они условно разделяются на металлы - с дальним порядком и неметаллы - с ближним порядком.

Металлы - кристаллические вещества, обладающие электронной проводимостью. Изучение их свойств следует начинать с усвоения строения и свойств кристаллических тел. В кристаллических телах атомы или молекулы размещены в определенном порядке и создают различные формы пространственных кристаллических решеток. Для практики рассмотрения особенностей строения того или иного кристалла выделяют элементарную кристаллическую решетку - минимальную часть объема пространственно-кристаллической решетки, перемещением которого в пространстве по направлениям X , Y , Z можно воспроизвести всю простран-

венную кристаллическую решетку. Наиболее характерные для металлов кристаллические решетки: кубическая (**объемноцентрированная** - ОЦК и **гранцентрированная** - ГЦК) и **гексагональная**, плотно упакованная - ГПУ. Необходимо знать их схемы и основные параметры: период (a , b , c), базис, углы (α , β , γ) между основными направлениями (X , Y , Z), координационное число и плотность упаковки атомов. Следует обратить внимание на то, что в отдельных направлениях кристаллических решеток количество атомов и расстояние между ними различно, в связи с чем и свойства монокристаллов в разных направлениях оказываются также различными (явление анизотропии).

Одним из основных вопросов, влияющих на образование структуры - кристаллизация металлов: переход из жидкого состояния в твердое с образованием поликристаллической структуры. Необходимо знать основную закономерность процесса кристаллизации - образование зародышей и последующий их рост (правило Д.К.Чернова), а также влияние степени переохлаждения на размер образующихся кристаллов (зерен), так как скорость охлаждения жидкого металла определяет условия затвердевания и соответственно форму и размер зерна в различных зонах слитка. У некоторых металлов при охлаждении (нагревании) в твердом состоянии наблюдается перестройка атомов в пространстве с образованием другого типа кристаллической решетки - **полиморфизма**, который сопровождается тепловым эффектом - поглощением или выделением тепла, так же, как и при кристаллизации, поэтому на кривых охлаждения они фиксируются температурной остановкой - **критической точкой**. При изучении процесса кристаллизации необходимо иметь ввиду решающее значение реальной среды на формирование структуры литого металла, а также возможность искусственного воздействия на строение (форму и размер кристаллов) путем **модифицирования**. Дефекты кристаллического строения металлов и сплавов во многом определяют механические и физические свойства реальных металлов. К точечным (нулевым) дефектам относят: вакансии - пустоты на месте узлов кристаллической решетки; дислоцированные и примесные атомы. Любой точечный дефект кристаллической решетки вызывает ее искажение, т.е. рас-

стояние между соседними атомами (период) либо уменьшается, либо увеличивается. Линейные (одномерные) дефекты: дислокации, цепочки вакансий и межузельных (внедренных) атомов. Важное значение имеет плотность дислокаций - это соотношение их длины и единицы объема $\rho = \frac{l}{V} \text{ см}^{-2}$, которая может достигать 10^{12} - 10^{13} см^{-2} для холоднодеформированного металла. Поверхностные дефекты имеют большие размеры в двух измерениях и малые в третьем: границы зерен, фрагментов, блоков. Каждое из зерен (кристаллит) различным образом разориентировано по отношению друг к другу, и границы зерен проходят в местах сосредоточения большого количества несовершенств кристаллической решетки: вакансии, примесных и дислоцированных атомов, цепочек вакансий, дислокации.

Перед изучением диаграмм состояния и строения сплавов следует разобраться в определении терминов: фаза, компонент, система. В физической химии **системой** называют совокупность индивидуальных веществ (химические элементы и независимые химические соединения), между которыми или частями которых обеспечена возможность обмена энергией, а также процессов диффузии. **Фазой** называется однородная часть системы, ограниченная от другой части системы поверхностью раздела (границей), при переходе через которую свойства изменяются скачкообразно. **Компонентами системы** называются химические элементы или устойчивые химические соединения, из которых может быть образована любая фаза системы. Числом компонентов системы является минимальное число химических веществ, необходимое для образования фаз системы. Числом степеней свободы системы называется количество факторов, которое можно произвольно изменять без изменения числа фаз системы. Это соотношение в математическом выражении имеет вид (правило фаз Гиббса) $C = K - \Phi + \Pi$, где K - число компонентов, образующих систему; Φ - число фаз в системе при заданных условиях; Π - число внешних переменных (температура и давление), влияющих на состояние системы.

Структура сплавов, т.е. соединений, полученных сплавлением, спеканием или возгонкой двух и более элементов, сложнее,

чем структура чистого металла. Она определяется характером взаимодействия компонентов сплава при их затвердевании и превращениях в твердом состоянии. В связи с этим следует уделить внимание физической сущности различных сплавов: химического соединения, твердого раствора (внедрения и замещения) и механической смеси. Следует научиться графически изображать схемы строения этих сплавов. Например, механическая смесь может выглядеть как самостоятельные кристаллы пластинчатой и зернистой формы. При этом составляющими механической смеси могут быть чистые элементы (А, В), химические соединения (A_mB_n), твердые растворы в различных комбинациях (α, β) (рис.1).

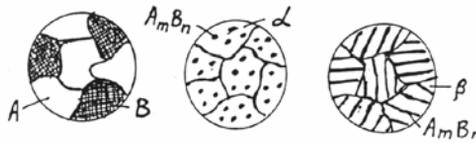


Рисунок 1 - Схемы структур механической смеси

Необходимо обратить внимание на методику построения диаграмм состояния сплавов, уяснить значение имеющихся на них линий и сущность превращений, происходящих в сплавах. Целесообразно зарисовать основные типы диаграмм состояния с обозначением названий линий и структурных составляющих в различных областях, а также характер изменения свойств по правилу Курнакова. При обозначении фаз в областях диаграммы используют правило отрезков (коноды), края которых указывают на существующие фазы в рассматриваемой области, а при построении кривых охлаждения (нагрева) пользуются правилом фаз (Гиббса). Для двойной диаграммы состояния $K=2$, если рассматриваются сплавы, и $K=1$, если анализируется сам компонент или химическое соединение. При рассмотрении диаграмм состояния с образованием механической смеси при взаимодействии компонентов следует иметь

ввиду, что точки пересечения горизонтальной линии (эвтектического или эвтектоидного превращений) с ординатой температуры компонентов физического смысла не имеют и при построении кривых охлаждения не рассматриваются. Например, если при взаимодействии компонентов А и В образуется устойчивое химическое соединение $AmBn$, которое может являться компонентом при анализе сложных диаграмм состояния, в которых образуются сплавы, соответствующие механической смеси, то при построении кривой охлаждения (нагревания), она будет выглядеть следующим образом (рис.2).

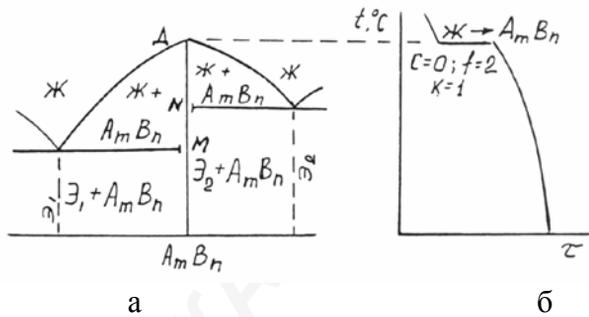


Рисунок 2 - Схема части диаграммы (а) и кривая охлаждения (б) для устойчивого химического соединения $AmBn$

Из приведенной схемы видно, что точки пересечения М и N в построении кривой охлаждения не должны участвовать. Физический смысл точек пересечения на вертикальных линиях диаграмм состояния будет только в случае наличия полиморфного превращения рассматриваемого компонента.

Исследованиями Н.С.Курнакова, А.А.Бочвара установлена связь между диаграммами состояния сплавов, физическими и технологическими свойствами сплавов, физическими и технологическими свойствами сплавов, которые заключаются в следующем: если при взаимодействии компонентов образуется механическая

смесь, то свойства сплавов с изменением состава изменяются по закону прямой линии; если образуются неограниченные твердые растворы - по криволинейному закону с максимумом или минимумом; если ограниченные твердые растворы - по закону кривой линии, а в двухфазной области свойства изменяются по прямой линии; если компоненты образуют химическое соединение, то составу химического соединения соответствует максимум (или минимум) на общей кривой изменения свойств. Знание этих закономерностей значительно облегчает создание новых сплавов с заданными свойствами и содействует более целенаправленному использованию существующих сплавов.

Литература: [1, с.9-18; 28-39, 60-66]; [2, с.8-44]; [3, с.9-47]; [5, с.5-46].

Вопросы для самопроверки

1 Нарисуйте схемы основных типов кристаллических решеток и укажите, каким наиболее распространенным металлам они присущи.

2 Нарисуйте и объясните кривую охлаждения (и нагревания) чистого свинца. Что такое критическая точка?

3 Что такое аллотропия? Изобразите кривую охлаждения чистого железа со всеми его аллотропическими модификациями (превращениями).

4 Нарисуйте схему строения сплава твердого раствора внедрения и замещения и объясните ее. В чем отличие сплава - твердого раствора - от механической смеси или от химического соединения?

5 Изобразите диаграмму состояния сплавов, образующих механические смеси. Объясните значение каждой линии на этой диаграмме и напишите, какие структуры получаются в каждой зоне диаграммы.

6 Изобразите диаграмму состояния сплавов, образующих твердые растворы. Объясните значение каждой линии и назовите структуры, которые получаются в зонах диаграммы. Нарисуйте схему структуры для сплава с 50% компонента В.

- 7 В чем отличие фазы от компонента?
- 8 Как строятся диаграммы состояния?
- 9 Что такое полиморфизм и анизотропия?
- 10 В чем сущность первичной и вторичной кристаллизации?
- 11 Чем отличается правило Курнакова от правила Гиббса?
- 12 Что такое переохлаждение и в чем проявляется его влияние на формирование структуры литого металла?
- 13 Какие основные дефекты кристаллического строения?
- 14 Дайте характеристику основных фаз в сплавах.

1.3 Структура и свойства сплавов черных металлов

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов Fe-Fe₃C, ее анализ. Процесс затвердевания углеродистых сталей. Превращения в сталях в твердом состоянии. Структурные составляющие доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей.

Постоянные примеси в сталях и их влияние на ее свойства (C, Mn, Si, P, S). Классификация и маркировка углеродистых сталей по ГОСТ 1080-71.

Чугуны. Белые чугуны. Процесс затвердевания белых чугунов и превращения в них в твердом состоянии. Их свойства и области применения.

Серые чугуны. Влияние характера и формы графитных включений на свойства серого чугуна. Структура металлической основы серого чугуна. Влияние скорости охлаждения и химического состава на структуру и свойства чугуна. Свойства, маркировка по ГОСТ 1412-85 и область применения серого чугуна.

Ковкие чугуны. Их получение. Структура ковкого чугуна, форма графитных включений, структура металлической основы чугуна. Свойства и области применения. Маркировка ковкого чугуна по ГОСТ 1215-79.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Технология получения, структура и свойства, применение в технике, маркировка по ГОСТ 7293-85.

Методические указания

Приступая к изучению диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов, необходимо изучить предыдущий материал, т.к. данная диаграмма складывается из элементарных диаграмм состояния: диаграммы с образованием устойчивого химического соединения; диаграммы состояния для сплавов, образующих механические смеси и диаграммы состояния для сплавов, образующих ограниченные твердые растворы. В настоящем курсе верхний левый угол диаграммы состояния не изучается.

Рассматривая общий вид диаграммы железо-углерод, следует уяснить, что при их взаимодействии железа и углерода образуется ряд химических соединений, именуемых карбидами железа (FeC ; Fe_2C ; Fe_3C), которые могут рассматриваться как самостоятельные компоненты. При разборе диаграммы состояния для выбора режимов термических процессов обработки железоуглеродистых сплавов практически рассматривается ограниченный участок сплавов с концентрацией углерода от нуля до 6,67%. Такое содержание углерода соответствует химическому соединению Fe_3C (цементит), которое и рассматривается вторым компонентом диаграммы состояния (рис.3). При взаимодействии компонентов железа и цементит образуются также ограниченные твердые растворы внедрения атомов углерода в решетке γ -железа (ГЦК) - аустенит, в решетке α -железа (ОЦК) - феррит. Максимальная растворимость углерода в аустените достигает 2,14% (точка E), а в феррите - 0,023% (точка P). Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют сталями. Кристаллизуются они с образованием только аустенита. Сплавы с содержанием углерода от 2,14% до 6,67% - чугуны образуют при затвердевании по линии ECF эвтектику, представляющую собой механическую смесь кристаллов аустенита с цементитом (первичным). Эта смесь называется ледебуритом. Точка C

(4,3% углерода) на линии превращения жидкости в ледебурит делит белые чугуны на доэвтектические (линия EC), кристаллизация которых аналогична для сталей с образованием аустенита, и заэвтектические (линия CF), которые кристаллизуются с образованием цементита первичного, выпадающего на линии CD.

Линии диаграммы, расположенные ниже линии солидус (АЕСF), указывают на то, что после затвердевания идут вторичные процессы перекристаллизации, связанные с изменением растворимости углерода в железе (линия ES и PQ) и аллотропическим превращением железа $\gamma \leftrightarrow \alpha$ (линия GS и PG). На линии PSK происходит образование механической смеси из твердого раствора (аустенита), которая называется перлитом, а превращение - эвтектоидным. Желательно запомнить свойства сплавов по твердости: феррит - HB 80, аустенит - HB 200, перлит - HB 240, цементит - HB 800, ледебурит - HB 700.

Стали и чугуны представляют собой сплавы железа с углеродом соответственно до 2,14% и 2,14-6,67% и наличием постоянных примесей, из которых сера и фосфор являются вредными, т.к. сера сообщает стали красноломкость, т.е. хрупкость при высоких температурах, а фосфор - хладноломкость. Структуру конкретных сплавов железа с углеродом можно определить по соответствующим областям диаграммы состояния. Изучая чугуны, следует уяснить существенные особенности структур белых и серых (графитовых) чугунов. В структуре первых весь углерод присутствует в виде цементита, а во вторых одна часть углерода находится в свободном состоянии (в виде включений графита), а другая входит в состав перлита. Свойства графитных чугунов зависят от структуры металлической основы, которая может быть ферритной, перлитной или ферритно-перлитной. Свойства также в большой степени зависят от формы, характера и размеров графитных включений. Наименьшей прочностью обладают ферритные чугуны (СЧ) с грубыми пластинчатыми включениями графита, а максимальной - перлитный чугун с шаровидной формой графита (ВЧ). Следует ознакомиться с методами получения серых, ковких и высокопрочных чу-

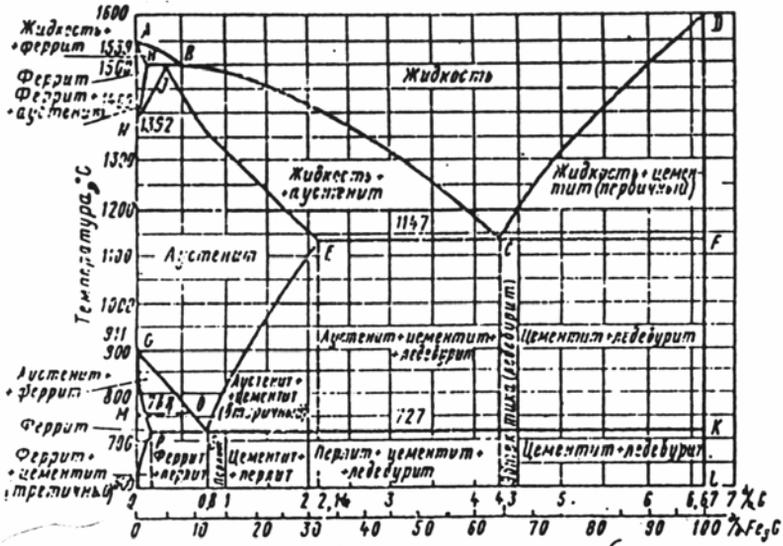


Рисунок 3 - Структурная диаграмма состояния Fe-Fe₃C

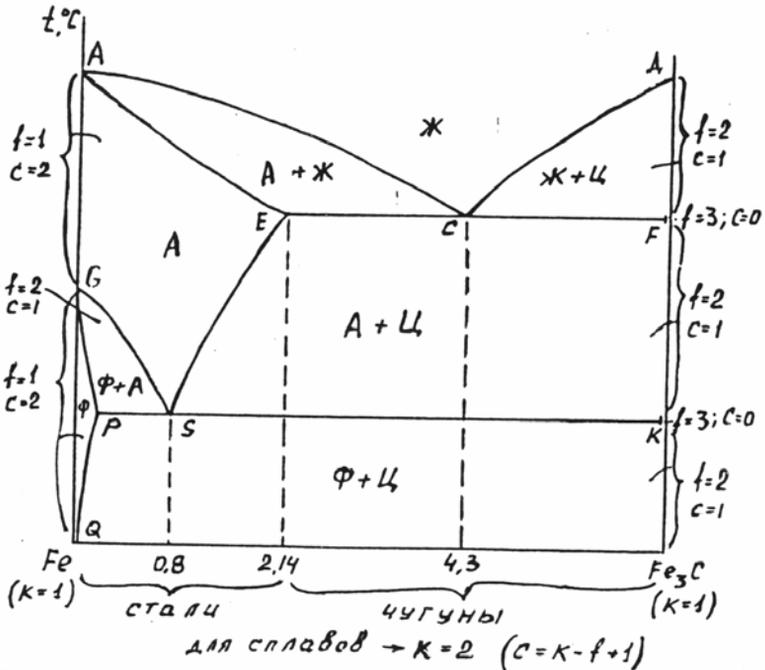


Рисунок 4 - Фазовая диаграмма состояния Fe-Fe₃C

гунов, их свойствами, маркировкой и областью применения. Кроме того, необходимо повторить классификацию сталей.

Так как контрольные работы содержат вопросы построения кривых охлаждения (нагрева), то необходимо изучить фазовую диаграмму состояния (рис.4) и пользоваться ею при ответах. Всего на диаграмме состояния пять фаз: жидкость, цементит, δ -Fe, γ -Fe, α -Fe. Свойства сплавов при комнатной температуре изменяются по прямолинейной зависимости в соответствии с количественным соотношением фаз - феррита и цементита.

Литература: [1, с.113-120; 146-160]; [2, с.48-80]; [3, с.135-174]; [5, с.68-78].

Вопросы для самопроверки

1 Какие полиморфные (аллотропические) превращения претерпевает железо (Fe) при охлаждении и как они обозначаются?

2 Сформулируйте определения основных фаз железоуглеродистых сплавов: феррита, аустенита, цементита.

3 Приведите классификацию углеродистых сталей по назначению и качеству, их маркировку.

4 Сформулируйте определение структурных составляющих железоуглеродистых сплавов: перлита и ледебурита. В чем заключается различие между эвтектикой и эвтектоидом?

5 Начертите диаграмму состояния железо-углерод. Дайте определение характерным ее точкам, линиям, областям. В чем проявляется на диаграмме состояния отличие сталей от чугунов?

6 Какие превращения происходят в сплавах, содержащих 0,5 и 1,2% углерода, при медленном охлаждении из расплавленного состояния и при нагревании от комнатной температуры?

7 Какие превращения происходят в сплавах, содержащих 3 и 5% углерода, при медленном охлаждении из расплавленного состояния и при нагревании от комнатной температуры?

8 Нарисуйте схемы микроструктур доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей с указанием структурных составляющих.

9 Нарисуйте схемы микроструктур графитных чугунов с указанием структурных составляющих. Как маркируются эти группы?

10 Чем отличаются на диаграммах состояния цементиты первичный, вторичный и третичный?

1.4 Пластическая деформация и рекристаллизация металлов

Напряжение и деформация. Физическая сущность упругой и пластической деформации. Механизмы пластической деформации, их влияние на микро- и субмикроструктуру. Теоретическая и реальная прочность металлов. Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов. Сущность явления **наклепа**, формирование **текстуры** и их практическое применение.

Механические свойства при статических нагрузках. Твердость металлов и методы ее определения. Механические свойства при ударных нагрузках. Методы механических и технологических испытаний по ГОСТ. Явление хладноломкости и усталости. Предел выносливости. Хрупкое и вязкое разрушение. Влияние температуры на механические свойства. Конструкционная прочность металлов и методы ее повышения.

Физическая сущность упругой и пластической деформации. Механизм пластической деформации, ее влияние на микро- и субмикроструктуру, изменение плотности дефектов кристаллического строения. Связь между характером изменения физико-механических свойств, строением структуры и степенью искажения кристаллической решетки. Сущность явления наклепа, формирования текстуры и их практическое применение. Основные методы испытания образцов для определения механических свойств. Методы определения твердости.

Физическая природа превращений при нагреве предварительно наклепанного металла. Возврат (отдых и полигонизация), первичная и собирательная рекристаллизация. Влияние состава, размера зерна, скорости нагрева и степени деформации на протекание рекристаллизационных (восстановительных) процессов. Различия между холодной и горячей пластическими деформациями.

Режимы рекристаллизационного отжига для разных металлов. Предельная и критическая степень пластической деформации.

Методические указания

Под влиянием внешних воздействий и различных внутренних физико-механических процессов в теле возникают внутренние механические силы, которые оказывают сопротивление деформации. Удельные нагрузки, приходящиеся на единицу площади поперечного сечения, называют напряжениями, которые являются функцией двух переменных: нагрузки (силы) P и поперечного сечения F . В общем случае в теле возникают нормальные напряжения: (σ) - действующие перпендикулярно плоскости сечения тела, и касательные (τ) - действующие в плоскости сечения тела. В случае одноосного растяжения напряжения вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F_0},$$

где P - сила, Н (кгс); F_0 - начальная площадь поперечного сечения, м^2 (мм^2); σ - напряжение, МПа (кгс/ мм^2).

Различают напряжения, возникающие под действием внешней нагрузки и исчезающие после ее снятия, и внутренние напряжения, возникающие и уравнивающиеся в пределах данного тела без действия внешней нагрузки. Образование внутренних напряжений связано в основном с неоднородным распределением деформаций по объему тела. Различают тепловые и структурные (фазовые) внутренние напряжения, которые подразделяются на **напряжения I рода**, которые уравниваются в объеме всего тела (макронапряжения); **II рода** - в объеме одного зерна (микронапряжения); **III рода** - в объемах порядка размеров кристаллической ячейки (субмикроскопические). Приложенные к телу внешние силы вызывают деформацию.

Деформация представляет собой изменение размеров и формы тела (изделия) под действием приложенных сил (напряжений). Упругая деформация устраняется после прекращения дейст-

вия сил, вызвавших ее, и характеризуется незначительным и обратимым относительным смещением атомов. **Пластическая деформация** (ПД) не устраняется после снятия напряжений и характеризуется необратимым смещением атомов. Механизм ПД в монокристаллах осуществляется скольжением и двойникованием под действием касательных напряжений - $\tau_{кр} \approx 0,16G$ (модуль сдвига - G). В реальных кристаллах ПД осуществляется дислокационным механизмом - последовательным их перемещением. Напряжения, необходимые для их перемещения, составляют $\approx 10-4G$. При дислокационном сдвиге образуются полосы и линии скольжения, что приводит к увеличению сопротивления перемещения дислокаций и росту количества вакансий и межузельных атомов. Пластическая деформация поликристаллов сопровождается вытягиванием и ориентировкой зерен относительно действующих напряжений, и образуются **волокнистая структура и текстура деформации**. Внутри зерен растет плотность дефектов кристаллического строения и материал упрочняется - **происходит наклеп**, сопровождаемый снижением характеристик пластичности. Степень наклепа ограничивается предельной деформацией, которая приводит к разрушению металлов. Процесс ПД двухфазных сплавов зависит от свойств и характера расположения каждой фазы. Наклеп используется для упрочнения изделий или их поверхностных слоев (пружины, рессоры, галтели валов, сварочные соединения), повышая этим усталостную прочность изделий.

Механические свойства металлов определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок. В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при: статическом нагружении, когда нагрузка на образец возрастает медленно и плавно; динамическом нагружении, когда нагрузка возрастает с большой скоростью - имеет ударный характер; повторно-переменном или циклическом нагружении, когда нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению. Для получения сопоставимых результатов образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ДСТ и ГОСТ. При любом способе нагружения в материале возникают напряжения.

Касательные напряжения приводят к пластической деформации материала и к последующему вязкому разрушению. Нормальные напряжения приводят к упругой деформации и к хрупкому разрушению, для которого характерно отсутствие предварительной макропластической деформации. Отношение максимальных касательных напряжений (τ_{\max}) к максимальным нормальным напряжениям (σ_{\max}), действующим в материале, зависит от способа нагружения и называется коэффициентом жесткости нагружения.

Наиболее часто для определения свойств (предел прочности - σ_b ; предел текучести - $\sigma_{0,2}$; относительное удлинение - δ ; сужение - ψ и др.) используют статические методы испытаний: растяжение, сжатие, изгиб как на гладких, так и образцах с концентратором напряжений (надрезе), твердость.

Широкое распространение испытаний материалов получил метод измерения твердости вдавливанием в испытуемый материал индентора, изготовленного из более твердого материала. О величине твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла с измерением твердости по шкале HRC; HRA; HRB), либо по величине отпечатка от вдавливания индентора при соответствующей нагрузке (метод Бринелля - HB, Виккерса - HV, метод измерения микротвердости на приборе ПМТЗ - H_μ). Для многих пластичных материалов существует определенная зависимость между пределом прочности и твердостью $\sigma_b = C \cdot HB$, где C - коэффициент, составляющий для сталей 0,33-0,36.

Пластическая деформация способствует повышению свободной энергии металла, делая его структурно нестабильным. При нагревании холоднодеформированного металла он переходит в более стабильное (равновесное) состояние. Характеры процессов и степень восстановления свойств и структур зависят от температуры нагрева и ее соотношения с температурой начала рекристаллизации (T_p - температура начала процесса зарождения и роста новых зерен со значительно меньшим количеством дефектов кристаллического строения, чем в деформированном металле). Восстановительные процессы включают возврат (отдых и полигонизация) при температуре нагрева T_n , меньшей T_p . Первичная рекри-

сталлизация - при $T_n \approx (0,3-0,5)T_{пл}$; собирательная рекристаллизация - при $T_n > 0,5T_{пл}$, которая характеризуется ростом зерен, образовавшихся при первичной рекристаллизации, и уменьшением свободной энергии за счет уменьшения поверхностной энергии системы. Одной из важных температур нагрева деформированного металла является рекристаллизационный отжиг, позволяющий полностью восстановить прочность и пластичность металла и сохранить более мелкое зерно относительно к ПД. Температура нагрева составляет $T_{отжиг} \approx (0,3-0,4)T_{пл} + 100-150^{\circ C}$. Такой отжиг может применяться как окончательная операция, так и в качестве промежуточной, например, при холодной штамповке, прокатке или волочении с целью восстановления пластичности металла для окончания процесса деформирования. Следует уяснить, что при нагреве рост зерна может происходить по причине собирательной рекристаллизации и наличии критической степени деформации ($\epsilon_{кр}$), которая составляет 5-15% и приводит к неравномерной ПД отдельных зерен. При нагреве такой структуры (после $\epsilon_{кр}$) менее деформированные зерна поглощают более деформированные, в т.ч. и зерна рекристаллизационного процесса, т.е. образования новых равновесных зерен не происходит. Наблюдающийся при этом интенсивный рост зерна снижает характеристики сопротивления металла процессам разрушения. На основании изученного материала необходимо понимать, что холодной деформацией будет та, которая осуществляется при температурах ниже начала рекристаллизации (T_p) и всегда сопровождается упрочнением. Горячая ПД осуществляется при температурах выше T_p , и в металле сразу происходят рекристаллизационные процессы, не обуславливающие упрочнения, но может формироваться строчность структуры вследствие дробления и ориентировки неметаллических включений.

Литература: [1, с.42-52]; [2, с.66-79]; [3, с.48-83]; [5, с.84-97].

Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое напряжение?
- 2 Чем отличаются касательные напряжения от нормальных?
- 3 Что такое твердость?
- 4 Чем отличаются внутренние напряжения от внешних?
- 5 Что такое ударная вязкость и выносливость металла?
- 6 В чем отличия упругой и пластической деформации?
- 7 Как изменяются твердость и относительное удлинение при холодной деформации?
- 8 Что такое наклеп?
- 9 Дайте характеристику явления текстуры.
- 10 Чем отличаются холодная и горячая деформации?
- 11 Сущность процессов при нагреве деформированного металла.
- 12 Чем отличается процесс возврата от рекристаллизации?
- 13 Как изменяются структура и свойства деформируемого металла при нагреве?
- 14 Определите температурный порог рекристаллизации для свинца ($T_{\text{плавл}} = 327^{\circ}\text{C}$), алюминия ($T_{\text{плавл}} = 660^{\circ}\text{C}$), меди ($T_{\text{плавл}} = 1083^{\circ}\text{C}$).
- 15 Назначить температуру рекристаллизационного отжига для холоднодеформированного свинца, алюминия, меди.

1.5 Теория и технология термической обработки стали и чугуна

Классификация видов термической обработки. Основные превращения в стали. **Превращения** стали при нагреве. Кинетика образования зерна аустенита. Влияние скорости нагрева и легирующих элементов на величину зерна. Превращение аустенита в перлит при охлаждении стали. Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита. Продукты распада аустенита и их свойства. Влияние легирующих элементов на изотермический распад аустенита. Превращения при непрерывном охлаждении аустенита. Критическая скорость охлаждения. Мартенситное превращение и его особенности, строение и свойства.

Превращения при нагреве закаленной стали. Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске. Отпускная хрупкость.

Общая характеристика процессов термической обработки стали. Отжиг стали и его разновидности. Влияние отжига на структуру и свойства стали.

Нормализация стали и ее влияние на структуру и свойства стали.

Закалка стали, ее назначение. Выбор температуры закалки для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей. Влияние легирующих элементов. Закалочные среды и требования, предъявляемые к ним. Способы закалки стали. Закаливаемость и прокаливаемость стали. Факторы, влияющие на прокаливаемость стали.

Отпуск стали. Виды и назначение отпуска. Улучшения стали. Термомеханическая и термоциклическая обработка стали. Старение. Поверхностная закалка стали, ее виды и область применения. Напряжения при термической обработке.

Методические указания

Термической обработкой называют процесс обработки изделий из металлов и сплавов путем теплового воздействия с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении. Это воздействие может сочетаться также с химическим, деформационным, магнитным, ультразвуковым и другими воздействиями.

Основу теории термической обработки стали составляет механизм четырех основных превращений в фазах стали при нагреве и охлаждении. **Первое превращение** - это превращение перлита в аустенит ($P \rightarrow A$) при нагреве стали. При этом происходит перестройка кристаллической решетки $OЦК \rightarrow ГЦК$ за счет диффузионных процессов перемещения атомов железа и углерода, а образование новой фазы из P ($F+Ц$) происходит по кристаллизационному механизму. Рост зерна аустенита после окончания превращения $P \rightarrow A$ происходит самопроизвольно и вызывается стремлением системы к уменьшению свободной энергии вследствие сокращения поверхности зерна. Увеличение выдержки при температуре и осо-

бенно повышение температуры обуславливают быстрый рост зерна аустенита. По склонности аустенитного зерна и росту различают наследственно крупнозернистые и наследственно мелкозернистые стали. Величина зерна аустенита имеет большое влияние на свойства стали после термической обработки. Если зерно аустенита выросло до крупных размеров, то и получающиеся продукты превращения аустенита после охлаждения будут крупнокристаллическими с пониженными механическими свойствами: резко понижаются сопротивление отрыву, ударная вязкость и повышается температурный порог хладноломкости стали. Величина зерна продуктов превращения при охлаждении стали определяется действительным размером зерна аустенита, которое оно приобрело при данной степени перегрева. На рост зерна аустенита в стали влияет характер раскисления стали и наличие легирующих элементов, которые тормозят рост аустенитного зерна (Ti, Zr, V, Mo, W, Cr). Перегретая сталь имеет структуру – крупнозернистое строение, где феррит располагается в виде сетки по границам зерен или в виде пластин (ИГЛ), прорезающих зерна перлита (видманштеттова структура). Перегрев можно устранить повторным нагревом стали до более низких температур. **Второе превращение** заключается в превращении аустенита в механическую смесь-перлит ($\Phi + \Psi$) при охлаждении стали. При этом также происходит полиморфное превращение ГЦК \rightarrow ОЦК и образование цементита за счет диффузии атомов углерода и самодиффузии атомов железа. Скорость охлаждения определяет температуру распада аустенита и образование соответствующих структур: перлита, сорбита, троостита, которые представляют собой механические смеси $\Phi + \Psi$, но различной степени дисперсности. Бейнитная структура относится к промежуточным превращениям.

Третье превращение заключается в превращении аустенита в мартенсит $\gamma \text{ Fe (C)} \rightarrow \alpha \text{ Fe (C)}$ при охлаждении со скоростью выше критической. Особенность превращения состоит в том, что происходит оно по бездиффузионному (сдвиговому) механизму с перестройкой решетки ГЦК \rightarrow ОЦК и углерод не успевает выделиться из решетки. В зависимости от содержания углерода и наличия легирующих элементов (состава стали) изменяется температура начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения. В процессе

превращения растет плотность дефектов и искажается кристаллическая решетка из-за внедренных атомов углерода. Это обуславливает повышение твердости и хрупкости стали. **Мартенсит - пересыщенный твердый раствор внедрения атомов углерода в решетке α -железа**, имеет игольчатое строение и является нестабильной структурой.

Четвертое превращение заключается в распаде мартенсита при нагреве (отпуске) закаленной стали ($\alpha\text{Fe}(\text{C}) \rightarrow \Phi + \Psi$). Интенсивность распада мартенсита зависит от температуры нагрева стали и включает три основные стадии: первая - зарождение карбидов, вторая - обособление карбидов, третья - коагуляция карбидов.

Любой технологический процесс термической обработки стали состоит из определенных комбинаций этих четырех превращений.

К собственно термической обработке относятся: отжиг первого и второго рода, нормализация, закалка и отпуск стали.

Отжиг I рода частично или полностью устраняет отклонения от равновесного состояния, возникшие при предыдущей обработке (литье, обработка давлением, сварка, термическая и механическая обработка), причем его проведение не обусловлено фазовыми превращениями. Процессы, устраняющие отклонения от равновесного состояния, происходят самопроизвольно, и нагрев проводят лишь для ускорения этих процессов. Основные разновидности отжига I рода: гомогенизационный (диффузионный) - устранение последствий ликвации в слитках и отливках; дорекристаллизационный и рекристаллизационный - частичное или полное восстановление свойств после холодной обработки давлением; снятие остаточных напряжений - устранение остаточных напряжений, возникших в процессе литья, сварки, обработки резанием. Основные параметры отжига I рода - температура нагрева и время выдержки. Охлаждение изделий, как правило, проводят вместе с печью, что обеспечивает скорость охлаждения $\sim 5-200^{\circ}$ в час. На практике охлаждение с такой скоростью обеспечивается охлаждением деталей вместе с печью.

Отжиг II рода основан на использовании диффузионных фазовых превращений при нагреве и охлаждении металлов и спла-

вов. Отжиг II рода можно проводить с полным изменением фазового состава (перекристаллизация), когда фазы, существующие при комнатной температуре, исчезают при нагреве, а фаза, стабильная при повышенной температуре, исчезает при охлаждении. Полное изменение фазового состава происходит при полном и изотермическом отжиге. Температура нагрева соответствует однофазному состоянию - выше линии GSE на 30-50°C. При частичной перекристаллизации одна из фаз лишь частично переходит в твердый раствор - неполный отжиг. Температура нагрева соответствует двухфазному состоянию - выше линии PSK (A_{c1}) на 30-50°C. Охлаждение при отжиге проводят вместе с печью.

Нормализация заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры $A_{c3} + 30-50^\circ\text{C}$ и заэвтектоидной - $A_{c1} + 30-50^\circ\text{C}$, выдержкой для фазовой перекристаллизации и охлаждении на воздухе. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию можно использовать вместо полного отжига, что сокращает время обработки при одновременном повышении механических свойств на 10-15%. Для заэвтектоидной стали нормализацию применяют в качестве предварительной термической обработки для устранения цементитной сетки и улучшения обрабатываемости резанием.

Закалкой называется нагрев стали до температуры, на 30-50°C выше температуры, соответствующей точке A_{c3} (для доэвтектоидной) или A_{c1} (для заэвтектоидной), выдержка для завершения фазовых превращений и последующее охлаждение со скоростью выше критической, обеспечивающей мартенситное превращение. Углеродистые стали чаще охлаждают в воде, а для легированных в масле или других средах. В соответствии с выбором температур различают закалки полную (из однофазного состояния) и неполную (из двухфазного состояния).

Термическая обработка производится для придания определенных свойств материалу изделия, будь то деталь конструкции или инструмент для формообразования, и обработки заготовок. Изменение структуры и свойств стали при термической обработке достигается путем ее нагревания до определенных температур, выдержке для завершения структурно-фазовых превращений и последующего охлаждения с определенной скоростью.

В зависимости от получения требуемых свойств различают предварительную термическую обработку с целью подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций, и окончательную, когда получают структуру и свойства металла в соответствии с условиями эксплуатации. По каждому виду термической обработки необходимо знать: цель и метод обработки; сущность структурных изменений, происходящих в стали при нагревании и охлаждении, в соответствии с диаграммой состояния Fe-Fe₃C; конечные структуры и свойства, получаемые после обработки. **Закаливаемость** - способность стали повышать твердость при закалке и зависит от содержания углерода в решетке мартенсита. **Прокаливаемость** характеризует способность стали получить закаленный слой на определенную глубину и зависит от наличия легирующих элементов и состояния металла до закалки. Мартенситная структура является нестабильной и при нагреве будет переходить в стабильное состояние, которое сопровождается распадом мартенсита.

Отпуск заключается в нагреве закаленной стали до температур, ниже критической A₁, с целью снижения хрупкости, твердости и внутренних термических напряжений. При отпуске мартенсит закалки превращается в более стабильные структуры по диффузионному механизму: **мартенсит отпуска**, **троостит** и **сорбит отпуска**. Следует знать различия в закаленных и отпущенных структурах стали и изменения в свойствах стали, вызванные отпуском. **Низкий отпуск** применяется (~200°C) для режущего инструмента, штампов холодного деформирования (высадка, пробивка, вытяжка и др.) и калибров. **Средний отпуск** (≈450°C) применяется для упругих элементов (пружины, рессоры, торсионы), который способствует повышению предела упругости стали. **Высокий отпуск** (≈580°C) применяется для среднеуглеродистых конструкционных (улучшаемых) сталей для повышения конструкционной прочности деталей, перед азотированием и закалкой ТВЧ, а также для инструментальных штамповых сталей горячего деформирования. Сочетание закалки с высоким отпуском называется **термолучшением**.

Старение - термическая обработка сплавов, не претерпевающих при закалке полиморфных превращений, приближающая

их структуру к равновесной за счет распада пересыщенного твердого раствора.

Чугун может подвергаться всем видам термической обработки, используемым для сталей, однако при этом необходимо учитывать особенности состава и строения чугуна различных видов. Наиболее часто применяются разные виды отжига и нормализации чугуна. Нормализация повышает прочность, твердость и износостойкость при снижении пластичности за счет увеличения в структуре доли перлита.

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации стали в аустенитном состоянии с ее закалкой. Различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) при температуре выше точки A_3 с немедленной закалкой во избежание развития процесса рекристаллизации, и низкотемпературную (НТМО), когда сталь деформируют в температурной зоне существования переохлажденного аустенита при температуре выше точки M_n , но ниже температуры рекристаллизации. Степень деформации составляет 75-95%. Закалку осуществляют сразу после деформации с последующим низкотемпературным отпуском. ТМО позволяет получить очень высокую прочность при хорошей пластичности.

Термоциклическая обработка (ТЦО) основана на постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов при нагреве их относительно критических температур на $\pm(50-100^\circ\text{C})$. В отличие от стандартных методов термической обработки при ТЦО появляются дополнительные источники воздействия на структуру, свойственные только процессу непрерывного изменения температуры, основными из которых являются фазовые превращения, градиенты температуры, термические (объемные) и межфазные напряжения, обусловленные разницей теплофизических характеристик. Переменная растворимость компонентов обеспечивает необходимые условия для перераспределения элементов и видоизменения фаз за счет многократного действия механизма растворение - выделения, свойственного только процессу ТЦО. Термоциклическая обработка эффективна при необходимости получения мелкозернистой структуры по сечению

изделия; для ускорения процессов химико-термической обработки; при обработке дисперсно-твердеющих сплавов.

Поверхностная закалка представляет местную закалку, при которой на некоторую глубину закаливается только поверхностный слой, оставляя незакаленной сердцевину изделия. Поверхностная закалка реализуется при условии нагрева поверхностного слоя стали до температуры выше критической точки A_{c3} (для аустенизации) и последующего охлаждения со скоростью выше критической для получения мартенсита. При поверхностной закалке химический состав по сечению детали не изменяется, но поверхность и сердцевина подвергаются различной термической обработке, чем и обуславливается образование разных структур, а следовательно, и свойств. Наибольшее распространение в машиностроении имеют следующие методы поверхностной обработки: нагрев изделия токами высокой частоты (ТВЧ); газоплазменная закалка с нагревом газовой-кислородным пламенем; электромеханическая обработка (ЭМО) с нагревом поверхностного слоя за счет прохождения большой силы тока через зону контакта инструмента с изделием; закалка в электролите; закалка поверхностного слоя за счет нагрева концентрированными источниками энергии (КИЭ) - лазерная, электронным лучом, дуговым разрядом. Главным различием этих способов закалки поверхности изделий, помимо источника тепла при нагреве, является разный режим изменения температуры в поверхностном слое нагреваемого изделия.

Литература: [1, с.162-230]; [2, с.80-109]; [3, с.218-254]; [7].

Вопросы для самопроверки

- 1 Чем отличается процесс отжига от нормализации?
- 2 Какой отжиг называется полным и неполным? Объясните их назначение.
- 3 В чем сущность диффузионного отжига?
- 4 Назначение нормализации для низко- и высокоуглеродистых сталей.
- 5 Объясните сущность технологического процесса и назначение закалки. Способы закалки.
- 6 Сущность и назначение полной и неполной закалки.

- 7 Охлаждающие среды при термической обработке.
- 8 В чем отличия структур изотермического отжига и отпуска?
- 9 Какие бывают виды отпуска стали? Назначение и особенности превращений.
- 10 Что такое термоулучшение? Назначение и особенности превращений.
- 11 Почему существуют интервалы температур нагрева при термообработке сталей?
- 12 Что такое отпускная хрупкость? Ее разновидности.
- 13 В чем заключается сущность мартенситного превращения?
- 14 В чем отличия превращений при процессах отпуска и старения?
- 15 Способы поверхностной закалки, их особенности.
- 16 Чем отличаются технологии ВТМО и НТМО.
- 17 В чем сущность термоциклической обработки?

1.6 Химико-термическая обработка углеродистых сплавов

Физические основы химико-термической обработки (ХТО). Необходимые условия и основные этапы процесса. Классификация методов обработки. Сущность и структурные превращения при цементации. Сущность и структурные превращения при азотировании. Нитроцементация и борирование. Диффузионная металлизация. Процессы хромирования, алитирования, цинкования и область их применения. Влияние легирующих элементов на процесс, структуру и свойства различных методов ХТО.

Методические указания

Химико-термическая обработка заключается в сочетании химического и термического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали. Сердцевина при этом имеет более высокие свойства пластичности (вязкости) и

пониженные значения прочностных свойств. Для протекания процессов ХТО необходимо: наличие растворимости диффундирующего элемента в материале, достаточно высокая температура, наличие диффундирующего элемента в атомарном состоянии. Основными стадиями процессов являются: образование активных атомов в насыщающей среде - карбюризаторе (твердой, газовой, жидкой, паровой); адсорбция и поглощение активных атомов поверхностного металла, диффузия адсорбированных атомов вглубь металла. Процесс ХТО определяется насыщающим элементом: **цементация** - углеродом; **азотирование** - азотом; **борирование** - бором; **нитроцементация** - азотом и углеродом; **хромирование** - хромом, силицирование - кремнием и т.д. Наиболее широко в машиностроении применяются цементация - диффузионное насыщение поверхностного слоя стали углеродом в карбюризаторе и последующие термическое упрочнение, и азотирование - термоулучшение и диффузионное насыщение азотом. Необходимо разобраться в технологии этих процессов, используемых материалах, получаемых свойствах на поверхности и в сердцевине. Области применения данных процессов определяются условиями эксплуатации изделий: цементация повышает износостойкость и контактную выносливость при температурах до 250°C, а азотирование повышает износостойкость, коррозионную стойкость, предел выносливости, но имеет пониженную контактную усталостную прочность из-за повышенной хрупкости слоя. Следует разобраться в особенностях процессов нитроцементации и цианирования, их достоинствах и недостатках.

Цель **диффузионной металлизации** - повышение жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости, твердости деталей машин и изделий, соответствующими элементами (Al, Ni, Cr, Ti и др.).

К видам ХТО, применяемым для чугуна, относят азотирование, **алитирование**, **сульфидирование**. Азотирование - улучшение антикоррозионных свойств и повышение износостойкости. Сульфидирование - уменьшение коэффициента трения и улучшения прирабатываемости трущихся пар. Алитирование повышает коррозионную стойкость при повышенных температурах.

Литература: [1, с.232-250]; [2, с.110-122]; [3, с.255-278]; [5]; [10].

Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое диффузия?
- 2 При каких условиях взаимодействия компонентов сплава возможно насыщение его поверхностных слоев методами ХТО?
- 3 Что называют химико-термической обработкой?
- 4 Что такое цементация и какие ее виды применяют в машиностроении?
- 5 Какие стали применяют для цементации и азотирования?
- 6 Какая оптимальная глубина слоя при азотировании и цементации?
- 7 Почему при азотировании конструкционных сталей повышается их усталостная прочность?
- 8 При какой температуре проводят азотирование для повышения коррозионной стойкости и твердости поверхности?
- 9 Что такое цианирование и нитроцементация? Чем отличаются эти виды обработки?
- 10 С какой целью проводят нитроцементацию инструмента из быстрорежущей стали?
- 11 Чем объясняется необходимость высокотемпературного нагрева деталей при диффузионной металлизации?
- 12 В чем преимущества ионной ХТО?
- 13 Какие процессы диффузионной металлизации Вы знаете? В чем их сущность?

1.7 Конструкционные стали

Необходимо усвоить принципы маркировки конструкционных сталей, уметь по маркировке определять химический состав и особенности данной стали, а также давать качественную характеристику и иметь общее представление о разных группах сталей.

Изучить влияние легирующих элементов на изменение микроструктуры и свойств сталей, уделив особое внимание технологи-

ческим особенностям механической и термической обработки этих сталей.

Необходимо рассмотреть способы классификации по структуре в нормализованном состоянии и, что особенно важно для машиностроителей, по назначению; основные принципы выбора для различного назначения цементуемых, улучшаемых, пружинно-рессорных, износостойких, высокопрочных, нержавеющей, жаропрочных и др. сталей.

При изучении жаропрочных сталей обратите внимание на особенности поведения металла в условиях нагружения при повышенных температурах. Уясните сущность явления ползучести и основные характеристики жаропрочности, каковы предельные рабочие температуры и области применения сталей различного структурного класса.

Методические указания

Конструкционные стали представляются следующими группами.

Стали общего назначения. Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. ГОСТ и маркировка сталей. Классификация сталей по качеству и их особенности. Листовая сталь для холодной штамповки. Автоматные стали. Стали для получения отливок. Строительные стали. Основы рационального легирования и влияние легирующих элементов. Классификация легированных сталей по структуре и нормализованному состоянию. Низколегированная сталь.

Цементуемые стали. Требования, предъявляемые к цементуемой стали. Свойства, термическая обработка и примеры применения цементуемых сталей, таких, как сталь 10, 20, 20X, 15XФ, 12ХНЗА, 19ХГТ, 30ХГТ и т.п.

Улучшаемые стали. Требования к сталям. Свойства, термическая обработка и примеры применения сталей. Современные тенденции в области легирования машиностроительных конструкционных сталей, а именно 40ХНМА, 38ХМЮА, 40ХН, 35ХГСА и др.

Пружинно-рессорные стали. Требования к свойствам сталей. Стали общего и специального назначения. Пружинные стали, упрочняемые закалкой и отпуском: 65Г, 60С2А, 50ХФ, 70С3А и др.

Износостойкие стали. Требования к свойствам сталей. Шарикоподшипниковые стали и их термическая обработка. Графитизированная сталь. Высокомарганцовистые стали и их термическая обработка: ШХ15, ШХ6, ШХ15СГ, Г6Л, 110Г13Л.

Высокопрочные мартенситостареющие стали. Свойства сталей. Структура и строение высокопрочные сталей. Термическая и химико-термическая обработка мартенситостареющих сталей. Применение высокопрочных мартенситостареющих сталей.

Коррозионностойкие стали. Сущность коррозии. Классификация видов коррозии. Основные принципы создания коррозионностойких сталей. ГОСТ на нержавеющие стали. Хромистые нержавеющие стали мартенситного, мартенсито-ферритного и ферритного классов. Хромистые и хромоникелевые нержавеющие стали (состав, структура и область применения): 12Х13, 40Х13, 10Х18Н10Т и др. Высокопрочные нержавеющие стали аустенито-мартенситного класса. Высоколегированные коррозионностойкие стали и сплавы. Межкристаллитная коррозия. Окалиностойкие (жаростойкие) стали, свойства и область применения: Х13Ю4, 20Х23Н18, Х28 и др.

Жаропрочные стали. Жаропрочность. Ползучесть. Методы определения механических свойств при высоких температурах. ГОСТ на жаропрочные стали. Пути повышения жаропрочности. Стали перлитного, мартенситного и мартенсито-ферритного классов. Стали аустенитного класса с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Область применения жаропрочных сталей (клапанные стали, котлотурбинные, стали для газовых турбин). Представителями этой группы сталей являются: 40Х10С2М, 15Х11МФ, 12Х18Н10Т, 45Х14Н14В2М и др.

Литература: [1, с.266-270; с.271-358; с.340-370]; [2, с.269-300]; [3, с.280-319]; [5, с.161-190; с.286-298]; [11].

Вопросы для самопроверки

- 1 Как классифицируются легированные стали?
- 2 Какие требования предъявляются к цементованным изделиям?
- 3 Чем определяется выбор марки цементованной стали для изделий различного назначения?
- 4 Чем объясняется назначение процесса улучшения для конструкционной стали?
- 5 Как влияет степень легирования на механические свойства улучшаемой стали?
- 6 Приведите примеры марок сталей, используемых в разных условиях работы.
- 7 Приведите примеры марок стали пружин и рессор, работающих в различных условиях.
- 8 В чем особенности термической обработки рессорно-пружинной стали?
- 9 Какие Вы знаете износостойкие стали, в чем особенности их свойств?
- 10 В чем сущность процесса коррозии, и какие требования предъявляются к нержавеющей сталям?
- 11 Что такое химическая и электрохимическая коррозия?
- 12 Укажите марки нержавеющей сталей, их состав, свойства и термическую обработку.
- 13 Что такое жаростойкость и жаропрочность?
- 14 Каким образом можно повысить окалиностойкость?
- 15 Какие требования предъявляются к жаропрочным сталям?
- 16 В чем сущность явления ползучести?
- 17 Каким способом можно повысить жаропрочность стали? Объясните природу упрочнения.
- 18 Приведите примеры жаропрочных сталей разного класса и укажите особенности их обработки.

1.8 Инструментальные стали

Классификация и маркировка инструментальных сталей. Требования к инструментальным сталям. Стали высокой твердости, не обладающие теплостойкостью (углеродистые, низколегированные и легированные, повышенной прокаливаемости). Теплостойкие стали высокой твердости (быстрорежущие) и их термическая обработка. Теплостойкие стали повышенной вязкости. Выбор инструментальной стали. Стали для режущего инструмента. Стали для измерительного инструмента. Стали для штампов холодного и горячего деформирования. Стали повышенной разгаростойкости. Стали для форм литья под давлением и прессованием. Твердые сплавы. Получение инструмента методом порошковой металлургии.

Методические указания

Изучите классификацию инструментальных сталей в зависимости от применения инструмента и в связи с этим рассмотрите основные эксплуатационные свойства инструмента каждой группы.

Особое внимание уделите быстрорежущим сталям. Уясните причины их высокой теплостойкости (краснотойкости) и особенности термической обработки.

При изучении штамповых сталей необходимо различать условия работы штампов для деформирования металла в холодном и горячем состоянии. Необходимо изучить влияние легирующих элементов на служебные характеристики инструментальных сталей.

Студент обязан уметь выбрать марку стали для инструмента различного назначения, расшифровать его состав, назначить режим термической обработки, объяснить сущность происходящих при термической обработке превращений и указать получаемые структуры и соответственно свойства.

Литература: [1, с.306-340]; [2, с.360-377]; [3, с.329-341]; [5, с.191-198]; [6].

Вопросы для самопроверки

1 Приведите примеры сталей для режущего инструмента и расшифруйте марки.

2 Какая термическая обработка обеспечивает получение необходимых свойств для режущего инструмента из легированных сталей?

3 В чем сущность явления красностойкости (теплостойкости) инструмента и каким образом можно ее повысить?

4 Укажите требования, предъявляемые к штамповым сталям?

5 Назовите термическую обработку стали, обеспечивающую получение структуры и свойств для штампов холодного деформирования.

6 Какая структура обеспечивает работоспособность молотовых штампов, какой термической обработкой она обеспечивается?

7 Что представляют собой твердые сплавы? Каковы их свойства и преимущества по сравнению с инструментальными сталями?

8 Укажите особенности термической обработки быстрорежущих сталей.

9 Что такое разгаростойкость?

1.9 Цветные металлы и сплавы

Классификация цветных металлов и сплавов. Медь, ее свойства и применение. Сплавы меди с цинком (латуни). ГОСТ. Состав, свойства, маркировка и применение. Сплавы меди с оловом, алюминием, свинцом (бронзы). ГОСТ. Состав, свойства, маркировка и применение в технике.

Алюминий, его свойства и применение. Сплавы на основе алюминия, их классификация и ГОСТ. Литейные алюминиевые сплавы (силумины), их состав, свойства, маркировка, применение. Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой. Состав, свойства, маркировка, ГОСТ и применение в технике. Термическая обработка алюминиевых сплавов, основные понятия о превращениях при закалке и старении.

Титан и сплавы на его основе. ГОСТ. Классификация сплавов. Состав, свойства, маркировка и применение. Основные понятия о термической обработке титановых сплавов.

Подшипниковые сплавы. Состав, свойства, маркировка и применение в технике. Магниевые сплавы. Классификация, состав, свойства, маркировка и применение в технике.

Методические указания

При изучении цветных металлов и сплавов необходимо хорошо усвоить примерный качественный и количественный состав, принципы маркировки того или иного сплава, условия применения их в различных отраслях техники. При изучении латуней и бронз необходимо помнить, что их свойства, а следовательно, и применение определяется их структурой: однофазные α -латуни хорошо обрабатываются давлением, а двухфазные $\alpha+\beta$ -латуни лучше использовать для отливок или для изготовления деталей обработкой резанием. Аналогичные свойства характерны для бронз.

Необходимо обратить внимание, что сплавы меди с никелем и марганцем (мельхиор, никелин, константан, манганин) обладают особыми свойствами электросопротивления и коррозии, поэтому широко применяются в приборостроении и других областях техники.

Следует обратить внимание на большое количество алюминиевых сплавов, сущность модифицирования литейных (силуминов) алюминиевых сплавов, сущность и особенности упрочняемых термической обработкой сплавов.

Главное достоинство сплавов на основе магния - малый удельный вес, обуславливающий высокую удельную прочность, что и определяет область их применения.

Особенности и разнообразие титановых сплавов в том, что титан обладает полиморфизмом и при температуре 822°C происходит превращение α (ГПУ) \Leftrightarrow β (ОЦК). Отсюда следует, что сплавы титана могут подвергаться закалке, отпуску, старению и подобно сталям имеют при этом разнообразие в структуре и свойствах, определяемых диаграммами состояния титан - легирующий элемент.

Подшипниковые сплавы называют антифрикционными, используются в узлах трения для подшипников скольжения. Необходимо изучить маркировку и требования, предъявляемые к подшипниковым сплавам, в частности баббитам, для обеспечения работоспособности узлов трения.

Литература: [1, с.419-470]; [2, с.207-223]; [3, с.353-380]; [5, с.251-276]; [9]; [12].

Вопросы для самопроверки

- 1 Как классифицируются медные сплавы?
- 2 Как классифицируются алюминиевые сплавы?
- 3 Как классифицируются титановые и магниевые сплавы?
- 4 Какие цветные сплавы упрочняются нагартовкой?
- 5 Какие цветные сплавы упрочняются термической обработкой?
- 6 В чем особенности закалки термообработки сплавов Бр, Б2 и Д1?
- 7 Каковы свойства магния и как классифицируются сплавы?
- 8 Какие требования предъявляются к антифрикционным сплавам?
- 9 Приведите марки литейных алюминиевых сплавов.
- 10 Как и для чего проводится модифицирование силуминов?
- 11 Назовите марки баббитов и область их применения.
- 12 В чем особенности маркировки бронз и латуней?
- 13 Укажите марки деформируемых алюминиевых сплавов и область их применения.

1.10 Специальные сплавы

Прецизионные сплавы. Магнитно-мягкие сплавы. Стали и сплавы для постоянных магнитов (магнитно-твердые). Сплавы с заданными упругими свойствами. Сплавы с аномальным термическим расширением. Сплавы с высоким омическим сопротивлением.

Никель, кобальт и их сплавы. Никель. Жаростойкие и жаропрочные никелевые сплавы с железом и хромом. Кобальт. Сплавы на основе кобальта.

Тугоплавкие металлы и их сплавы. Общая характеристика тугоплавких металлов. Молибден и его сплавы. Вольфрам и его сплавы. Тантал и его сплавы. Ниобий и его сплавы.

Методические указания

В данном разделе изучаются стали и сплавы, обладающие особыми физическими свойствами, и сплавы новой техники на основе тугоплавких металлов. Необходимо знать требования, предъявляемые к каждой группе сплавов, и назначение сплавов. Необходимо знать маркировку сплавов и особенности структурных превращений при термической обработке.

Литература: [1, с.336-402]; [2, с.303-318]; [3, с.342-350]; [5, с.315-342]; [8].

Вопросы для самопроверки

1 Какие вы знаете магнитно-мягкие стали и сплавы? Укажите несколько марок и расшифруйте.

2 Какие требования предъявляются к магнитно-твердым материалам?

3 Какой термической обработке подвергаются магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы?

4 Какие требования предъявляются к сплавам с высоким электросопротивлением? Приведите примеры таких сплавов с указанием их структуры, свойств и применения.

5 Приведите примеры сплавов с особенностями теплового расширения, их состав, свойства и назначение.

6 Приведите примеры сплавов на основе никеля, кобальта и ниобия, их свойства и назначение.

7 В каких случаях для постоянных магнитов можно применять стали У8А, Е7Х5?

1.11 Неметаллические материалы

Полимеры. Общая характеристика свойств и классификация пластмасс. Полимерные материалы: обратимые - термопласты,

эластотермопласты и необратимые - реактопласты, резиновые смеси. Технология изготовления деталей из пластмасс. Волокниты, слоистые пластмассы, стеклопласты. Органические стекла. Использование пластмасс в машиностроении. Покрытия из пластмасс.

Резиновые материалы. Состав резины. Свойства. Наполнители, их влияние на физико-механические свойства резины. Область применения резин разных марок.

Силикатные материалы. Свойства стекол в зависимости от их состава. Кварцевое стекло, пеностекло. Стеклокристаллические материалы. Термическая обработка стекол.

Древесные материалы. Древесина и ее свойства. Способы повышения качества древесины. Фанеры. Древесно-стружечные материалы и древесно-слоистые пластики. Область применения древесины.

Методические указания

При изучении этого раздела следует помнить, что основой пластмасс в большинстве случаев являются синтетические полимеры. Другими важными компонентами являются наполнители и отвердители. Чаще всего применяются феноло- и анилиноальдегидные, кремнийорганические, поливинилхлоридные, полиамидные, полистирольные и другие смолы. При изготовлении деталей из пластмасс исходный материал нагревают и сдавливают. В зависимости от поведения смол при нагреве пластмассы делятся на две основные группы: термопластичные и термореактивные. Под действием тепла и давления первые почти не изменяются и при повторном нагреве снова переходят в пластическое состояние, сохраняя способность к формированию; вторые - вначале размягчаются, а затем вследствие образования более сложных молекул переходят в твердое состояние. При повторном нагреве эти пластмассы не размягчаются и повторному использованию не подлежат. Необходимо ознакомиться с основными физико-механическими свойствами пластмасс: положительными - малая плотность, хорошая формемость, высокая прочность, стойкость против коррозии, высокие антифрикционные свойства и др., а также с их недостатками -

большая усадка, низкая теплопроводность, ползучесть, старение, плохая обрабатываемость резанием и др. Необходимо изучить основные способы получения деталей из пластмасс и условия, обеспечивающие минимальное вредное воздействие на окружающую среду. Применение пластмасс в различных отраслях народного хозяйства позволяет экономить дефицитные металлы и сплавы, снизить массу и себестоимость конструкций, уменьшить трудоемкость обработки деталей.

Резина как технический материал отличается от других высокими эластичными свойствами, что обусловлено свойствами самой основы резины - каучука. Уясните состав резины, способ получения и влияние различных добавок на ее свойства. Проанализируйте влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико-механические свойства и область применения ее в промышленности.

Большинство неорганических материалов (силикатных) содержит различные соединения кремния с другими элементами. Уясните сущность стеклообразного состояния и разновидности аморфного состояния вещества. Разберитесь в изменении свойств стекла в зависимости от состава. Рассмотрите отличие силлатов от минерального стекла и уясните причины образования кристаллической структуры. При изучении керамических материалов обратите внимание на отличие технической керамики от обычной. Разберитесь в химическом и фазовом составех технической керамики, ее свойствах и области применения.

При изучении древесных материалов обратите внимание на достоинства и недостатки древесины как конструкционного материала. Уясните физико-механические свойства наиболее распространенных пород древесины. Изучите основные способы получения древесно-слоистых материалов и древесно-стружечных плит и влияние данных способов на окружающую среду. Ознакомьтесь с применением древесного материала в разных отраслях народного хозяйства.

Литература: [4, с.460-496]; [5, с.382-422].

Вопросы для самопроверки

- 1 Что лежит в основе классификации полимеров?
- 2 Какие Вы знаете наполнители пластмасс?
- 3 Для чего вводят в пластмассы отвердители?
- 4 В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическим материалами?
- 5 Укажите область применения термо- и реактопластов.
- 6 Что представляет собой резина?
- 7 Как влияют наполнители на свойства резины?
- 8 Какие силикатные материалы относятся к минеральному стеклу и каковы их отличительные свойства?
- 9 Укажите область применения ситаллов.
- 10 Какой обработкой достигаются различные электрические свойства стекла?
- 11 Укажите основные достоинства и недостатки древесины как конструкционного материала.
- 12 Перечислите основные способы повышения качества древесины.

1.12 Композиционные материалы

Принципы создания композиционных материалов. Влияние формы и взаимного расположения частиц наполнителя на характеристики прочностных свойств композитов. Модуль упругости композитов. Понятие о структуре и свойствах материалов с моно- и поликристаллическими волокнистыми наполнителями. Свойства композитов с металлической, керамической и полимерной матрицей. Перспективы применения композитов в отраслях народного хозяйства.

Методические указания

При изучении композитов обратите внимание на принципиальное отличие композиционного материала, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. Особенность композитов в том, что они обладают свойствами, которыми не сможет обладать ни один из его компонентов в

отдельности. Разберите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможности создания жаропрочных и жаростойких материалов на основе композитов. Укажите область применения композитов в машиностроении.

Литература: [2, с.247-268]; [4, с.451-459].

Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое композиты?
- 2 Как подразделяются композиты по виду матрицы?
- 3 Как классифицируются композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
- 4 От чего зависят физико-механические свойства композитов?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выполнение курсовой работы предусматривает обоснованный выбор материала для изготовления **деталей** машин или инструмента, описание способа получения заготовки, механической обработки, режимов и технологии термической или химико-термической обработки, обеспечивающих надежность и износостойкость изделий в условиях эксплуатации.

Как правило, в заданиях на курсовую работу представлены более типичные детали машин, штампового и режущего инструмента, используемые в разных отраслях машиностроения, в т.ч. электронного.

Для выполнения курсовой работы необходимо в первую очередь проанализировать условия работы детали, возможные виды разрушений и причины, их вызывающие, определиться с техническими требованиями к служебным характеристикам детали (структуры и твердости рабочей и нерабочей частей детали, сердцевины, толщины диффузионного или закаленного слоя и т.д.), т.к. от этого зависит выбор материала для изготовления детали; определиться со способом получения заготовки детали.

При решении таких задач студенты должны ориентироваться на применение менее дорогих материалов и в то же время обладающих более высоким уровнем требуемых свойств, что должно обеспечить более длительный срок службы изделий и в целом конструкций. Все это позволяет снизить материалоемкость указанных изделий, что имеет большое технико-экономическое значение. Кроме того, необходимо, чтобы при выборе тех или иных материалов студенты учитывали и их технологические свойства, с тем чтобы использовать при производстве заготовок изделий более экономичные технологические процессы, позволяющие, наряду с улучшением эксплуатационных характеристик изделий, снизить трудоемкость их изготовления, себестоимость и расход материалов.

Дорогие легированные стали, содержащие никель, вольфрам, молибден, рекомендуется выбирать в тех случаях, когда выбор более дешевых материалов не может обеспечить требуемых свойств. Например, окалиностойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости, теплостойкости и др.

Во всех случаях необходимо сначала рассматривать варианты выбора углеродистых или низколегированных сталей с последующей химико-термической обработкой, термомеханической и др. видов специальной обработки.

3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется на бумаге формата 210x297 с заглавным листом. Объем работы 15-20 страниц по ГОСТ.

Содержание работы должно быть изложено в следующих разделах:

1 **Введение.** Кратко (1,5-1,0 стр.). Описать материалы, применяемые для изготовления детали Вашего задания.

2 Пользуясь дополнительной литературой («Детали машин», «Технология машиностроения», «Станки и инструменты»,

«Технология производства гидравлических машин», «Электротехнические материалы» и др.), описать **назначение и условия работы детали задания** (1,5-2,0 стр.).

3 Определить возможные причины выхода из строя или причины возникновения дефектов при эксплуатации **детали**; установить возможный характер разрушения детали, предлагаемого условиями задания (если таковой имеется). Описать структуру и свойства, вызвавшие разрушение детали.

4 Определить и обосновать выбор технических требований на свойства готовой детали: твердость и микроструктуру поверхности и сердцевины детали; толщину закаленного или диффузионного слоя, предел прочности, ударную вязкость и др.

5 Выбрать материал для изготовления заданной детали, исходя из условий эксплуатации и технических требований согласно п.4; обосновать экономическую целесообразность выбора материала. Пользоваться приложением.

6 Определиться со способом получения заготовки детали (отливка, штамповка, поковка, прокат и др.). Дать схему получения заготовки выбранным способом, описать последовательность получения заготовки, применяемые материалы, оснастку, оборудование.

7 Разработать маршрутную технологию механической обработки детали без расчетов режимов резания.

8 Расшифровать марку выбранной стали (материала); описать влияние легирующих элементов на структуру и свойства ее, на закаляемость, прокаливаемость, на изотермическое превращение аустенита, порог хладноломкости и др.

*9 Начертить **диаграмму состояния** любых двух компонентов, входящих в состав выбранной марки стали; расписать структурный и фазовый состав во всех областях диаграммы, графически изобразить изменение свойств сплавов в зависимости от химического их состава согласно закону Курнакова.

На основании закона Гиббса построить две кривые охлаждения указанных преподавателем сплавов. Применяя правило отрезков, найти соотношение фаз в данной точке.

10 Выбрать режимы термической и (или) химико-термической обработки, обеспечивающие требуемые свойства изделия с учетом условий его эксплуатации согласно п.4.

Обосновать выбор термических операций, описать влияние нагрева и охлаждения на превращения, на фазовый состав, величину зерна и свойства; представить схемы микроструктур при разной температуре

Режимы термообработки представить в виде графиков в координатах температура-время.

*11 Разработать технологическую карту термической обработки стали.

12 Графическую часть представить в объеме 4 листов формата А4:

- а) чертеж или эскиз детали;
- б) графики влияния легирующих элементов на свойства сталей;
- в) процессы термообработки в графиках;
- г) схемы получения заготовки.

4 ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО, ШТАМПОВОГО И МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

4.1 Общая характеристика

Инструментальные стали - это большая группа сталей, которые обладают высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и теплостойкостью, необходимых для обработки материалов резанием или давлением.

*Для студентов специальности 0901.01 «Прикладное материаловедение»

По назначению инструментальные стали подразделяют на три группы:

- стали для режущего инструмента;
- для изготовления штампов холодного и горячего деформирования;
- для изготовления мерительного инструмента.

В данной работе предлагается рассмотреть стали всех трех групп.

1 Группа 1. Стали для режущих инструментов

Отличительной особенностью этих сталей в эксплуатации являются:

а) очень высокие контактные напряжения (до 5000 МПа) и удельные давления в рабочей кромке, необходимые для деформирования или разрушения (резания) обрабатываемого материала;

б) повышенные напряжения, главным образом, изгиба и кручения, особенно значительные в инструментах малого сечения и сложной формы;

в) тепловые воздействия, которые испытывает рабочая кромка инструмента при трении о тело обрабатываемой детали.

Стали для режущего инструмента подразделяют на не теплоустойчивые, полутеплоустойчивые и теплоустойчивые.

1.1 Нетеплоустойчивыми могут быть как углеродистые, так и низколегированные стали, которые содержат до 1-5% легирующих элементов. После термообработки стали приобретают высокую твердость (при небольшом или среднем значении прокаливаемости), которая сохраняется при относительно невысоком нагреве режущей кромки (200-250°C).

К группе углеродистых сталей относят стали: У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А, У12, У12А, У13, У13А.

Стали как доэвтектоидные, так и заэвтектоидные после закалики имеют высокую твердость 62-64 HRC, но сохраняют ее при нагреве не выше температур 175-250°C.

При нагреве под закалку углеродистые стали склонны к росту зерна. В структуре закаленных нетеплоустойчивых сталей после закалики присутствует до 10-15% остаточного аустенита, большая часть которого остается и после отпуска.

К недостаткам углеродистых сталей этой группы относится также пониженная устойчивость аустенита в перлитной области, что требует более резкой охлаждающей среды при закалке на мартенсит. Применение для охлаждения воды и водных растворов нередко приводит к деформациям и трещинообразованию. Во избежание последних высокоуглеродистые стали закаливают через воду в масле. Углеродистые стали чувствительны к перегреву.

При твердости 61-63 HRC предел прочности при изгибе этих сталей не превышает 2000-2700 МПа; при сжатии 3800-4000 МПа.

Однако стали обладают некоторыми преимуществами:

1 Имеют более однородную структуру с мелкими и равномерно распределенными карбидами.

2 Хорошо обрабатываются после отжига резанием и пластической деформацией в холодном состоянии.

3 Подвергаются закалке с относительно низких температур, что не вызывает значительного роста зерна и обезуглероживания.

4 В связи с **низкой прокаливаемостью** имеется возможность на изделиях, изготовленных из этих сталей, получить при закалке высокую твердость на поверхности и сохранить вязкую сердцевину.

Низколегированные стали этой группы сохраняют преимущества углеродистых сталей, но уменьшают их недостатки. В основном эти стали содержат из легирующих элементов ванадий, хром, марганец, кремний. Ванадий способствует сохранению мелкого зерна при нагреве под закалку; хром - более равномерному распределению карбидов, повышает закаливаемость и прокаливаемость; кремний повышает устойчивость против отпуска; марганец уменьшает деформацию инструмента. К ним относятся стали: 9ХФ, 11Х, В1, ХВ5, В2Ф, ШХ15, ХВГ, 9ХВГ, 9ХС, ХВСГ, 7ХГ2ВМ, 6ХВ2С и др.

В основном указанные стали закаливаются в масле.

1.2 Полутеплостойкие легированные стали этой группы сохраняют режущие свойства до температур 300-500°C. При отпуске 150-400°C в сталях этого типа выделяется легированный цементит, а при отпуске в интервале температур 450-500°C в сталях, содержащих более 3,0% Cr, образуются карбиды хрома. Эти стали обладают большей вязкостью, чем теплостойкие, и более пригодны для изготовления инструмента, работающего с динамическими нагрузками.

Основной легирующий элемент этих сталей - хром в количестве от 3 до 18%. Кроме того, стали легируют молибденом, вольфрамом и ванадием.

Стали с содержанием хрома 4-18% обладают высокой устойчивостью переохлажденного аустенита, сдвигают кривую начала аустенитного превращения вправо, следовательно, при закалке можно уменьшать скорость охлаждения. Такие стали хорошо принимают закалку в горячем масле и расплаве солей, некоторые - на воздухе, чем уменьшается деформация изделий.

Стали обладают высокими **закаливаемостью** и **прокаливаемостью**.

Но наряду с положительными качествами они имеют существенный недостаток - повышенную **карбидную неоднородность**. Она значительна у сталей с 1,2-2,2% С и 12% Cr и сообщает изделию анизотропию свойств по сечению. Эти же стали после закалки содержат до 50% остаточного аустенита.

Прочность при изгибе полутеплостойких сталей в зависимости от химического состава находится в пределах 2500-3400 МПа и при сжатии 4200-4500 МПа. Рабочая твердость HRC 62-64.

К полутеплостойким сталям относят следующие: X6B8, 9X5Ф, 9X5ВФ, 9X4B2МФ, X12, X12М, X12Ф1, 9X18, X19МФ, X14М, 7X4B2МФ, 5XНМ, 5XНСВ, 3X2B8, 4X5B2ФС и др.

1.3 Теплостойкие - это высоколегированные стали, содержащие в своем составе карбиды вольфрама, молибдена, ванадия - стали высокой твердости, называемые **быстрорежущими**. Использование этих сталей для изготовления режущего инструмента позволило увеличить скорость резания в 2-6 раз и повысить стойкость режущего инструмента в 10-30 раз по сравнению с инструментами из сталей, не обладающих теплостойкостью. Преимущества быстрорежущих сталей проявляются при резании с повышенной скоростью, т.е. в условиях нагрева рабочей кромки до температуры 600-650°C. **Стали высокой прокаливаемости** способны при отпуске к дисперсионному твердению, которое вызывается выделением мелкодисперсных карбидов вольфрама, молибдена в небольших количествах ванадия и интерметаллидов кобальта. У некоторых сталей сохраняется твердость 60 HRC при кратковременном нагреве до температуры 700-725°C.

После закалки в структуре всех сталей, указанных выше, присутствует до 50% остаточного аустенита. Обработка холодом и трехкратный отпуск снижают содержание остаточного аустенита до 3-5%. Твердость сталей после окончательной термической обработки находится в пределах 66-69 HRC; прочность при изгибе до 3000 МПа.

К группе теплостойких относят следующие марки сталей: P6M5, P6M5K5, P1MФ3, P9, P9M5K5, P9M4K8, P12, P12Ф3, P12Ф4K5, P12Ф2M3K8, P14, P14Ф4, P18, P18Ф2, P18Ф2K5 и др.

Эти стали принимают закалку при охлаждении в расплаве солей при 400-500°, в масле и на воздухе. Самая высокая теплостойкость при закалке в масле.

2 Группа 2 Стали для инструментов холодного и горячего деформирования

К этой группе относят стали для изготовления инструментов, изменяющих форму и размеры материала без снятия стружки, т.е., главным образом, штампы, пресс-формы и др. Эти многочисленные инструменты разнообразны по форме, размерам и напряженному состоянию, возникающему при их эксплуатации.

2.1 Штамповый инструмент для холодного деформирования должен обладать следующими свойствами:

а) твердостью и прочностью, значительно превышающих твердость и прочность деформируемого материала;

б) высокой износостойкостью, обеспечивающей сохранение основных рабочих параметров инструмента;

в) удовлетворительной вязкостью;

г) определенной прокаливаемостью; глубокой для вытяжных штампов, когда контактные напряжения достигают 2000-3000 МПа и более низкой - для штампов, работающих при динамических нагрузках;

д) минимальными объемными изменениями при закалке штампов сложной формы.

К этой группе относят стали как углеродистые, так и низколегированные высокоуглеродистые, а именно: У10А, У11А, У12А, ХГ, ХВГ, 9ХС, Х12М, Х12Ф1, 6ХВ2С, Х6ВФ и др.

Твердость штампов холодного деформирования в зависимости от выбранных марок сталей, рекомендуется 58-62 HRC и 62-64 HRC, что достигается закалкой и низким отпуском.

2.2 Инструмент для горячего деформирования, работающий в условиях переменного нагрева и охлаждения, должен обладать следующими важными свойствами, определяющими работоспособность инструмента:

а) высоким сопротивлением пластической деформации, превышающим аналогичные свойства обрабатываемого материала и обеспечивающим не только возможность деформирования, но и сохранение неизменными точные размеры и формы штампа;

б) высокой теплостойкостью, обеспечивающей сохранение требуемых механических свойств и износостойкости при повышенных рабочих температурах (без снижения твердости);

г) высокой разгаростойкостью, т.е. сопротивлением термической усталости, вызываемой попеременным нагревом и охлаждением рабочей поверхности; Разгаростойкость тем выше, чем ниже содержание в стали углерода и вольфрама, чем ниже твердость стали и выше температуры критических точек сталей. Вместе с тем при излишне низких содержаниях углерода и твердости резко снижаются характеристики прочности;

д) высокой прокаливаемостью должны обладать стали, применяющиеся для изготовления крупных штампов, испытывающих и ударные, и изгибочные напряжения;

е) важно, чтобы сталь не была склонна к обратимой отпускной хрупкости, т.к. быстрым охлаждением крупных штампов ее устранить нельзя.

Стали, применяемые для изготовления инструментов для горячего деформирования, обычно содержат хром, вольфрам, ванадий, молибден, кремний, никель, комплексное легирование, которое обеспечивает указанные выше свойства.

К сталям этого раздела относят следующие: 5XHM, 5XHT, 5XHB, 5XGM, 3X2B8, 3XB8Ф, 4X2B5ФМ, 4X5B4ФМС и др.

После закалки инструмент подвергают отпуску на рабочую твердость HRC 35-45 или HRC 45-50, что соответствует структуре троостит или троостомартенсит.

В таблицах 1-9 представлен выбор материала деталей по назначению термообработки и свойств материалов.

Группа 3 Стали для мерительного инструмента

Стали для мерительного инструмента должны обеспечивать постоянство геометрических параметров изделия в течение длительного времени, высокие твердость и износостойкость; должны обладать небольшим коэффициентом теплового расширения.

Обычно применяют высокоуглеродистые хромистые стали типа X, XГ, ХВГ, 9ХС, обрабатываемые на высокую твердость (HRC 60-64).

К дополнительным требованиям относятся возможность получения низкой шероховатости поверхности и малой деформации при термической обработке.

В отличие от режущих и штамповых инструментов термическая обработка проводится таким образом, чтобы затруднить процесс последующего старения, который происходит в закаленной стали и вызывает объемные изменения, недопустимые для измерительных инструментов.

Причинами старения служат частичный распад мартенсита при превращении остаточного аустенита и релаксация внутренних напряжений, вызывающая пластическую деформацию.

Для уменьшения остаточного аустенита закалку необходимо производить с более низких температур.

Кроме того, инструменты высокой точности подвергают обработке холодом при температуре $-50 - -80^{\circ}\text{C}$. Отпуск проводят при $120-140^{\circ}\text{C}$ в течение 12-60 часов.

Второй режим, рекомендуемый практикой: неоднократное чередование обработки холодом и кратковременного отпуска (циклическая обработка).

Плоские инструменты: скобы, шаблоны, линейки и т.д. изготавливают из листовых сталей 15, 20, 20Х, 12ХНЗА, подвергаемых цементации иногда закаливаемых с нагрева ТВЧ.

Инструменты сложной формы рекомендуется изготавливать из стали 38Х2МЮА с последующим азотированием.

После доводки рекомендуется для снятия наклепа проводить искусственное старение инструментов при 100⁰С в течение 8-16 ч.

5 ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

5.1 Критерии работоспособности зубчатых колес

Зубчатые колеса относятся к одним из наиболее распространенных и сложных в конструктивном и технологическом отношении деталей машин. Их функциональное назначение - передача крутящего момента.

При передаче крутящего момента в зацеплении действуют нормальная сила и сила трения, обусловленная скольжением профилей зубьев. Под действием этих сил каждый зуб находится в сложном напряженном состоянии.

На работоспособность зуба решающее влияние оказывают контактные напряжения и напряжения изгиба у основания зуба, которые изменяются во времени по пульсирующему закону.

Важный компонент силового режима зубьев колес, увеличивающий напряжения, - дополнительная динамическая нагрузка. Она возникает из-за погрешности их изготовления и сборки, а также из-за изнашивания профилей зубьев и тем выше, чем ниже точность изготовления колес и больше скорость вращения.

Контактные напряжения и сила трения являются причиной повреждения рабочих поверхностей зубьев: усталостного выкрашивания (питтинга), изнашивания и заедания. Напряжения изгиба являются причиной усталостного разрушения (поломки) зубьев.

Обеспечение работоспособности зубчатых колес связано с предупреждением повреждений зубьев и их поломок. Основными критериями работоспособности являются: контактная выносливость, выносливость при изгибе, стойкость к изнашиванию и заеданию.

5.1.1 Контактная выносливость - способность материала противостоять развитию усталостного выкрашивания, которое является основным видом поверхностного разрушения зубьев. Оно

характерно для большинства закрытых, хорошо смазываемых передач.

Выкрашивание возникает и развивается на ножках зубьев. Разрушение начинается с образования в приповерхностном слое микротрещин усталости. После выхода трещин на поверхность их развитие существенно ускоряется расклинивающим действием смазки. Углубление трещины заканчивается откалыванием кусочков металла и образованием ямок. Ямки постепенно расширяются и превращаются в раковины. Раковины искажают профиль зубьев, нарушают нормальную работу зацепления (усиливается динамическая нагрузка, возникает опасность поломки зубьев).

Повышение контактной выносливости основано на увеличении сопротивления поверхностного слоя зубьев развитию пластической деформации и его твердости.

5.1.2 Выносливость зубьев при изгибе - способность материала противостоять усталостной поломке зуба. Трещина усталости, как правило, возникает у основания зуба и постепенно распространяется в тело зуба.

К снижению прочности зуба при изгибе приводят остаточные напряжения растяжения, образующиеся при шлифовании впадины. Отрицательное влияние оказывают риски, царапины и другие концентраторы напряжений.

5.1.3 Сопротивление изнашиванию зубьев. Изнашивание возникает, главным образом, при отсутствии или плохой смазке. Если толщина масляного слоя меньше высоты микронеровностей, то происходит непосредственное соприкосновение отдельных участков поверхностей зубьев и их изнашивание под воздействием сил трения. Скорость изнашивания растет с увеличением давления, скорости скольжения, шероховатости поверхности и снижения ее твердости. Особенно значительна скорость изнашивания в открытых передачах, а также закрытых, но недостаточно защищенных от попадания абразивных частиц. Интенсивное изнашивание вызывает искажение профиля зуба, существенное ослабление его ножки, увеличение вероятности поломки зуба.

Основные меры предупреждения изнашивания - повышение твердости и снижение шероховатости поверхности.

5.1.4 Сопротивление заеданию. Заедание - адгезионное изнашивание - заключается в развитии интенсивного схватывания чистых от масляных и оксидных пленок отдельных участков контактирующих поверхностей. Адгезионное разрушение сопровождается вырыванием частиц металла с их переносом на поверхность сопряженного зуба. Вырванные частицы повторно схватываются, бороздят трущиеся поверхности и вызывают их быстрое и интенсивное разрушение.

Заеданию наиболее подвержены незакаленные поверхности. Из-за низкой твердости подложки защитные окисные пленки под влиянием высоких давлений легко разрушаются, обнажая чистые участки металла. Металл нагревается. Закаленные поверхности под влиянием нагрева отпускаются и разупрочняются. Поэтому для высоконагруженных и высокоскоростных передач требуется применять для изготовления зубчатых колес теплостойкие стали.

Основные меры предупреждения заедания - применение теплостойких сталей с высокой твердостью поверхности.

5.2 Материалы, применяемые для зубчатых колес, их термическая и химико-термическая обработка (ХТО)

Наиболее высокую работоспособность зубчатых колес обеспечивают стали, которые являются основным материалом для их изготовления. Реже применяют чугуны, бронзы и пластмассы.

При выборе марки стали необходимо учитывать, что работоспособность зубчатых колес растет с увеличением твердости поверхности, особенно по основному критерию - контактной выносливости. Увеличение твердости сопровождается повышением допустимых напряжений, снижением габаритов деталей и в целом массы передачи.

В зависимости от твердости поверхности шестерен применяемые стали делятся на две группы:

а) без упрочненного поверхностного слоя, с одинаковой твердостью по сечению зуба (HRC 35 - 45);

б) с упрочненным поверхностным слоем (HRC 58 - 63) и вязкой сердцевиной (HRC 30-42).

Первую группу образуют среднеуглеродистые улучшаемые и нормализованные стали с содержанием углерода до 0,50%: 40, 45, 50, 40X, 45X, 40XH, 35XГСА, 40XФА, 35ХМА, БСт5, БСт6 и др. Они значительно уступают сталям второй группы по нагрузочной способности, но превосходят их по технологичности. Кроме того, они не подвержены хрупкому разрушению при динамических нагрузках.

Улучшаемые стали применяют для мало- и средненагруженных передач при отсутствии жестких требований к их габаритам.

Стали, используемые в нормализованном состоянии, преимущественно применяют для колес во вспомогательных механизмах, например, в механизмах ручного управления.

Вторую группу образуют низкоуглеродистые стали (до 0,3%С), подвергаемые цементации, нитроцементации, азотированию и среднеуглеродистые (до 0,5%С) упрочняемые поверхностной закалкой.

Однако эти стали более сложны в технологическом отношении, поскольку требуют нарезания зубьев до термической обработки. Термическая обработка вызывает значительные изменения размеров деталей, коробления зубьев, для устранения которых необходимы дополнительные операции механической обработки (шлифование, притирка, обкатка и др.). Стали этой группы преимущественно используют в условиях крупносерийного и массового производства.

Стали, применяемые с упрочнением поверхности деталей цементацией и нитроцементацией, обеспечивают наиболее высокую контактную выносливость, а также прочность зубьев при изгибе и сопротивлению заеданию. Их применяют для изделий, в которых масса и габариты передач имеют решающее значение. Это стали: 10, 15, 20, 15XФ, 20X, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 18ХНВА, 20ХНЗА, 18Х2Н4ВА, 20ХНР, АС14ХГН, АС20ХГНМ и др.

Работоспособность таких зубчатых колес зависит от свойств диффузионного слоя и сердцевины. Свойства диффузионного слоя определяются содержанием в нем углерода или углерода + азота; наличием в поверхностных слоях количества цементита, остаточ-

ного аустенита, а при нитроцементации - карбонитридов, содержащихся в мартенсите.

Легирующие элементы оказывают косвенное влияние, изменяя в слое содержание углерода, образуя карбиды или карбонитриды (Cr, W, Mo, V, Ti и др.). Их присутствие благоприятно сказывается также и на интенсивность науглероживания. Некарбидообразующие элементы (Ni, Si, B и др.) наоборот снижают степень науглероживания, чем уменьшают охрупчивание стали, повышая значения ее ударной вязкости, понижая порог хладноломкости.

Твердость поверхности этих сталей на готовом изделии составляет HRC 58 - 63.

При постоянной твердости поверхности контактная выносливость растет с увеличением толщины упрочненного слоя и твердости сердцевины.

Толщина цементованного или нитроцементованного слоя принимается равной 0,1-0,15 мм толщины зуба, или $(0,28m - 0,007m) + 0,2$ мм, но не более 2,0 мм. Твердость сердцевины HRC 30 - 42.

Если твердость сердцевины недостаточна, возможно продавливание упрочненного слоя. Излишне высокая твердость (>42 HRC) увеличивает опасность хрупкого разрушения зубьев от напряжений изгиба. Прочность зубьев на изгиб растет по мере увеличения прочности сердцевины; достигает максимума при σ_B 1290-1400 МПа и снижения шероховатости поверхности у основания зуба, а также формирования остаточных напряжений сжатия.

При высоких динамических нагрузках важное значение приобретает сохранение высокой вязкости сердцевины. Это свойство в наибольшей степени присуще низкоуглеродистым сталям, содержащим никель.

Для повышения остаточных напряжений сжатия у основания зуба до 1200-1500 МПа окончательно обработанные механически зубчатые колеса можно подвергать поверхностному упрочнению пластическим деформированием: обдувкой дробью, обкаткой, роликом и др.

Цементуемые и нитроцементуемые стали еще можно подразделить по другим признакам:

1) **теплостойкие** сложнолегированные стали, сохраняющие высокую твердость поверхности при нагреве до 300°C;

2) **хромоникелевые** стали, обладающие высокой прокаливаемостью, прочностью и вязкостью сердцевины, противостоящие ударным нагрузкам.

Стали обеих групп применяют для крупных (\varnothing 150-160 мм) зубчатых колес соответственного назначения.

К недостаткам этих сталей относятся высокая стоимость и сложный цикл химико-термической обработки, который включает цементацию, высокий отпуск, сложную закалку, обработку холодом, низкий отпуск. Химико-термическая обработка вызывает значительную деформацию колес.

Для изготовления колес 5-6-й степеней точности необходимо зубошлифование, что усложняет технологию их изготовления.

3) **к третьей группе** условно относят **безникелевые** экономно легированные стали 18ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР и др., которые применяют в условиях массового производства, например, в автомобилестроении, в агрегатах и аппаратах химического, пищевого и холодильного машиностроения. Они дешевле хромоникелевых и обрабатываются по более упрощенной технологии.

Зубчатые колеса из этих сталей подвергают чаще всего нитроцементации. В отличие от цементации этим процессом можно получить слои высокой несущей способности, меньшей толщины (0,6-1,0 мм), что позволяет сократить длительность обработки на несколько часов. Кроме того, нитроцементация проводится при более низкой температуре, сочетается с подстуживанием и непосредственной закалкой. Колеса меньше деформируются. Колеса 7-8-й степеней точности обычно не шлифуются. Указанные безникелевые хромистые стали образуют подгруппу дешевых цементуемых сталей, но уступающих по прочности сталям вышеперечисленных групп, из-за невысокой прокаливаемости. Эти стали применяют для изготовления мелких и средних зубчатых колес сельскохозяйственных машин и приборов.

Для изготовления зубчатых колес на станках-автоматах используют **автоматные стали**, которые содержат 0,15-0,35% Pв, благодаря чему хорошо обрабатываются резанием.

4) к четвертой группе можно отнести азотируемые легированные стали.

Легированные стали с содержанием алюминия и молибдена обладают после азотирования наиболее высокими твердостью поверхности (~ HV 1200) и износостойкостью. Кроме того, азотированный слой имеет высокую теплостойкость (до 500°C), поэтому наиболее стоек к заеданию. Слой обладает высокими антикоррозионными свойствами. Шестерни могут длительно, без разъедания работать в слабых кислотных и щелочных средах.

Недостатки этого процесса - малая толщина диффузионного слоя (~ 0,3 мм) и длительность процесса (40-80 ч). Тонкие диффузионные слои не позволяют применять азотирование на колесах с высокими контактными нагрузками из-за опасности его продавливания. По этой же причине азотированные стали чувствительны к ударным нагрузкам.

Износостойкость азотированных деталей в 2-3 раза выше цементованных.

Важное технологическое преимущество азотирования - минимальное коробление; процесс считают практически бездеформационным. Зубчатые колеса 6-7-й степеней точности изготавливают без шлифовки по зубу. Технологический процесс изготовления азотированных деталей осуществляется по следующей схеме:

1 Термоулучшение (закалка + высокий отпуск) для упрочнения сердцевины, получения микроструктуры сорбит и твердости HRC 28 - 32 по всему сечению детали.

2 Механическая обработка, в т.ч. нарезание зубьев с размерами в пределах допуска на изготовление.

3 Азотирование.

5) Стали для поверхностной закалки с индукционного нагрева составляют две особые группы. Для них проводятся закалка по контуру зубьев на твердость поверхности HRC 50-55.

1) **Первую подгруппу** образуют среднеуглеродистые стали 40, 45, 40X, 40XH, 45XH, 35XMA и др. Зубья колес из этих сталей нагревают токами высокой частоты в индукторе. Глубина проникновения тока зависит от его частоты и она же обеспечивает толщину закаленного слоя до 3-5 мм. При интенсивном охлаждении

закалку воспринимают только те поверхностные слои, которые нагреваются выше критических точек стали. Сердцевина из-за недогрева остается незакаленной (HRC 20 - 30). Структура слоя из-за высокой скорости нагрева характеризуется мелким строением, что снижает хрупкость слоя. Для ответственных изделий перед закалкой с нагревом ТВЧ заготовку подвергают термоулучшению на сорбит.

2) **Вторую подгруппу** составляют стали пониженной прокаливаемости: 55ПП, 110ПП и др.

Зубья колес из этих сталей подвергают сквозному (глубинному) индукционному нагреву до температуры выше критических точек. Однако закалку воспринимают только поверхностные слои толщиной 1,0-3,0 мм. Обусловлено это низкой прокаливаемостью этих сталей из-за ограничения в них примесей хрома, марганца, кремния. Стали сравнительно дешевы, обеспечивают высокую работоспособность зубчатых колес и широко применяются взамен цементуемых сталей.

Основная область их применения - средненагруженные зубчатые колеса малых и средних размеров, используемых в автомобиле- и станкостроении.

Вследствие небольшой прокаливаемости деформации колес из этих сталей при закалке незначительные; зубчатые колеса 7-8-й степеней точности после закалки не шлифуют.

Иногда для изготовления зубчатых колес применяют **чугуны**. По прочности, особенно по ударной вязкости, чугуны значительно уступают сталям, что компенсируется увеличением размеров колес. Для изготовления колес используют серые чугуны СЧ25, СЧ20, СЧ30, СЧ35, СЧ40; высокопрочные чугуны ВЧ45-5, ВЧ50-2 и др.

6 **Для изготовления деталей передаточных механизмов можно применять пластмассы** (текстолит, капрон и др.) применяют для колес, работающих на малых скоростях и при малых ударных нагрузках. Их используют для привода спидометров, киноаппаратов, текстильных машин. Достоинства таких колес - отсутствие вибрации и шума, высокая вибро- и коррозионная стойкость в агрессивных средах, низкий коэффициент трения.

7 Для изготовления небольших колес, работающих в некоторых агрессивных средах, могут использоваться **сплавы меди**: оловянистые и алюминиевые бронзы, например БрКЦ 4-4, БрОЦС 5-5-5, БрО 10, БрОЦСН 3-7-5-1, БрА7, БрАЖН 10-4-4.

Преимущество их состоит в том, что колеса можно получать литьем. Эти сплавы обладают высокой жидкотекучестью и концентрированной усадочной раковинной, которую легко вывести в прибыль.

6 ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ И ДРУГИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, АГРЕГАТОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Используемые в технике детали и конструкции весьма разнообразны по форме, размерам, воспринимаемым нагрузкам, рабочим средам и температурам, поэтому грамотный выбор материала для их изготовления является сложной задачей, однозначное решение которой далеко не всегда возможно.

Основные критерии выбора материалов, в том числе и конструкционных, вытекают из тех требований, которые к ним предъявляются. Должны быть обеспечены эксплуатационные характеристики, определяющие работоспособность деталей в конкретных условиях эксплуатации, технологические, определяющие возможность изготовления деталей или конструкций, и экономические.

6.1 Факторы конструкционной прочности

Под конструкционной прочностью понимают комплекс тех механических характеристик материала, которые обеспечивают надежную и длительную работу материала в условиях эксплуатации. Это комплексная характеристика материала: критерии прочности, надежности и долговечности, которые зависят от конкретных условий нагружения и эксплуатации деталей.

Например, если материал предназначен для изготовления длинного вала, то его работоспособность будет определяться жесткостью, зависящей от модуля упругости и размера, а характеристи-

ки прочности не будут являться определяющими. Работоспособность относительно коротких валов определяется чаще всего пределом усталости в местах концентраторов напряжений.

Шпильки предохранительных муфт работают на срез, и именно $\tau_{ср}$ будут определять в первую очередь их конструкционную прочность.

Работоспособность кулачковых распределительных валиков зависит главным образом от износостойкости и контактной выносливости трущихся поверхностей, а деталей, работающих в коррозионных средах, - от их коррозионной стойкости под напряжением и т.д.

Механических характеристик сплавов, регламентируемых ГОСТами, очень часто бывает недостаточно для характеристики конструкционной прочности, так как она определяется на небольших гладких образцах и не учитывает характера напряженного состояния, размеров деталей, условий работы (среда, температура и т.д.). Характеристики твердости и прочности (НВ, σ_b, σ_T), регламентируемые ГОСТами, часто используют для вычисления других характеристик, например, $\sigma_{-1}, \sigma_{н/имв}$ (контактной выносливости) с помощью эмпирических установленных корреляций между ними. Например, при $\sigma_b = 1200$ МПа коэффициент выносливости $K_\sigma = \frac{\sigma - \sigma_{-1}}{\sigma_b} = 0,5$; для высокопрочных сталей с мартенситной структурой $K_b = 0,30$. У цветных металлов - 0,35, в алюминиевых сплавах еще меньше.

Установлены зависимости сопротивления усталости от вида напряженного состояния. Так, для сталей пределы выносливости при растяжении-сжатии, изгибе и кручении подчиняются соотношению $\sigma_{-1p}:\sigma_{-1}:\tau_{-1}=1,0:1,5:0,8$. Соотношение пределов выносливости для чугунов следующее:

- серый чугун $\sigma_{-1p}:\sigma_{-1}:\tau_{-1}=1,0:2,0:1,5$;
- ковкий чугун $\sigma_{-1p}:\sigma_{-01}:\tau_{-1}=1,0:1,7:1,7$.

6.2 Критерий прочности и жесткости

Важными характеристиками материалов, идущих на изготовление деталей и конструкций, работоспособность которых определяется жесткостью строительных ферм, корпусных изделий, ходовых винтов станков, штоков, валов с большим отношением длины к диаметру и т.д., являются модули упругости. Величина модулей упругости мало меняется при термической обработке и легировании. Поэтому при выборе материала для деталей, рассчитываемых на жесткость, в первом приближении можно пользоваться значением модулей упругости основного элемента сплава (табл.1).

Таблица 1

Элемент	Fe	Cu	Al	Mg	Ti	W
E, ГПа	210	110	70	44	110	400
ρ , кг/м ³ ·10 ⁻³	7,8	8,9	2,7	1,7	4,5	19,3

Модули упругости характеризуются силами межатомной связи и определяют теоретическую прочность материалов:

$$\sigma_{теор} = \sqrt{\frac{E \cdot \gamma}{a}},$$

где E - предел упругости;

a - расстояние между атомными плоскостями;

$\sigma_{теор}$ - теоретическая прочность.

Пределы прочности и текучести (σ_B , σ_T)

Данные характеристики относительно редко определяют конструкционную прочность. Статическая несущая способность пластичных материалов определяется по пределу текучести (σ_T), а деталей из малопластичных - по пределу прочности (σ_B). Предел прочности и предел текучести сталей зависят от содержания углерода и легирующих элементов, причем больше влияет углерод. Так, увеличение углерода от 0,08% до 0,8% в нормализованном состоянии сталей приводит к повышению прочности (σ_B) от 300 до 1200 МПа и, кроме того, увеличивает способность упрочняться термической обработкой, т.к. σ_B и σ_T структурно-

зависимые характеристики. Например, прочность легированных конструкционных высокопрочных сталей 30ХГСНА, 40ХГСЗА, 40Х2НГСМФА и др. достигает 1800-2000 МПа, но при низкой пластичности. Все материалы характеризуются также **удельной прочностью** $(\frac{\sigma_a}{\rho \cdot \gamma})$ и **жесткостью** $(\frac{E}{\rho \cdot \gamma})$. Материалы с высокой удельной прочностью и жесткостью используются прежде всего в авиационной и космической технике.

Пределы выносливости являются основными характеристиками конструкционной прочности очень многих деталей машин, т.к. усталостное разрушение является причиной выхода из строя большинства валов, зубчатых колес, подшипников качения, многих крепежных деталей, сосудов под давлением и т.д.

Усталостным называется разрушение материала в условиях многократно повторяющихся циклов напряжений. Свойство материала сопротивляться усталостному разрушению называется **выносливостью**.

Отличительной особенностью усталостного разрушения является то, что разрушение начинается на поверхности или вблизи поверхности детали. Поэтому структурное состояние поверхности, ее чистота, наличие внешних и внутренних концентраторов напряжений (K_σ), характер напряженного состояния, коррозионная активность рабочей среды оказывают определяющее влияние на предел выносливости. На предел выносливости оказывает влияние также масштабный фактор ($\varepsilon_B, \varepsilon_T$):

$$\varepsilon_\sigma = \frac{(\sigma_\sigma)_D}{(\sigma_\sigma)_{10}}; \quad \varepsilon_T = \frac{(\sigma_T)_D}{(\sigma_T)_{10}},$$

где D - диаметр заготовки, мм.

Например, для чугуна увеличение диаметра заготовки от 10 до 100 мм снижает предел прочности в 2 раза ($\varepsilon_B=0,5$). У сталей снижение прочности с увеличением размеров заготовки меньше, но наблюдается четкая зависимость: чем выше прочность сталей, тем меньше ε_B и ε_T .

Итак, коэффициент концентрации напряжений (K_σ)_D можно вычислить по формуле

$$(K_{\sigma})_D = \left(\frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\beta_{УПР}},$$

где β - коэффициент, учитывающий чистоту поверхности (в коррозионных средах заменяется на $\beta_{кор}$);

$\beta_{УПР}$ - коэффициент, учитывающий упрочнение поверхности.

Значения соответствующих коэффициентов приводятся в справочниках.

Использование для изготовления деталей легированных сталей оправдывается лишь в том случае, если приняты соответствующие меры по уменьшению коэффициента концентрации $(K_{\sigma})_D$.

Коррозионные среды оказывают решающее влияние на выбор материала деталей, подвергающихся усталостному разрушению. Наклеп, поверхностная закалка вызывают растягивающие поверхностные напряжения - уменьшают **коррозионную усталость**. Покрытия металлами Zn, Cr, Ni увеличивают. Легирование сталей Cr также увеличивает коррозионную выносливость. Лучшей стойкостью обладают аустенитные нержавеющие стали с Ni, Mo, Ti.

Существенное повышение **циклической прочности** сталей в обычных условиях достигается за счет поверхностного упрочнения: поверхностной заковки, всех видов ХТО и поверхностным пластическим деформированием. Повышение контактной выносливости достигается увеличением поверхностной твердости.

6.3 Критерий надежности

Надежность характеризуется вероятностью безотказной работы материала при эксплуатации.

Эксплуатационные отказы делятся на постепенные и внезапные.

Постепенные отказы вызываются чрезмерным износом, усталостным разрушением, пластической деформацией при ползучести и т.д. Путь борьбы с постепенным отказом - правильный инженерный расчет, предусматривающий создание запаса прочности.

Внезапные отказы - следствие хрупкого разрушения материала, поэтому конструкционные материалы должны обладать достаточной вязкостью (K_{CU}) и пластичностью (δ, ψ). Необходимо также учитывать так называемую **трещиностойкость**. Трещиностойкость - это группа параметров, характеризующая способность материала тормозить развитие трещины. Наиболее часто из них используется критерий Ирвина (K_{Ii}), который определяет напряжение внутри вершины трещины. Трещиностойкость пластичных, высокопрочных и хрупких материалов различна из-за различной подвижности дислокаций в них.

В вязких материалах у вершины трещины в результате перемещения дислокаций протекает местная пластическая деформация - металл упрочняется накоплением дислокаций впереди трещины, развитие ее эффективно тормозится - трещиностойкость повышается.

В хрупких материалах дислокации заблокированы, местная пластическая деформация и упрочнение материала в устье трещины невозможны - трещина развивается, вызывая хрупкое разрушение.

В высокопрочных материалах дислокации обладают некоторой подвижностью, достаточной для торможения развития мелких трещин местной пластической деформацией в их вершинах, поэтому для них опасны трещины критической длины.

При использовании высокопрочных сплавов необходима дефектоскопия, позволяющая определять наличие или отсутствие в них трещин и их размер.

Для сталей и сплавов, в которых основная фаза имеет ОЦК-решетку, важной характеристикой надежности является **порог хладноломкости** (T_{50}). При понижении температуры в таких сплавах ударная вязкость резко уменьшается в связи с переходом от вязкого к хрупкому состоянию. T_{50} - это температура, при которой работа по распространению трещины уменьшается наполовину. Чем больше **температурный запас** вязкости $T_{раб} - T_{50}$, тем надежнее сталь в эксплуатации. **Снижению** T_{50} способствует измельчение зерна, легирование сталей никелем, термообработка. **Повышению**

- увеличение содержания углерода, фосфора, марганца, увеличение скорости нагружения.

Аустенитные стали и сплавы, сплавы на основе меди и алюминия, имеющие основные фазы с ГЦК-решеткой, **не имеют порога хладноломкости**. Поэтому они способны работать при низких температурах.

6.4 Критерии долговечности

Долговечность - это способность материала в течение заданного времени сохранять работоспособность. Критерии работоспособности зависят от условий эксплуатации.

При циклическом нагружении долговечность определяется числом циклов до разрушения и зависит от принятого предела ограниченной выносливости.

Неограниченная долговечность возможна при нагрузках ниже предела неограниченной выносливости сталей в среде, не вызывающей коррозионного разрушения.

Долговечность материала в условиях трения определяется износостойкостью - **сопротивлением изнашиванию**. Износ - результат работы сил трения. Его величина определяется величиной коэффициента трения f . Для его уменьшения необходимо свести к минимуму пластическую деформацию и обеспечить совместимость трущихся пар, т.е. исключить схватывание и образование задира.

Наиболее распространенные виды износа: абразивный, контактное изнашивание в условиях трения качения и износ пар трения-скольжения.

Изнашивание в условиях абразивного износа зависит от сопротивления материала пластическим деформациям и уменьшается с увеличением его твердости. Поэтому наибольшей износостойкостью обладают спеченные и наплавочные твердые сплавы (ВК2, ВК8, Т15К6, Т17К12 и др.).

Высоким сопротивлением контактному изнашиванию обладают те стали, которые имеют высокий предел контактной выносливости.

Для изготовления вкладышей подшипников скольжения используют чугуны (для малых скоростей скольжения) и главным образом цветные сплавы: бронзы, латуни, баббиты.

Работоспособность подшипников скольжения во многом зависит от чистоты поверхности и твердости вала.

Для быстроходных валов, работающих в подшипниках скольжения, чаще всего используют цементуемые малоуглеродистые стали.

Долговечность деталей, рассчитанных на длительный срок службы **при высокой температуре**, зависит от скорости ползучести и **определяется пределом ползучести**.

Долговечность изделий при высоких температурах определяется также их **жаростойкостью**, т.е. способностью сопротивляться коррозии в атмосфере сухих газов при нагреве.

Жаростойкость сталей достигается ее легированием Cr, Al, Si и другими элементами.

Коррозионная стойкость часто является основным критерием при выборе материала изделия, работающего в агрессивной среде.

Так, для изготовления подшипников, устойчивых против действия воды, пара и т.д. применяют сталь 95X18, вместо ШХ15, пружины для агрессивных сред выполняют из стали 40X13 вместо пружинно-рессорных сталей и т.д.

Высокая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, в пресной и морской воде, в горячем паре у изделий из сплавов на медной основе, но она значительно выше у титановых сплавов, а именно в 50-100 раз выше, чем у нержавеющей сталей.

6.5 Экономичность

Выбирая материал для деталей, особенно при массовом производстве, следует оценивать стоимость и самого материала, и изготовления детали, а также дефицитность этого материала. Среди сталей наиболее дефицитными являются стали, содержащие Ni, W, Mo, поэтому использование их возможно в особо ответственных случаях при жестких требованиях к массе, прочности и надежности изделия.

6.6 Способы повышения конструкционной прочности

1 При равной прочности более чистые сплавы обладают более высоким сопротивлением хрупкому разрушению. Следовательно, более низким порогом хладноломкости, т.е. обеспечивают большую надежность. Поэтому удаление неметаллических включений (S, P и газообразных примесей), т.е. повышение металлургического качества, всегда приводит к повышению конструкционной прочности сталей и сплавов.

2 Применение легированных конструкционных сталей. Легирующие элементы повышают эффективность термической обработки, закаливаемость и прокаливаемость. Благодаря меньшей критической скорости закалки легированные стали закаливаются в масле, при этом возникает меньше закалочных напряжений, меньше деформаций и коробления деталей.

Леггирующие элементы повышают весь комплекс механических характеристик конструкционной прочности: σ_b , σ_T , σ_{-1} , δ , КСЧ, жаропрочность, коррозионно- и жаростойкость.

3 Несущая способность большей части деталей определяется, в первую очередь, состоянием поверхностных слоев, так как разрушение начинается именно с поверхности.

Для повышения усталостной выносливости, коррозионной усталости, износостойкости следует повышать твердость поверхности, что достигается поверхностной закалкой, химико-термической обработкой, пластической деформацией для создания на поверхности деталей остаточных напряжений сжатия.

Сравнительную оценку характеристик конструкционной прочности, технологичности, стоимости изготовления следует проводить, руководствуясь таблицами 2-3.

Таблица 2

Вид поверхностного упрочнения	σ_b сердцевины, МПа	Коэффициент упрочнения, $\beta_{\text{впр}}$		
		$K_{\sigma}=1$	$K_{\sigma}=1-1,5$	$K_{\sigma}=1,5-2$
Закалка ТВЧ	600-800	1,6-1,7	1,6-1,7	2,4-2,8
	800-1100	1,3-1,5	1,4-1,6	2,0-2,3
Цементация	400-600	1,8-2,0	2,5-3,0	2,5-3,0

	700-800	1,4-1,5	2,0-1,5	2,0-2,5
Азотирование	900-1200	1,1-1,25	1,5-1,7	1,7-2,1
	600-1500	1,1-1,25	1,5-1,6	1,7-2,1
Накатка роликом	-	1,1-1,3	1,3-1,5	1,6-2,0

Таблица 3

Материал вала	σ_b , МПа	Минимальная усталостная прочность, МПа
Низколегированный серый чугун СЧ35	350	5,9
Высокопрочный чугун ВЧ80-2	600	8,1
Сталь 30ХГТ	1200	8,2

Справочные материалы по выбору сталей для изготовления деталей машин представлены в табл. 4-12.

Таблица 4– Выбор материалов и способов повышения эксплуатационных свойств
для деталей машин

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Болты и шпильки резьбовых соединений, собираемых с предварительной натяжкой и нагружаемых силами, вызывающие переменные напряжения	Статические напряжения от предварительной затяжки и переменные напряжения от изменяющихся во время работы нагрузок	Стали углеродистые качественные марок от 10 до 45; стали конструкционные, хромистые марок 35X, 40X, 45X	Усталостные изломы, деформации	Повышение прочности, уменьшение концентрации напряжений, уменьшение жесткости болта, повышение класса чистоты поверхности резьбы болта, накатка резьбы болта роликами
Колеса зубчатых передач	Изгиб зубьев, деформация контактного сжатия и сдвига рабочей поверхности зубьев, трение и удары торцов зубьев зубчатых колес коробок передач при включении скорости	Стали конструкционные (для зубчатых передач, передающие большие мощности и работающие при высоких скоростях): углеродистые стали марок от 35 до 50; легированные стали марок 35X, 40X, 45X, 40XH, 45XH, 18XГТ, 30XГТ, 12XH3A, 12XH4A, 40XHMA, 38XMЮA; чугуны серые марок СЧ15 и ковкие (для зубчатых передач малонагруженных, тихоходных, большей частью открытых); пластмассы (текстолит, нейлон, или капрон) или древесно-слоистые пластики	Излом зуба (усталостный или из-за кратковременной перегрузки, осповидное выкрашивание, изнашивание или пластическая деформация рабочих поверхностей зубьев, торцовый износ зубьев, зубчатых коробок переа, заедание зубьев)	Улучшение, сплошная или поверхностная закалка, цементация, азотирование, нитроцементация рабочих поверхностей зубьев (стальных зубчатых колес)

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
----------------------	-----------------	---	--	--

Червяки и червячные колеса червячной передачи	Скольжение витков червяка по рабочим поверхностям зубьев червячного колеса, изгиб зубьев червячного колеса	Червяки - конструкционные углеродистые или легированные стали. Червячные колеса – бронзы марок Бр.ОФ-10-1, Бр.ОНФ, Бр.АЖ9-4; серые чугуны марок от СЧ15 до СЧ21	Заедание, изнашивание рабочих поверхностей, пластическая деформация и излом зубьев колеса	Корректирование зубьев червячного колеса. Повышение класса чистоты; закалка или цементация и закалка рабочих поверхностей витков червяка
Звездочки цепных передач	Удары и трение рабочих поверхностей звездочек об элементы цепи	Серый чугун марки СЧ15; конструкционные углеродистые легированные стали типа 20, 20Х, 20ХН	Изнашивание рабочих поверхностей зубьев	Проектирование звездочек с вогнутым профилем зубьев, повышение класса чистоты, закалка или цементация и закалка рабочих поверхностей зубьев
Валы и оси	Деформация изгиба и кручение, ускорение скольжения между цапфой и опорой	Углеродистые стали обыкновенного качества марок Ст3, Ст4 и качественные стали марок от 25 до 45; легированные стали; модифицированные чугуны	Усталостные изломы, изнашивание и задиры цапф, заедание	Уменьшение влияния концентраторов напряжения (увеличение радиусов галтелей, исполнение шпоночных канавок с плавным выходом и т.п.), шлифование цапф (тяжелонагруженных валов по всей поверхности наклеп галтелей, поверхностная закалка, азотирование)

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Опоры скольжения (подшипники и подпятники)	Трение и скольжение между опорой и цапфой	Антифрикционные сплавы на основе олова, свинца, меди, алюминия, цинка, анти-	Изнашивание, заедание, усталостные разрушения поверхности трения	Обеспечение условий жидкостного трения, увеличение жесткости опоры, высокая точ-

		фрикционные чугуны; металлокерамические антифрикционные материалы: твердые породы дерева (бук, дуб, ольха, самшит); пластмассы, резина		ность изготовления и высокий класс чистоты обработки рабочей поверхности цапфы; нанесение на поверхности опор специальных покрытий для улучшения приработки
Подшипники качения	Качение шариков (или роликов) по наружному и внутреннему кольцам	Для изготовления тел качения и подшипниковых колес используются стали марок ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ10, 65Г, 55СМА, Х18, 20Х2Н4А, 15ХНМ, 18ХГТ, 15Х, 10; для изготовления сепараторов используются малоуглеродистые и графитизирующие стали, коррозионно-стойкие стали ОХ18Н9, 1Х18Н9Т, магниевый чугун, бронзы, латуни, алюминиевые сплавы	Излом кольца, разрушение тел качения, изнашивание тел качения и рабочих поверхностей колец, усталостное выкрашивание (осповидный износ) рабочих поверхностей элементов подшипников, заедание деталей подшипника	Обеспечение податливости корпуса в нагруженной части подшипника

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Гильза цилиндра поршневого двигателя внутреннего сгорания	Механические нагрузки от переменного давления газов, тепловое и коррозионное воздействие газов, трение о поршневые кольца и поршень, коррозионное	Высококачественные серые чугуны, с перлитной основой, модифицированные чугуны, специальные чугуны, легированные марганцем, титаном, ванадием	Изнашивание внутренней поверхности (зеркала), появление риска, задиров, овальность в результате изнашивания при неравномерном давлении поршня, тре-	Поверхностная (или объемная) закалка и отпуск, покрытий внутренней поверхности тонким слоем пористого хрома или азотирование; фосфатирование

	поршень, коррозионное действие охлаждающей жидкости	цем, титаном, ванадием, хромом, никелем и молибденом, азотируемые хромомолибденоалюминиевые стали 35ХМЮА и 38ХМЮА	давлении поршня, трещины, коррозия наружной поверхности гильз и кавитационное разрушение	внутренней поверхности для улучшения прирабатываемости. Оцинковывание, оцинковывание или покрытый с бакелитовым лаком
Поршень двигателя внутреннего сгорания	Механические нагрузки от переменного давления газов и инерционных сил возвратно-поступательного движения поршня, тепловое воздействие газов на днище, трение боковой поверхности о зеркало гильзы	Серые чугуны марок СЧ25, СЧ45, СЧ42, СЧ30, высокопрочный чугун ВЧ45-5, литейные алюминиевые сплавы АЛ1, АЛ2, АЛ10В, АЛ30, АЛ26, деформируемые алюминиевые сплавы АК2, АК4, АК4-1, специальные чугуны и алюминиевые сплавы	Изнашивание цилиндрической поверхности, изнашивание и пластическая деформация кольцевых канавок, изнашивание отверстий в бобышках, прогар головки	Покрытие боковой поверхности легкоплавкими металлами (свинцом или оловом), фосфатирование, травление кислотой, сульфидирование, закалка с последующим старением поршней из алюминиевого сплава

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Диски борон и лущильников	Абразивное воздействие почвы, силовые воздействия препятствий	Пружинная сталь марки 65Г или 70Г	Затупление лезвия в результате изнашивания, разработки квадратных отверстий	Закалка и отпуск до твердости НВ321-415, плакирование лезвия износостойкими материалами
Лапы культиваторов	Абразивное воздействие и давление почвы	Сталь марок 65Г, 70Г, МСт6	Затупление режущей кромки лезвия в результате изнашивания	Закалка и отпуск лезвия, наплавка на лезвие твердого сплава
Лопастей рабочего колеса гидротурбины	Кавитационное и коррозионное воздействие среды, изгиб, действие пульсирующего потока,	Стали марок 25Х14НЛ, 30Х13НЛ, низколегированная сталь 20ГСЛ, облицованная методом	Кавитационное разрушение поверхности деталей	Применение материалов или облицовок, стойких против кавитационного разрушения

	вызывающего вибрацию	приварки электрозащелками, листами из нержавеющей стали марки X18H9T		
Пальцы звеньев гусениц гусеничного трактора	Сухое трение при высоких давлениях и ударных нагрузках при наличии абразива и влаги	Стали марок 50, 50Г, 50Г2 или 27СГ	Изнашивание в местах трения проушины или втулки звеньев гусеницы	Закалка поверхности при нагреве, в т.ч. борирование
Лемеха плугов	Давление пласта почвы, воздействие абразивной среды	Специальные лемешные стали Л53, Л65, М56	Затупление режущей кромки, затупление носка, образование фаски с тыльной стороны лезвия в результате изнашивания	Закалка с последующим отпуском лезвия, наплавка на лезвие твердого сплава (сормайта)

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Отвары плугов	Давление пласта почвы, воздействие абразивной среды	Сталь марки МСт2, трехслойная сталь, имеющая верхние слои из твердой стали марки 60, а внутренний слой - из мягкой незакаливающейся стали МСт2	Поломка крыла и его изнашивание в месте схода пласта почвы	Цементация и последующая закалка с самоотпуском
Зубчатые колеса коробок передач трактора	Удары торцов зубьев при включении передачи, изгиб зубьев, контактное сжатие и сдвиг объемов металла, прилегающих к эвольвентным поверхностям	Цементируемые стали марок 18ХГТ и 30ХГТ, легированные стали марок 20ХНР, 20ХГНР и 20ХНЗА	Торцовый износ зубьев, изнашивание эвольвентных поверхностей зубьев	Изготовление шестерни с наиболее рациональной (бочкообразной) формой торцов, зубьев, цементация или нитроцементация рабочих поверхностей зубьев с последующей закалкой

				и отпуском
Звенья гусениц гусеничных тракторов	Контактные нагрузки, трение качения с проскальзыванием о беговую дорожку и боковые поверхности опорных каркасов, наличие абразива и влаги в зоне трения	Аустенитная высокомарганцовистая сталь марки Г12Л, перлитная сталь 35Л1, 45Л1, углеродистая сталь 45, сталь 20ХГСНМ, 35ХГСА	Изнашивание проушин, изнашивание цепок в месте зацепления с ведущим колесом, изнашивание беговой дорожки, усталостные разрушения	Закалка и отпуск, нормализация или закалка в электролите беговых дорожек, наплавка почвозацепа вольфрамовым чугуном

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Коленчатый вал	Периодические нагрузки от сил давления газов и инерция движущихся масс, вызывающие переменные напряжения в элементах вала; трение шеек о заливку вкладышей подшипников	Отливки из высокопрочного или перлитного ковкого чугуна, стали марок Ст3, 35, 40, 45, 50, 35Г, 45Г2, 50Г, 40Х, 40ХГМ, 40ГМЮ 40ХНМ, стали марок 40ХН, 30ХМА, 18НМА, 18ХНВА, 20ХНЗА, 40ХЗМЮ, 25ХН4ВЛ, 38ХМЮА	Уменьшение диаметра, овальность и конусность шеек в результате изнашивания, прогиб или усталостный излом в результате несоосности износа коренных подшипников	Поверхностная закалка, азотирование, полирование коренных и шатунных шеек для повышения износостойкости, накатка роликами или обдувка дробью галтелей (для увеличения выносливости)
Клапан двигателя внутреннего сгорания	Динамические перегрузки от переменного давления газов и сил упругости пружины; омывание головок выпускных клапанов горячими газами, движущимися с большой скоростью	Для выпускных клапанов стали марок Х9С2, Х10СМ, 4Х9С2, 40СХ10МА, 4Х10С2М, 40ХН, 50ХН, Х8С и др. для впускных клапанов стали марок 40, 50ХН, 45, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХНМА; 4Х9С2 и др.	Изнашивание и пригорание фаски тарелки клапана, изнашивание стержня деформации	Заполнение внутренней полости головки пустотелого выпускного клапана на 50-60% металлическим натрием (для охлаждения клапана), наплавка фаски и головки выпускного клапана со стороны цилиндра твердым сплавом В76 или сормайтотом

				(для повышения износостойкости и коррозионной стойкости); объемная закалка и отпуск
--	--	--	--	---

Продолжение таблицы 4

Наименование деталей	Характер работы	Материалы, применяемые для изготовления деталей	Основные виды повреждений в эксплуатации	Способы повышения эксплуатационных свойств
Поршневое кольцо двигателя внутреннего сгорания	Нагрев от соприкосновения с горячими газами; трение о внутреннюю поверхность гильзы при возвратном поступательном движении	Серые чугуны марок СЧ20, СЧ25, СЧ30, специальные чугуны, легированные магнием, никелем, вольфрамом, хромом, фосфором, титаном, медью и ванадием, хромированная сталь X12M	Изнашивание по наружной цилиндрической и торцовой поверхности, снижение упругости, пригорание	Пористое хромирование одного или двух верхних компрессорных колец, электролитическое лужение или фосфатирование нехромированных колец (для улучшения прирабатываемости и повышения коррозионной стойкости)
Вкладыши шатунных и коренных подшипников валов двигателя внутреннего сгорания	Переменные по величине давления газов и давления от сил инерции поступательно-движущихся и вращающихся масс	Вкладыши с заливкой баббитами марок Б89, Б83, БН, БК-2, БТ, сплавом СОС-6-6 и свинцовой бронзой марки БрС30, биметаллические вкладыши из стальной полосы с алюминиевым сплавом АСМ, вкладыши из трехслойной ленты	Изнашивание, усталостное выкрашивание или подплавление заливки	Покрытие рабочей поверхности сплавом или припоем ПОС-18
Лопатки газовых турбин экскаватора	Растяжение, изгиб и кручение профильной части и хвостовика под действием динамических нагрузок при ударах о камни, глыбы мерзлого грунта и т.д.	Сплавы на никелевой основе ХН77ТЮР, ХН70ВМТЮ	Разрушение по профильной части пера или елочному профилю хвостовика и по краям в результате изнашивания	Полирование профиля пера лопатки (корыта, спинки, кромок и радиусов) обкатка роликом

Таблица 5 - Машиностроительные материалы

Марка стали	Химический состав, %						Критические точки, °С	
	C	Cr	Ni	Mn	W	Ti	A _{C1}	A _{C3} (A _{cm})
Низкоуглеродистые цементуемые стали								
10	0,05-0,15	-	-	-	-	-	735	890
15X	0,12-0,20	0,7-1,0	-	-	-	-	750	850
18ХГТ	0,17-0,24	1,0-1,4	-	0,9-1,2	-	0,05-0,15	740	845
12Х2Н4А	0,10-0,15	1,25-1,05	3,25-3,65	0,3-0,6	-	-	745	800
30ХГТ	0,24-0,32	1,0-1,3	-	0,8-1,0	-	0,03-0,09	770	825

Марка стали	Химический состав, %						Критические точки, °С	
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	A _{C1}	A _{C3} (A _{cm})
Среднеуглеродистые улучшаемые стали								
40	0,35-0,45	-	-	-	-	-	730	790
40ХА	0,34-0,42	0,8-1,1	-	-	-	-	740	815
30ХГСА	0,26-0,35	0,8-1,1	-	-	0,9-1,2	0,8-1,1	760	830
38ХНЗМА	0,33-0,40	0,8-1,2	2,75-3,25	0,2-0,3	0,17-0,37	0,2-0,5	730	770
40ХНМА	0,36-0,44	0,6-0,9	1,25-1,75	0,15-0,25	0,17-0,37	0,15-0,8	730	780
38Х2МЮ А	0,35-0,42	1,45-1,65		0,15-0,25	0,2-0,45	0,3-0,6	800	865

Продолжение таблицы 5

Марка стали	Химический состав, %					Критические точки, °С			
	С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	A _{C1}	A _{C3}
						не более			
Шарикоподшипниковые стали									
ШХ6	0,95-1,05	0,20-0,40	0,15-0,35	0,45-0,35	0,30	0,020	0,027	740	880
ШХ9	1,00-1,10	0,20-0,40	0,15-0,35	0,75-1,05	0,30	0,020	0,027	750	890
ШХ15СГ	0,95-1,10	0,9-1,2	0,50-0,65	1,30-1,65	0,30	0,020	0,027	750	910

Марка стали	Химический состав, %						Критические точки, °С	
	С	Mn	Si	Cr	V	Ni	A _{C1}	A _{C3} (A _{cm})
Пружинные стали								
65	0,6-0,7	-	-	-	-	-	727	752
65Г	0,55-0,65	0,7-1,0	-	-	-	-	726	765
60С2	0,55-0,65	0,6-0,9	1,5-2,0	-	-	-	750	820
50ХФ	0,45-0,55	-	-	0,7-1,1	0,15-0,25	-	752	788
	0,56-0,64	0,4-0,7	1,4-1,8	0,3	-	1,4-1,7	765	780

Продолжение таблицы 5

Группа	Марка	Химический состав, %							σ_B , МПа при		
		C	Cr	Ni	W	Mo	Ti	Co	600°	700°	800°
Стали и сплавы с особыми свойствами											
18-8	1X18H94	0,10	16-20	8-11	-	-	-	-	340	250	150
	1X18H95	0,12	16-20	8-11	-	-	-	-	340	250	150
	1X18H9M	0,14	16-20	8-11	-	2,5	-	-	450	300	200
14-142	ЭИ69	0,4-0,5	13-15	13-15	2-2,5	0,2-0,4	-	-	500	350	230
	ЭИ257	0,2	13-15	13-15	2-2,5	0,2-0,4	-	-	-	-	-
	ЭИ-127	0,2	13-15	13-15	2-2,5	0,2-0,4	1-1,5	-	-	-	-
	-	0,2	13-15	13-15	2-2,5	-	0,1	6,8	500	350	250
15-30	ЭИ395	0,1	15-17	24-27	-	5,7	-	-	-	450	300
		0,1	14-16	28-32	-	-	15,2	-	-	500	250

Таблица 6 – Инструментальные стали

Марка	Химический состав, %	Критические
-------	----------------------	-------------

стали							точки, °С	
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Ас1	Ас3 (Асm)
Стали для режущего инструмента и штампов холодного деформирования								
У7А	0,65-0,74	0,17-0,28	0,17-0,33	-	-	-	-	-
У8А	0,75-0,84	0,17-0,28	0,17-0,33					
У9А	0,85-0,94	0,17-0,28	0,17-0,33					
У10А, У11А, У12А, У13А	0,95-1,35	0,17-0,28	0,17-0,33	-	-	-	-	-
9ХФ	0,80-0,90	0,30-0,35	0,15-0,35	-	-	0,15-0,30	-	-
ШХ15	0,85-1,10	0,20-0,40	0,15-0,35	-	-	-	-	-
Х12ВМФ	2,00-2,20	0,15-0,45	0,10-0,40	11,0-12,50	0,50-0,80	0,15-0,30		
Х	1,0-1,15	0,4	0,4	1,3-1,6	-	-	745	860
9ХС	0,85-0,95	0,3-0,6	1,2-1,6	0,95-1,25	-	-	770	870
ХВГ	0,9-1,05	0,8-1,1	0,4	0,9-1,2	1,2-1,6	-	750	940
Х12Ф1	1,20-1,45	0,4	0,4	11,0-12,5	-	0,7-0,9	810	860
У9	0,96-0,93	0,17-0,38	0,17- 0,33	0,2	-	-	740	760
Х6ВФ	1,05-1,15	0,15-0,40	0,15-0,40	5,5-6,5	1,1-1,5	0,5-0,8	815	845

Продолжение таблицы 6

Марка стали	Химический состав, %						Критические точки, °С	
	C	Cr	Ni	Si	Mn	W	Ас1	Ас3
Стали для штампов горячего деформирования								
7Х3	0,60-0,75	3,2-3,8	-	0,3	0,4	-	770	880

3X2B8	0,30-0,40	2,2-2,7	-	0,38	0,4	7,5-9,0	800	850
4XB2C	0,35-0,45	1,0-1,3	0,35	0,6-0,9	0,4	2,0-2,5	780	840
5XHB	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	0,35	0,5-0,8	1,0-1,5	730	780
5XHM	0,50-0,60	-	1,40-1,80	0,10-0,40	0,50-0,80	-	-	-
4X5B2ΦC	0,35-0,45	4,50-5,50	-	0,80-1,20	0,15-0,40	1,60-2,20	-	-
5XB3MΦC	0,45-0,52	2,50-3,20	-	0,60-0,80	0,20-0,50	3,00-3,60	-	-
4X2B8	0,35-0,45	2,00-2,50	-	≥ 0,35	0,20-0,40	8,00-8,50	-	-

Марка стали	Химический состав, %				Критические точки, °C	
	C	W	V	Cr	Ac1	Ac3
Быстрорежущие стали						
P16	0,68-0,80	17,5-18,5	1,0-1,4	3,8-4,8	820	860
P9	0,85-0,95	8,1-10,0	2,0-2,6	4,0-4,6	820	870
P6M5K5	0,84-0,92	5,7-6,7	1,7-2,1	4,7-5,2	840	875
P9K5	0,90-1,00	≥ 0,50	≥ 0,50	3,80-4,40	-	-
P18K5Φ2	0,85-0,95	≥ 0,50	≥ 0,50	3,80-4,40	-	-
P9M4K8	1,00-1,10	≥ 0,50	≥ 0,50	3,00-3,60	-	-

Таблица 7 – Порошковые твердые сплавы

Группа	Марка сплава	Химический состав			Предел прочности, МПа	Удельный вес, не менее	HRA, не менее	Теплопроводность, кал/см,с·град
		WC	Co	TiC				
Вольфрамкобальтовые твердые сплавы								

Сплав	Химический состав, %							
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Co	W	Fe
Литые твердые сплавы								
Сормаит № 1	2,5-3,3	25-31	3,5	0,5-1,5	2,8-4,2	-	-	55-67
Сормаит № 2	1,5-2,1	13,5-17,5	1,5-2,5	до 1	1,5-2,0	-	-	74,8-81
Сталинит	10	18	-	15	-	-	-	57
Стеллит	1,8-2,5	27-38	-	1	1-2	47-53	13-17	до 2

Таблица 8 - Обозначения марок сталей различных стран

Международный код	DIN Германия	AFNOR Франция	B.S. Британия	UNI Италия	IIS Япония	ГОСТ Россия	SAE/FISI США
1.0038	S23SIRG2 (Fe360B) RSt 37-2	F24-2 NE	Fe360BFu	Fe360BFN	-	Ст3пс:сп	A570Cr36
1.0402	C22	AF42C20	070M20	C20	S20C	Сталь 20	1020
1.0503	C45	1C45	080M45	C45	S45C	Сталь 45	1045
1.1221	C60E	2C60	060A62	C60	S58C	60,60Г	1060
1.3505	100Cr6	100C6	2S135	100Cr6	SUI2	ШХ15	52100
1.6511	36CrNiMo4	40NCD3	817M37	38NiCrMo4	-	40ХР2МА	4540
1.7015	15Cr3	12C3	523M18	-	SCr415	15X	5015

1.7035	41Cr4	41Cr4	530A40	41Cr4	SCr440	40X	5140
1.8509	41CrALMo7	40CAD612	905M39	41CrFLMo7	SACM645	38XMFOA	A355AL
0.6020	GG20	Ft200	Grade 280	G20	FC20	C420	A48-30B
0.7040	GGG-40	FGS400-12	420112	GS3400-12	FCD40	БЧ 42-12	60-40-18
1.2080	X210Cr12	X200Cr12	B03	X205Cr12K U	SK01	X12	D3
1.24.19	105WCr6	105WCr5	-	105WCr5KU	SKS2	XBГ	-
1.1525	C80W1	C90E2U:V80	-	C80KU	-	Y8A	W108
1.3343	S6-5-2	Z85WDCV06 05-04-02	BM2	HS 6-5-2	SKH51	P6M5	M2
1.3355	S18-0-1	HS-18-0-1	BT1	HS18-0-1	SKH2	P18	T1
1.4027	GX20Cr14	Z20C13M	420C24	X20Cr13	SCS2	20X13	420
1.4541	X6CrNiTi 18-10	Z6CNT 18-10	321S31	X6CrNiTi 18-11	SUS321	08X18H10T	321
1.4841	X15CrNiSi 25-20	Z15CNS 25-20	314S25	X16CrNiSi 25-20	SUA310	20X25H20 C2	310

Таблица 9 – Ориентировочный режим термической обработки и твердость углеродистой инструментальной стали

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	температура нагрева, °С	температура нагрева, °С	охлаждающая закалочная среда	твердость, HRC	температура нагрева, °С	твердость, HRC
У7, У7А	740-760	800-880	Через воду в масло	61-63	160-200 200-300 300-400 400-500 500-600	63-60 60-54 54-43 43-35 35-27
У8, У8А, У8Г, У8ГА	740-760	790-820	То же	62-64	160-200 200-300 300-400 400-500 500-600	64-60 60-55 55-45 45-35 35-27
У9, У9А	740-760	780-810	-«-	62-65	160-200 200-300 300-400 400-500 500-600	64-62 62-56 56-47 47-37 37-28
У10, У10А	750-770	770-800	-«-	62-66	160-200 200-300 300-400 400-500	64-62 62-56 56-47 47-38
У11, У12, У11А, У12А	750-770	760-790	-«-	62-66	160-200 200-300 300-400 400-500	65-62 62-57 57-49 49-38
У13, У13А	750-770	760-790	-«-	62-66	160-200	65-62

Таблица 10 – Ориентировочный режим термической обработки и твердость углеродистой инструментальной стали

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	температура нагрева, °С	температура нагрева, °С	охлаждающая закалочная среда	твердость, HRC	температура нагрева, °С	твердость, HRC
1	2	3	4	5	6	7
Стали для режущего и мерительного инструмента						
а) неглубокой прокаливаемости						
7ХФ	800-820	820-850	Масло,	60	160-200	60-59
		810-830	вода	60	200-300	59-55
8ХФ		820-850	Масло,	61	160-200	61-60
		810-830	вода	61	200-300	60-55
9ХФ		820-850	Масло,	62	160-200	62-60
		810-830	вода	62	200-300	60-55
11Х	750-770	820-850	Масло,	65-62	140-200	64-60
		810-830	вода		200-300	60-55
13Х	780-800	800-825	Масло,		300-400	55-50
		780-810	вода	65-62	400-500	50-41
ХВ5	780-800	800-820	Вода,	67-64	200-300	64-60
		820-860	масло		300-400	60-53
					400-500	53-48
					500-600	48-40
В1	780-800	780-800	Вода,	63-61	150-200	60-58
		810-830	масло	62-60	200-300	58-52
					300-350	52-48
Ф	760-780	780-820	Вода,	64-62	180-200	64-60
		820-840	масло	62-60		
б) глубокой прокаливаемости						
Х	780-800	835-855	Масло	65-62	150-200	64-61
					200-300	61-55
					300-400	55-49
					400-500	49-41
					500-550	41-35
9ХС	79-810	850-880	Масло	65-61	150-200	64-63
					200-300	63-59
					300-400	59-54
					400-500	54-47
					500-600	47-39

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
ХВГ	780-800	820-850	«	65-63	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	63-62 62-58 58-52 52-46 46-37
9ХВГ	780-800	800-830	«	64-62	170-230 230-275	62-60 60-56
ХВСГ	790-810	840-860	«	61-65	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	64-63 63-59 59-54 54-47 47-39
9Х5Ф	-	950-1000	«	59	-	-
9Х5ВФ	-	950-1000	«	59	-	-
8Х4В4Ф1 (Р4)	-	1150	«	60	-	-
Стали для штампов холодной штамповки						
9Х	780-800	820-850	Масло	64-62	150-250	-
Х6ВФ	830-850	950-980	«	64-62	150-170 190-210	63-62 60-58
Х12	850-870	950-1000	Масло или воз- дух	64-62	200-400 400-500 500-600 600-700	62-58 58-56 56-50 50-43
Х12М	850-870	1000-1050	То же	65-62	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	63-62 62-59 96-57 57-55 55-47
		1115-1130	»	48-45	500-520 3-5- кратный	59-62
Х12Ф1	850-870	1040-1080	»	64-62	150-200 200-400	63-59 59-57
		1115-1130	»	48-45	520-550	62-61
Стали для штампов горячей штамповки						
3Х2В8Ф	860-880	1075-1125	Масло или струя возду- ха	52-49	150-200 200-300 300-400 400-500 500-575 575-700	52-49 49-48 48-46 46-45 45-48 48-40

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
Стали для штампов горячей штамповки						
4Х8В2	820-840	1025-1075	То же	54-51	500-600	48-40
7Х3, 8Х3	800-820	820-860	Масло	63-61	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	62-60 60-58 58-55 55-50 50-39
5ХНМ	790-820	820-860	То же	60-58	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	60-58 58-53 53-48 48-43 43-35
5ХНВ	790-820	840-870	»	59-55	400-500 500-600	47-41 41-34
5ХНСВ	810-830	850-870		59-55	500-600	41-35
5ХГМ	790-810	820-850	»	58-53	200-300 300-400 400-500 500-600	57-52 52-46 46-40 40-34
4Х5В2ФС	860-880	1040-1050, подстуживание до 800-900	»	55	550-600 600-650	51-46 46-36
4Х5В4ФСМ	-	1035-1065	»	50	-	-
4Х2В5ФМ	840-880	1060-1080	»	52	550-600 600-650 650-700	51-51 51-49 49-40
4Х3В2Ф2М2		1090-1110	»	50	-	-
5ХГСВФ, 5ХГСВФЮ	Нормализация 900-920 Отпуск 660	860-890	»		200-300 300-400 400-500 500-550 550-600 600-650	57-47 57-51 51-48 48-45 45-42 42-34
Стали для ударного инструмента						
4ХС	820-840	880-900	Масло	56-53	200-250 250-350 350-450 450-550 550-650	52-52 52-50 50-46 46-38 38-31

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
6XC	820-840	840-860	Масло	62	150-200 200-300 300-400 400-500 500-600	62-60 60-55 55-52 52-42 42-36
4XB2C	800-820	860-900	То же	56-53	200-300 300-400 400-500 500-600	53-51 51-49 49-42 42-33
5XB2C	800-820	860-900	»	56-54	150-200 200-300 300-400 400-450	54-52 52-48 48-42 42-36
6XB2C	780-800	860-900	»	60-56	200-300 300-400 400-500 500-600	58-53 53-49 49-43 43-37
6XBГ		850-900	»	57		

Таблица 11 – Ориентировочные режимы термической обработки

быстрорежущей стали

Марка стали	Отжиг	Закалка		Отпуск	
	температура нагрева, °C	температура нагрева, °C	твёрдость, HRC	температура нагрева, °C	твёрдость, HRC
P9	830-860	<u>1230-1250</u> 1210-1240	61-63	540-550	> 62
P9Ф5	840-860	<u>1240-1260</u> 1220-1250	62-64	575-585	64-66
P10K5Ф5	840-860	<u>1230-1250</u> 1210-1240	62-64	575-585	65-67
P9K10	840-860	<u>1230-1250</u> 1210-1240	62-64	575-585	65-66
P14Ф4	840-860	<u>1250-1270</u> 1230-1260	62-64	575-585	65-66
P18	840-860	<u>1280-1300</u> 1610-1290	62-64	540-580	> 62
P18K5Ф2, P18Ф2, P95	840-860	<u>1280-1300</u> 1260-1290	63-65	575-585	64-66

Таблица 12 – Режимы термической обработки и механические свойства стали, применяемой в станкостроении

Марка стали и размер сечения, мм	Режим предварительной и окончательной обработки; твердость HB	Механические свойства					Примечание
		$\sigma_{пр}$, МПа	σ_T , МПа	δ , %	KCU, кДж/м ²	HB, HRC	
1	2	3	4	5	6	7	8
10; ≤ 80 ≤ 20	H, 910-930 ⁰ ; ≤ 143. Ц, 920-950 ⁰ ; 3, 780-800 ⁰ , в; O, 180-200 ⁰ . Ц _ж , 860-880 ⁰ , в; O, 180-200 ⁰	340 400 -	210 250 -	31 25 -	- - -	≤ 143 56-62 56-62	Фрикционные диски, винты, шайбы, втулки
15; ≤ 80 ≤ 50	H, 910-930 ⁰ ; ≤ 156. Ц, 920-950 ⁰ ; 3,800-829 ⁰ , в; O, 180-200 ⁰ . Ц _ж , 860-880 ⁰ , в; O, 180-200 ⁰	370 450-550	220 250-300	27 20	65 -	≤ 156 146-163	Сварные и другие детали, не работающие на истирание. Малонагруженные детали: валики, втулки, пальцы, упоры
35; ≤ 80 ≤ 20	H, 860-880 ⁰ ; 156-196, 3, 840-860 ⁰ , в; O, 200-300 ⁰ . Ц _ж , 860-880 ⁰ , в; O, 180-200 ⁰	520 1000 -	310 650 -	20 8 -	- 30 -	156-196 30-40 56-62	Валики, винты, шпифты, упоры, кольца, оси, шайбы. Установочные и крепежные винты, гайки, шпифты

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
20X	H, 890-910 ⁰ З, 860 ⁰ , В; О, 200 ⁰ .	- 800	- 600	- 10	- 60	- ≥ 197	Шестерни, коробки передач, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, работающие в подшипниках скольжения, плунжеры, оправки, червячные копиры. Шестерни с модулем до 3 мм
≤ 40	Ц, 920-950 ⁰ ; З, 800-820 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰ .	850	630	10	60	56-62	
38XA	Отж, 880-900 ⁰ ; 170-228. З, 860 ⁰ , В; О, 550 ⁰ .	- 900	- 800	- 12	- 90	- ≥ 241	Детали, работающие при средних скоростных давлениях: шестерни, шпиндели и валы, работающие в подшипниках качения, пиноли, червячные валы, шлицевые валы, оси. Шестерни, работающие при средних скоростях и удельных давлениях. При повышенной прочности с предварительным улучшением
≤ 60 ≤ 20	З, 840-860 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰ .	1400- 1500	1200- 1300	8	40	45-50	

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
12ХНЗ	Отж, 860-880 ⁰	-	-	-	-	163-207	Сильно нагруженные детали, работающие при больших скоростях и ударных нагрузках: шестерни, гильзы, червяки, кулачковые муфты, шпиндели скоростных станков, работающие в подшипниках скольжения
≤ 60	З ₁ , 860 ⁰ , м; О, 150-180 ⁰ .	950	700	10	80	≥ 302	
≤ 20	Ц _ж , 920-950 ⁰ ; З, 800-820 ⁹ О, 180-200 ⁰ .	1000	850	12	120	58-63	
≤ 100	То же.	850	70	10	80	56-62	
20ХН	Н, 860-880 ⁰	-	-	-	-	163-207	Шестерни, коробки передач, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, работающие в подшипниках скольжения, плунжеры, оправки, червячные копиры. Шестерни с модулем до 3 мм
≤ 50	Ц, 920-950 ⁰ ; З, 800-820 ⁰ , в или м; О, 180-200 ⁰ .	850	650	14	80	56-62	

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
12X2H4	H,840-880 ⁰ ; O,650 ⁰ З ₁ ,880 ⁰ ,м; З ₂ ,780 ⁰ ,м; O,200 ⁰ Ц,900-920 ⁰ ; З,780-800 ⁰ ,м; O,180-200 ⁰	- 1100 1200	- 850 950	- 10 10	- 80 80	187-255 280-300 58-63	Сильно нагруженные детали, работающие при больших скоростях и ударных нагрузках: шестерни, гильзы, червяки, кулачковые муфты, шпиндели скоростных станков, работающие в подшипниках скольжения
37XH3	H,840-860 ⁰ ; O,600-650 ⁰ , м; З,810-830 ⁰ ,м; O,525-575 ⁰ З,810-830 ⁰ , м; O,200-220 ⁰	- 1100 1700	- 1000 -	- 10 -	- 80 50	197-269 321-338 42-48	Шестерни, обрабатываемые в улучшенном состоянии, для точных передач
ОХНЗМ ≤ 100 ≤ 40	Отж, 840-850 ⁰ ; З,840-860 ⁰ , м; O,580-600 ⁰ З,810-860 ⁰ , м; O,200-220 ⁰	- 1000 1600	- 840 1380	- 13 10	- 80 -	≤ 228 ≤ 269 48-53	Сильно нагруженные ответственные детали сложной конфигурации для станков и прессов

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
18X2H4BA	H,920-980 ⁰ ; O,650 ⁰ З ₁ ,950 ⁰ ,возд. З ₂ ,850 ⁰ возд.;	- 1150	- 950	- 12	- 100	197-241 280-300	Сильно нагруженные детали, работающие

≤ 120	О, 160 ⁰ Ц, 900-920 ⁰ ; О, 640-660 ⁰ : Ц+З, 790-810 ⁰ , м; О, 150-170 ⁰	1200	1000	10	100	340-401 58-63	при больших скоростях и ударных нагрузках: шестерни, гильзы, червяки, кулачковые муфты, шпиндели скоростных станков, работающие в подшипниках скольжения, для тяжело нагруженных деталей, с большим сечением. Для точных деталей рекомендуется обработка холодом
38ХЮ ≤ 60	Отж, 930-950 ⁰ З, 930 ⁰ м или в (теплая); О, 630 ⁰ в или м З, 930-950 ⁰ в (теплая) или м; О, 600-650 ⁰ в или м; А ₃ , 430-520 ⁰ с печью до 100-150 ⁰	- 950 950	- 900 900	- 12 12	- 80 80	187-228 ≥ 260 HV 800-1000	Детали очень высокой твердости и износоустойчивости, повышенного предела усталости и малой деформации: шпиндели, валы, копиры, плунжеры. Для уменьшения деформации перед окончательным шлифованием до азотирования О, 650-670 ⁰

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
18ХГТ	Н, 920-950 ⁰ ;	-	-	-	-	180-207	

	З ₁ , 880 ⁰ , м; З ₂ , 870 ⁰ , м; О, 200 ⁰ . Ц, 900-950 ⁰ ; З, 800-820 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰	1200 1000	1050 800	10 9	80 80	≤ 241 56-62	Детали, работающие при больших скоростях, средних и высоких давлениях с ударными нагрузками: работающие в подшипниках скольжения, червяки, кулачковые муфты, втулки
30ХГТ	Отж, 870-890 ⁰ ; З, 830-850 ⁰ , м; О, 160-200 ⁰ ; Ц, 900-920 ⁰ ; З, 810-820 ⁰ , м; О, 160-200 ⁰					179-228 ≥ 260 56-58	Разные прочие детали. Шестерни с модулем 4 мм, глубина слоя на 40-50% менее, чем для цементуемой стали
20ХГР ≤ 60	Отж, 860-880 ⁰ З ₁ , 900 ⁰ , м; З ₂ , 870, м; О, 200 ⁰ .	- 1000	- 800	- 9	- 70	156-197 ≥ 260	Детали, работающие при средних скоростных давлениях:
≤ 60	Ц, 900-920 ⁰ ; З, 830-850 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰	1150	950		70	58-63	шестерни, шпиндели и валы, работающие в подшипниках качения, пиноли, червячные валы, шлицевые валы, оси; крупногабаритные детали

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
20ХФ	Н, 880-900 ⁰	-	-	-	-	170-217	Шестерни, коробки

≤ 25	З, 880 ⁰ , в; О, 200 ⁰ . Ц, 920-950 ⁰ ; З, 840-860 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰	800 900	600 800	12 17	80 -	≤ 240 58-63	передач, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, работающие в подшипниках скольжения, плунжеры, оправки, червячные копиры. Шестерни с модулем до 3 мм, детали больших сечений
45; ≤ 80 ≤ 100	Н, 850-870 ⁰ или Омж, 840-865 ⁰ ; З, 820-840 ⁰ , в; О, 560-600 ⁰ З, 820-840 ⁰ , в; О, 180-200 ⁰	600 750 1200	340 450 900	16 17 6	30 50	170-217 192-240 42-48	Валы и шпиндели, работающие в подшипниках качения, шлицевые валики, штоки, червячные валы, вилки, кронштейны, цилиндры, крупные установочные винты.
≤ 20	З, 820-840 ⁰ , в или ц; О, 180-200 ⁰	1200	950	6	-	40-50	Храповики, стопоры, фиксаторы, упоры

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
50; ≤ 80	Н, 840-860 ⁰ З, 820-840 ⁰ , в; О, 560-620 ⁰ .	640 700-800	350 530	40 40	40 50	207-241 228-255	Ходовые валики и винты токарных,

	З, 820-840 ⁰ , в; О, 550 ⁰ , Зп	900 -	700 -	- -	40 -	241-300 54-58	фре-зерных и других станков. Шпиндели, валы и другие детали повышенной износостойчивости при малой деформации
38ХВФЮ ≤ 80	З, 930 ⁰ , м или в (теплая); О, 640 ⁰ , в или м; З, 930-950 ⁰ , м или в (теплая); О, 650-670 ⁰ , в или м; Аз, 480-520 ⁰ с печью до 100-150 ⁰	1000 900	900 700	15 10	90 80	≥ 252 HV 860- 1020	Детали очень высокой твердости и износостойчивости, повышенного предела усталости и малой деформации: шпиндели, валы, копиры, плунжеры. Для уменьшения деформации перед окончательным шлифованием до азотирования О, 650-670 ⁰

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
38ХМЮА ≤ 60	Отж, 930-950 ⁰ З, 940 ⁰ , в (теплая) или м; О, 650 ⁰ , в или м; З, 940 ⁰ , в (теплая) или м; О, 650-670 ⁰ , в или м +	- 1000	- 850	- 15	- 90	187-228. ≥ 269	Детали очень высокой твердости и износостойчивости, повышенного предела усталости и малой

	Аз, 480-520 ⁰ с печью до 100-150 ⁰	1050	900	10	80	HV 950-1020	деформации: шпиндели, валы, копиры, плунжеры. Для уменьшения деформации перед окончательным шлифованием до азотирования O, 650-670 ⁰
40XH ≤ 100 100-300	Отж, 840-860 ⁰ З, 820 ⁰ , м; O, 500 ⁰ 3,820-840 ⁰ , м; O, 560-600 ⁰ . 3,820-840 ⁰ , м; O, 200 ⁰ .	- 1000 850 800 1300	- 800 600 580 1100	- 10 10 9 12	- 70 50 40 40	179-217 > 255 230-300 ≤ 241 40-45	Детали, работающие при средних скоростных давлениях: шестерни, шпиндели и валы, работающие в подшипниках качения, пиноли, червячные валы, шлицевые валы, оси
40XФ ≤ 80 ≤ 40 ≤ 100	Отж, 880-900 ⁰ ; 187-235. 3, 880 ⁰ , м; O, 650 ⁰ 3, 860-880 ⁰ , м; O, 200-230 ⁰ 3, 860-880 ⁰ , м; O, 550-600 ⁰	- 900 1600 800	- 750 1300 550	- 10 - 20	- 90 40 80	187-235 > 280 40-45 > 300	Детали крупных габаритов. Детали, работающие при средних скоростных давлениях: шестерни, шпиндели и валы, работающие в подшипниках качения, пиноли, червячные валы, шлицевые валы, оси

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
40ХГР ≤100	3, 860-870 ⁰ , м; O, 500-550 ⁰	980-1100	880	16	80	28-35	

≤ 40	З, 850-870 ⁰ , м; О, 200-250 ⁰	1550	1400	9	40	44-48	Крупногабаритные детали, шпиндели, валы, оси
35ХГС							
≤ 30	З, 880-900 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰	1700	1500	7	45	43-48	Детали средних размеров. Мелкие детали сложной конфигурации
≤ 15	З _{нзо} , 850-870 ⁰ , селитра 280-310 ⁰	1650	1300	90	60	35-42	
40ХМНА							
≤ 80	Отж, 840-880 ⁰ ; 179-228 З, 850 ⁰ , м; О, 600 ⁰ , в или м;	- 1000	- 850	- 12	- 100	179-228 280-302	Наиболее нагруженные ответственные детали сложной конфигурации
≤ 40	З, 830-850 ⁰ , м; О, 200-220 ⁰	1650	150	50	50	48-53	

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
40Х	Отж, 860-900 ⁰ ; З, 830-850 ⁰ , м; О, 500 ⁰ ;	- 1000	- 800	- 9	- 60	179-228 240-280	Детали, работающие при средних скоростных давлениях: шестерни, шпиндели
≤ 60	З _{нзо} , 830-850 ⁰ , О, 540-580 ⁰ ;	800-950	650-750	10	60	228-280	
≤ 50	То же	750	520	15	60	228-286	
≤ 100							

≤ 20	3, 830-850 ⁰ , м; О, 180-200 ⁰	1500	1300	7	30	42-48	и валы, работающие в подшипниках качения, пиноли, червячные валы, шлицевые валы и оси. Детали, работающие при средних окружных скоростях и высоких удельных давлениях при небольших ударных нагрузках: шестерни, шпиндели, втулки, кольца, рейки, роторы гидронасосов, сухари, пиноли. Шпильки, валы, оси, оправки при повышении прочности сердцевины с предварительным улучшением
-----------	--	------	------	---	----	-------	---

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
65Г; ≤ 80	Отж, 790-810 ⁰ , или Н	750	400	8	-	196-228 ≥ 241	Пружинящие шайбы, упорные кольца, фрикционные диски.
≤ 20	3,790-820 ⁰ , м; О, 200-220 ⁰	-	-	-	-	58-62	Зажимные и подаю-

≤ 20	3, 790-820 ⁰ , м; О, 370-400 ⁰	1500	1250	5	-	42-48	щие цанги; хвостовая часть HRC 42-48. Фрикционные диски, пружины плоские и круглые, пружинящие шайбы и кольца, втулки
70Г; ≤ 80	Отж, 790-810 ⁰ ; 202-235 или Н	800	420	7	-	202-231 ≥ 241	Пружинящие шайбы, упорные кольца, фрикционные диски. Зажимные и подающие цанги; хвостовая часть HRC 42-48.
≤ 20	3,780-800 ⁰ , м; О, 200-220 ⁰	-	-	-	-	58-62	Фрикционные диски, пружины плоские и круглые, пружинящие шайбы и кольца, втулки. Ходовые винты точных токарных и токарно-винторезных станков
≤ 20	3, 780-800 ⁰ , м; О, 400-420 ⁰	160	1320	4	-	42-48	

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
70С2Х;	Группа прочности 1п Закалка 870 ⁰ С м Отпуск 420 ⁰ С	1300- 1600	1325- 1570	- 5	- 29	HV 375- 485	Плоские сильно-нагруженные пружины противовеса – лента 3п толщиной < 0,8 мм, лента 2п толщиной < 1,0 мм

50XФА ≤ 30	3,860 ⁰ , м; О, 475 ⁰ 3, 840-860 ⁰ , м; О, 370-420 ⁰ (после горячей навивки)	1300 1500	1100 1500	10 12	30 -	- 42-48	Тяжелонагруженные ответственные пружины
20X13	Отж, 850-860 ⁰ ; 3, 1000-1050 ⁰ , м или возд.; О, 600-700 ⁰ 3, 1000-1050 ⁰ , м или возд.; О, 180-200 ⁰ .	- 650	- 450	- 16	- 80	≥ 187 20-25 30-35	Зеркальные валики, малонагруженные валы, клапаны, крепежные и другие детали
40X13	Отж _{изо} , 860 ⁰ ; 3, 1050-1100 ⁰ , м; О, 200-300 ⁰ 3, 1050-1100 ⁰ , О, 700 ⁰	550 -	- -	15 -	70 -	179-228 48-52	Шпиндели, валы, червяки, шестерни. Средненагруженные детали. Пружины
X18	Отж, 850-860 ⁰ , с печью до 500 ⁰ 3, 1050-1060 ⁰ , м или возд.; О, 200-300 ⁰	760 -	- -	14 -	16 5	230-255 55-60	Шариковые и игольчатые подшипники, штулки, вентили
10X18H10T 10X18H9T	Асм, 1100-1150 ⁰ , в Асм, 1100-1150 ⁰ , в	550 550	200 200	45 40	125 -	135-185 140-170	Коррозионностойкие детали

7 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется на бумаге формата 210x297 с заглавным листом. Объем работы 15-20 страниц.

Содержание работы должно быть изложено в следующих разделах:

1 Введение. Кратко (1-1,5 стр.). Описать материалы, применяемые для изготовления детали вашего задания.

2 Пользуясь дополнительной литературой («Детали машин», «Технология машиностроения», «Станки и инструменты», «Технология производства гидравлических машин», «Электротехнические материалы» и др.), описать **назначение и условия работы детали задания** (1,5-2 стр.).

3 Определить возможные причины выхода из строя или причины возникновения дефектов при эксплуатации **детали**; установить возможный характер разрушения детали, предлагаемого условиями задания (если таковой имеется). Описать структуру и свойства, вызвавшие разрушение детали.

4 Определить и обосновать выбор технических требований на свойства готовой детали: твердость и микроструктуру поверхности и сердцевины детали; толщину закаленного или диффузионного слоя, предел прочности, ударную вязкость и др.

5 Выбрать материал для изготовления заданной детали, исходя из условий эксплуатации и технических требований согласно п.4; обосновать экономическую целесообразность выбора материала. Пользоваться приложением.

6 Определиться со способом получения заготовки детали (отливка, штамповка, поковка, прокат и др.). Дать схему получения заготовки выбранным способом, описать последовательность получения заготовки, применяемые материалы, оснастку, оборудование.

7 Разработать маршрутную технологию механической и термической обработки детали без расчетов режимов резания.

8 Расшифровать марку выбранной стали (материала); описать влияние легирующих элементов на структуру и свойства

ее, на закаливаемость, прокаливаемость, на изотермическое превращение аустенита, порог хладноломкости и др.

9 Начертить **диаграмму состояния Fe-Fe₃C**; расписать структурный и фазовый состав во всех областях диаграммы,

На основании закона Гиббса построить две кривые охлаждения, указанных преподавателем сплавов. Применяя правило отрезков, найти соотношение фаз в данной точке.

10 **Выбрать режимы термической и (или) химико-термической обработки**, обеспечивающие требуемые свойства изделия с учетом условий его эксплуатации согласно п.4.

Обосновать выбор термических операций, описать влияние нагрева и охлаждения на превращения, на фазовый состав, величину зерна и свойства; представить схемы микроструктур при разной температуре.

Режимы термообработки представить графиками в координатах температура-время.

Графическую часть представить в объеме 2 листов формата А4:

- а) один из видов основного оборудования в 2 проекциях;
- б) технологию термической обработки в графиках;
- в) чертеж детали;
- г) схему получения заготовки;
- д) маршрутную технологию изготовления детали.

ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ*

№ 1

Матрица вырубного штампа (рис.1) размерами 45x120x180 мм вышла из строя при закалке из-за возникновения трещин по крепежным отверстиям. Микроструктура в зоне излома - мелкоигольчатый мартенсит + цементит. Твердость поверхности HRC 60-62. Материал матрицы - сталь У10А. Определить причины брака; дать

рекомендации по его устранению. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11 задания.

N 2

Пресс-формы по изготовлению силикатного кирпича работают на абразивный износ при высоком давлении на стенку пресс-формы. На рис.2 дан чертеж передней пластины пресс-формы. Для повышения износостойкости пресс-формы выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11 задания, обеспечив высокую износостойкость против абразива и достаточный предел упругости.

N 3

Матрица гибочного штампа (рис.3) размерами 40x80x120 мм разрушилась в процессе эксплуатации. При исследовании микроструктуры установлено, что по границам трещины имеется обезуглероженный слой до 0,2 мм. Микроанализ места излома выявил синий цвет побежалости. Материал матрицы - сталь X12Ф1; твердость поверхности HRC 62-64.

Определить и описать вероятные причины выхода из строя матрицы. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11 задания.

N 4

На рис. 4 деталь «Водило» предназначено для передачи движения от ведущего вала. Поверхности А, Б и В должны быть изготовлены с соответствующей точностью и чистотой поверхности. Должны иметь твердость $HV \geq 18000$ МПа. «Водило» подвержено кавитационному воздействию. Требуется выполнить все требования к курсовой работе согласно пп.1-11 задания.

*Рисунки к заданиям курсовой работы представлены в приложении А.

N 5

Шток-поршень установки литья под давлением (рис.5) изготовлен из стали 38ХМЮА, твердость поверхности HV 1200, обладает недостаточно высокой теплостойкостью при заливке в кокиль жаропрочных сталей.

Описать, какому виду термической или химико-термической обработки был подвергнут шток-поршень, определить причину его

низкой теплостойкости и выполнить все требования к курсовой работе согласно пп. 1-11 задания.

№ 6

Матрица волока волочильного стана (рис. 6) для калибровки стальных прутков изготовлена из стали 9ХС. Твердость рабочей части НРС 60-62. В процессе эксплуатации матрица разрушилась. Микроструктура в изломе - крупноигльчатый мартенсит + карбиды. Описать предполагаемую причину разрушения матрицы-волока и выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11 задания.

Размеры волоки $\varnothing 90 \times 50$ мм.

№ 7

В литейной форме при изготовлении отливок из сплава ЛС 59-1 стержень (рис.7), обеспечивающий получение в отливке отверстия, изготовлен из стали 3Х2В8 с последующим гальваническим хромированием и обладает недостаточно высокой разгаростойкостью. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11 задания.

№ 8

Калибр валково-роликовой клетки стана ХПТР-15-30 (рис.8) изготовлен из стали ШХ15СП с твердостью НРС 58-62. При прокатке труб из нержавеющей стали резко снизилась износостойкость калибра. Для повышения износостойкости калибра выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11 задания.

№ 9

Для пуансонов горячего выдавливания (рис.9) операция, при которой штамп длительное время находится в соприкосновении с нагретым деформируемым металлом, необходимы теплостойкие штамповые стали. Для этих условий обработки сталь должна при нагреве до $600-620^{\circ}\text{C}$ сохранять предел прочности (G_v) 1100 МПа. Размеры пуансона: диаметр 42, длина 250 мм.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

№ 10

Пуансон (прошивень) (рис.10) для прошивки отверстий в нагретом металле (в поковке, штамповке) находится в очень тяжелых рабочих условиях: резкие перепады температур нагрева (200-600°C) и охлаждения, абразивное воздействие окалины, большие удельные давления и удары, возникающие при прошивке, и др. Для изготовления прошивных пуансонов используют стали 35ХГСА, 4Х2А8, 4Х8В2.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

№ 11

Пуансоны вырубных штампов работают как режущий инструмент; от них требуется высокая твердость и износостойкость, достаточная ударная вязкость.

Для изготовления пуансона (рис.11) для вырубки деталей из стальной ленты предложены стали У8А, ХВГ и Х12М.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

№ 12

Длинные рельефные ножи по дереву (рис.12) обычно изготавливают из сталей ХВГ, 9ХВГ, 20Х. Поскольку длинные ножи в процессе нагрева под закалку и при закалке деформируются, рекомендуется производить закалку только рабочей части ножа, оставляя не рабочую часть ножей - места крепления, не закаленными. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры ножа 12 x 60 x 550 мм.

№ 13

Многие измерительные инструменты плоской формы (шаблоны, скобы-калибры, штангенциркули) изготавливают из листовой стали. Они должны обладать высокой износостойкостью рабочих кромок и постоянством геометрических параметров.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Произвести упрочняющую термообработку скобам-калибрам (рис.13).

N 14

Ножи и пилы горячей резки металла работают в условиях повышенного износа при нагреве до температур 500-600°C и значительных динамических нагрузках. Стали, применяемые для изготовления такого инструмента, должны обладать высокой теплоустойчивостью, вязкостью и разгаростойкостью.

Переохлажденный аустенит этих сталей должен быть устойчив при 600-400°C для того, чтобы ножи можно было править в горячем состоянии во время охлаждения при закалке, помещая их в штампы.

Для изготовления ножей (рис.14) размерами 15x450x860 мм, используемых для обрезки концов горячего проката, имеются стали 4XB2C, 4X5B4ФСМ и Р6М3.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

N 15

Анализ результатов исследований места излома цилиндрической фрезы (рис.15 а) размерами 40x60 мм показал, что микроструктура фрезы - мелкоигльчатый мартенсит + 20-25% карбидов вольфрама, хрома, ванадия + 2-3% остаточного аустенита. Карбиды крупные расположены строчечно. Твердость HRC 65-67. Установить предполагаемую причину выхода из строя фрезы, предполагаемую (приблизительно) марку стали из которой она изготовлена. Можно ли исправить дефект материала, если он имеется. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

N 16

При работе на высоких скоростях резания обнаружено, что фреза для изготовления пазов под сегментные шпонки быстро затупляется и требует переточки. Фреза (рис.15 б) изготовлена из стали ХГСВФ, имеет твердость HRC 60-62. Микроструктура в

месте излома - крупноигольчатый мартенсит + мелкие, равномерно-распределенные карбиды. Описать предполагаемую причину поломки фрезы. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры фрезы $\varnothing 70 \times 12$ мм.

N 17

Пальцевая модульная фреза (рис.16 а) для нарезания зуба шевронных колес. Изготовлена из стали 9ХС. Твердость материала для изготовления колес НВ 280-320. Дать заключение о работоспособности указанного режущего инструмента и выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры фрезы $\varnothing 40 \times 50$ мм.

N 18

В процессе эксплуатации поломался зуб торцевой проходной фрезы (рис.16 б). В изломе просматривается крупнозернистая структура с выраженной строчечностью карбидной неоднородности; твердость по зубу HRC 62-64. Определить причины поломки фрезы. Установить примерную марку стали на фрезе по химическому составу: содержание углерода 0,95%, вольфрама 18%, хрома 3,5%, ванадия 1,5%. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры фрезы $\varnothing 50 \times 70$ мм.

N 19

В металлорежущих станках для передачи движения от вала электродвигателя валу коробки скоростей используется ременная передача. Под воздействием сил трения ремня о шкив последний интенсивно изнашивается.

Предложить 2-3 марки стали для изготовления шкива (рис.17) и выполнить все требования к курсовой работе согласно пп. 1-11. Размеры шкива $\varnothing 150 \times 40$ мм.

N 20

Прокатные валки (рис.18) для калибровки некоторого сортамента проката должны иметь точные геометрические размеры с допуском на изготовление одного погонного метра $\pm 0,05$ мм.

Учитывая назначение и условия эксплуатации валков, выполнить все требования к курсовой работе согласно пп. 1-11, исполь-

зую для упрочнения прогрессивные процессы химико-термической обработки. Размеры вала $\varnothing 300 \times 1300$.

N 21

В связи с интенсивной эксплуатацией измерительных скоб-калибров отмечено значительное изменение геометрических параметров их рабочих поверхностей - износ.

Скоба (рис.19) работает по износостойкому чугуно; изготовлены скобы из стали 20. Сделать анализ и описать причины низкой износостойкости скоб-калибров и выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры скобы $8 \times 52 \times 95$ мм.

N 22

При нарезании зубьев прямозубого колеса использовали долбяк (рис.20), изготовленный из стали ХВГ. В процессе эксплуатации долбяка выяснилось, что он интенсивно изнашивается по вершине зуба. Твердость в середине зуба HRC 62-64, по вершине зуба HRC 35-40. Описать возможные причины такого явления и способы исправления брака, если таковые имеются.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11. Размеры долбяка $\varnothing 60 \times 100$ мм.

N 23

Сверла диаметром 20, длиной 300 мм (рис.21) изготовили из проката-прутка диаметром 22 мм из стали P9. Произвели термическую обработку на твердость HRC 63-65. В процессе эксплуатации обнаружилась низкая износостойкость, потеря размера по диаметру. Исследованиями микроструктуры обнаружена в поверхностных фильмах сверла светлая полоса. Описать, что это за дефект, откуда он появился? Можно ли его исправить?

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

N 24

Для передачи движения используется шатун (рис.22), который при работе испытывает знакопеременное нагружение и интенсивное трение (износ) в подшипниках ведомого и ведущего вала. Учитывая условия эксплуатации шатуна, выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

N 25

Для обработки сложного фасонного замкнутого контура использовали протяжку (рис.23), изготовленную из стали Х6ВФ. В процессе эксплуатации обнаружили низкую стойкость режущего инструмента. Обрабатываемый материал - серый чугун с твердостью металлической основы HB 260. Твердость на протяжке 55-60. Микроструктура - мелкоигольчатый мартенсит + карбиды. Описать предполагаемые причины низкой стойкости инструмента.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

Размеры протяжки: диаметр 22-40, длина 480 мм.

N 26

Протяжкой (рис.23) обрабатывают отверстие в детали, изготовленной из стали 40Х13 со структурой - сорбит. В процессе работы протяжка поломалась. В месте излома в микроструктуре просматривается крупнокристаллическое строение с сеткой мелких трещин, по краям которых вытравилась белая составляющая. Твердость поверхности протяжки HRC 60-62.

Химический анализ показал в материале протяжки наличие 0,9% углерода; 4,0% Cr; 5,5%W и 2,0%V. Определить марку стали на протяжке; описать предполагаемые причины её разрушения.

Выполнить все требования к курсовой работе согласно пп. 1-11 раздела. Размеры протяжки: диаметр 22-40, длина 490 мм.

N 27

Стойкость трехсторонних дисковых фрез (рис.24), изготовленных из быстрорежущей стали умеренной теплостойкости марки P12, при обработке стали 18ХНВА с твердостью HB 180-200 была удовлетворительной.

Однако стойкость фрез резко снизилась при обработке стали 12Х18Н10Т. Сделать анализ и описать возможные причины снижения стойкости инструмента. Выполнить все требования к курсовой работе согласно пп. 1-11 раздела.

Размеры фрезы $\varnothing 80 \times 23$ мм.

N 28

Завод изготавливает коленчатые валы к легковому автомобилю (рис.25) с диаметром шейки 45 мм. Длина коленвала 850 мм. Сталь в готовом изделии должна иметь предел текучести не ниже 400 МПа и ударную вязкость не ниже 500 КДж/м². Кроме того, вал должен иметь высокую износостойкость не по всей поверхности, а только в шейках, сопряженных с подшипниками и работающими на истирание с шатуном. Подобрать марку сплава для

изготовления коленвала и выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 29

На хлебокомбинате произошла поломка вала (рис.26) диаметром 70 мм, длиной 800 мм редуктора тестоделительной машины ХДФ. Проведенный расчет показал, что предел прочности материала должен быть не ниже 350 МПа, ударная вязкость - не ниже 700 КДж/м².

Исследования показали, что вал изготовлен из стали 70; HRC 60-62. В зоне излома просматривается трещина на глубину 3 мм. Микроструктура - крупноигльчатый мартенсит. Установить причины поломки вала и выполнить требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 30

Коленчатый вал двигателя грузового автомобиля (рис.27) экономично изготавливать из серого чугуна - материала, малочувствительного к надрезу и хорошо гасящего вибрации. Наибольший диаметр шейки коленчатого вала - 50 мм, длина - 1500 мм.

Выбрать марку чугуна с пределом прочности не ниже 600 МПа, относительным удлинением 2-3%. Описать, как получают такой чугун. Обеспечить повышенную износостойкость шеек вала и твердость - HRC 60-62. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 31

Для производства цельных труб горячей прокаткой используются оправки (рис.28). Оправки работают в очень трудных условиях: испытывают высокие нагрузки при повышенных температурах, подвержены износу и циклическому изменению температуры.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 32

В результате поломки вышел из строя распределительный вал (рис.29) автомобиля «Волга». Диаметр шеек вала 30, длина 450 мм. Излом имел волокнистое строение, форма и размеры зерен сильно искажены. Вал изготовлен из стали 45, HRC 40-45. Установить возможные причины поломки вала; выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11, обеспечив упрочнение шеек вала до HRC 35-40, кулачков и шестерени HRC 62-64.

N 33

Стаканы цилиндров диаметром 80 мм, высотой 180 мм (рис.30) мощных моторов должны иметь особо повышенную износостойкость на рабочей поверхности, твердость - HV 1000-1200 и высокие механические свойства в сердцевине с пределом текучести не менее 750 МПа.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 34

Модульная фреза (рис.31) изготовлена из стали P18K5Ф2. Твердость фрезы HRC 62-65. Микроструктура мартенсит + карбиды + 30% остаточного аустенита. В процессе эксплуатации обнаружилась недостаточная теплостойкость фрезы. При резании при температуре 585-600⁰С фрезы снижали твердость на 2-3 HRC. Описать возможные причины указанного выше явления. Можно ли исправить этот дефект? Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Размеры фрезы $\varnothing 30 \times 100$ мм.

N 35

В центробежном насосе, перекачивающем радиоактивную жидкость при температуре 150⁰С разрушился вал (рис.32). Микроисследования установили наличие межкристаллитной коррозии. Известно, что при содержании в стали никеля около 40% сталь не подвергается межкристаллитной коррозии. Но никель удорожает сталь. С учетом сказанного подобрать для изготовления вала марку сплава. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Размеры вала: диаметр 32 мм, длина 220 мм.

N 36

Для передачи движения используется червяк, изготовленный литьем из чугуна СЧ 45 (рис.33). Твердость термообработанных шеек HRC 40-45. Червяк работает со стальным колесом; шейки работают в подшипниках из стали ШХ6. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Размеры червячного вала $\varnothing 50 \times 220$.

N 37

Рекомендовать состав стали, способ её металлургического передела для изготовления колеса ответственного назначения (рис.34) в механизмах, работающих при температурах от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Предел текучести должен быть не ниже 750-800 МПа. Объяснить, какие факторы способствуют понижению порога хладноломкости. Размеры колеса: диаметр 480 мм, ширина венца - 80 мм.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 38

В шестернях, изготовленных из стали 40X (рис.35) и обработанных на твердость HRC 40-42, в эксплуатации при повышенных напряжениях и динамических нагрузках возникли трещины при низких температурах в условиях Севера. Объяснить причины, вызывающие этот брак, и рекомендовать марку стали, вязкость которой мало уменьшается при понижении температуры с $+20^{\circ}\text{C}$ до -60°C . Размеры шестерен: диаметр - 100 мм, ширина венца зуба - 20 мм. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 39

Поршень цилиндра пресса (рис.36) обеспечивает изготовление деталей прямым прессованием из алюминиевого сплава, нагретого до температуры $490^{\pm 5} \text{ }^{\circ}\text{C}$. Поршень во время эксплуатации испытывает попеременный нагрев и охлаждение, воздействие нагретого металла - алюминия, кислорода воздуха и износ от трения со стенками цилиндра.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11, используя новые прогрессивные процессы химико-термической обработки.

N 40

Шестерня шестеренного насоса (рис.37) диаметром 150 мм, шириной венца зуба 45 мм изготовлена из стали 18ХГТ, твердость поверхности зуба - HRC 56-58. В процессе эксплуатации выкрошился зуб. Исследования показали, что в микроструктуре по зубу большое количество карбонитридов и остаточного аустенита. Объяснить причины разрушения зуба шестерни и выполнить все требования к курсовой работе согласно пп.1-11. Насос перекачивает отходы химического производства.

№ 41

На сахарных заводах Украины сырьем при производстве сахара используется сахарная свекла. В агрегате при стружкообразовании свеклы используются диффузионные ножи (рис.38 а). Ножи подвергаются абразивному износу, слабому воздействию кислот и должны срезать со свеклы тончайшую стружку; не должно выкрашиваться при встрече с камешками и песком.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

№ 42

Для изготовления партии прямозубых колес внутренним зацеплением (рис.38 б) наружным диаметром 180 мм, высотой венца 40 мм предложены стали 45 и 18ХНВА. Прочность готовой детали должна быть 750 МПа, твердость- 58-62HRC.

Выполнить все требования к курсовой работе согласно пп.1-11. Дать рекомендации конструктору, если известно, что число оборотов шестерни в минуту при эксплуатации 7600.

№ 43

При эксплуатации в результате поломки зуба вышел из строя вал-шестерня (рис.39) волчка К6-ФВ3П. Диаметр шестерни - 60 мм, модуль - 5 мм, диаметр вала - 25 мм, длина - 204 мм.

Исследования показали: твердость поверхности по зубу шестерни - HRC 62-65, сердцевины вала - HRC 28-32. Микроструктура по зубу - крупноигльчатый мартенсит почти по всему сечению.

Определить возможные причины выхода из строя вала-шестерни.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

№ 44

В коробке скоростей координатно-расточного станка в результате изменения геометрических параметров вышла из строя вал-шестерня высокоскоростной передачи (рис.40). Диаметр шестерни - 100 мм, ширина венца - 35 мм, длина вала 260 мм. При исследовании обнаружилось в микроструктуре зуба шестерни большое количество карбонитридов и до 30% остаточного аустенита. Твердость сердцевины шестерни - HRC 28-32. Определить возможные причины изменения геометрических параметров шестер-

ни. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11, обеспечив постоянство геометрических параметров шестерни с течением времени и твердость HV 1000-1200.

N 45

Боковая пластина пресс-формы (рис.41) для формовки силикатного кирпича испытывает при прессовании высокие давления, напряжения изгиба и абразивный износ. Применение сталей со сквозной прокаливаемостью и высокой твердостью дает при прессовании хрупкий излом пластины.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 46

Молотовой многоручьевой штамп для горячей объемной штамповки (рис.42) при работе нагревается до температур 500-600⁰С и периодически охлаждается.

С течением времени цикличность изменения температур штампа появляется сеткой разгарных трещин. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

Размеры штампа: высота 550 мм, длина 650 мм, ширина 450 мм.

N 47

Завод изготавливает цилиндрические зубчатые колеса (рис.43) модулей от 5 до 10 мм, которые упрочняются с индукционного нагрева до твердости HRC 45-50. При эксплуатации колеса показали низкую износостойкость. Рекомендовать марку стали и соответствующую термообработку или химико-термическую обработку, обеспечивающие упрочнение зуба по контуру.

Выполнить все требования к курсовой работе согласно пп.1-11. Размеры шестерен: диаметр-120-280 мм, ширина венца - 25-55 мм.

N 48

В результате абразивного износа вышло из строя коническое колесо(рис.44). Износ неравномерен по профилю, изношенные зубья имеют специфическую заостренную форму. Колесо изготовлено из стали 35ХГСА, подвергнуто азотированию на глубину 0,2-0,3 мм, твердость поверхности H_ц 700, сердцевины 28-32 HRC. Описать сущность абразивного износа деталей. Подобрать марку стали и термическую или химико-термическую обработку, ис-

ключающие или уменьшающие абразивный износ деталей, и выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Вес конического колеса - 1,5 кг.

N 49

Лемеха плугов (рис.45) изготавливали из стального проката стали 35, HRC 30-35. В процессе эксплуатации на песчано-глинистых почвах обнаружен катастрофический абразивный износ лемеха. Выполнить задание, дать подробное описание указанному выше виду износа, а также выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11, используя для упрочнения один из прогрессивных процессов химико-термической обработки. Размеры лемеха: L - 550, H - 250, ± 8 мм.

N 50

Червячное колесо (рис.46) диаметром 300 мм, высотой венца 70 мм изготовлено из стали 40XH2MA, закалено на глубину 3 мм по контуру на твердость HRC 45-48. В процессе эксплуатации установлена низкая износостойкость колеса и недостаточен предел текучести.

Описать режим термической обработки вышеуказанного колеса. Назначить новую марку стали для его изготовления, обеспечив предел текучести 900-950 МПа и твердость HRC 62-64. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп. 1-11.

N 51

Шатун коленвала (рис.47) при эксплуатации работает в сложных условиях: по шатунным шейкам на износ и при передаче движения на сжатие и изгиб. Используя современные прогрессивные технологии термической и химико-термической обработки, выбрать способ упрочнения шатуна, выполнив все требования к курсовой работе согласно пп.1-11.

Размеры шатуна: общая длина 265 мм, высота головки 60 мм, диаметры 40 и 90 мм.

N 52

Коленчатые валы судовых двигателей (рис.27) мощностью 2500 л.с., весом 2,5 т изготавливают ковкой с последующей механической и термической обработкой. Вес поковок составляет примерно 6,5 т. Отходы в стружку - около 4,0 т. Перед заводом стоит задача замены кованных коленчатых валов литыми, причем свойства готовых изделий должны быть: предел прочности ≥ 550 МПа, относительное удлинение 1,5%, KCV 150 кДж/м², твердость сердцевин - HB 215-260, рабочих частей HRC 58-60.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Шатунные шейки калибровать с нагревом токами высокой частоты. Размеры шеек $\varnothing 60$, длина 2050 мм.

N 53

Вал-шестерня (рис.48) изготовлен из стали 38ХМЮА, имеет твердость поверхности HRC 70, сердцевин HRC 35-38. Диаметр шестерни – 140, длина 204 мм. Установлено, что данная шестерня должна работать при температуре 900°С длительное время. Описать термическую обработку шестерни из стали 38ХМЮА. Доказать, сможет ли она работать при температуре 900°С или нет. Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

N 54

Матрица вытяжного штампа (рис.49) изготовлена из стали У8А. При эксплуатации показала низкую износостойкость при вытяжке стаканов из ст08СП. На пуансоне адгезия обрабатываемой стали; на матрице вертикальные задиры.

Исследованиями установлено, что твердость матрицы HRC 54-56; пуансона – HRC 56-58. Микроструктура на обоих инструментах – мелкоигльчатый мартенсит; на пуансоне – карбиды легирующих

элементов. Требуется сделать анализ существующей технологии термообработки на предприятии.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11. Вес цилиндра – 750 г.

N 55

При литье цветных металлов в кокиль разливкой под давлением для получения отверстий в отливках используются металлические стержни. Стержни находятся в очень сложных условиях эксплуатации: подвержены высоким температурам и резким колебаниям температур, химическому воздействию расплавов.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11 для стержня (рис.50) литейной формы при изготовлении отливок из бронзы Бр.ОЦС-5-5-5.

N 56

Пуансонодержатель (верхняя плита для крепления пуансона) (рис.51) изготовлен из стали У8А, НРС 56-58.

В процессе термической обработки в опасных сечениях пуансонодержателя появилась серия трещин. Микроструктура – мелкоигольчатый мартенсит.

Дать заключение о причине появления трещин.

Выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно пп.1-11.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Гуляев А.П. Металловедение. –М.: Металлургия, 1966, 1977.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. –М.: Машиностроение, 1972.

3. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. –М.: Машиностроение, 1986.
4. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. –М.: Металлургия, 1975.

Дополнительная

5. Мозберг Р.К. Материаловедение. –Таллин: Валдус, 1976.
6. Сидорин И.И. Основы материаловедения. –М.: Машиностроение, 1976.
7. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. –М.: Машиностроение, 1985.
8. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. –М.: Машиностроение, 1989.
9. Смирягин А.П., Смирягин Н.А., Белова А.Р. Промышленные цветные металлы и сплавы. –М.: Металлургия, 1974.
10. Сігова В.І. Методические указания к лабораторной работе «Диаграмма Fe-Fe₃C. Микроструктура железоуглеродистых сплавов». –Суми: СумГУ, 2002.
11. Пчелінцев В.О. Сігова В.І., Раб В.М. Методичні вказівки до практичних занять «Практика маркірування і розшифровки машинобудівних матеріалів». –Суми: СумДУ, 1994.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рисунки к заданию на курсовую работу

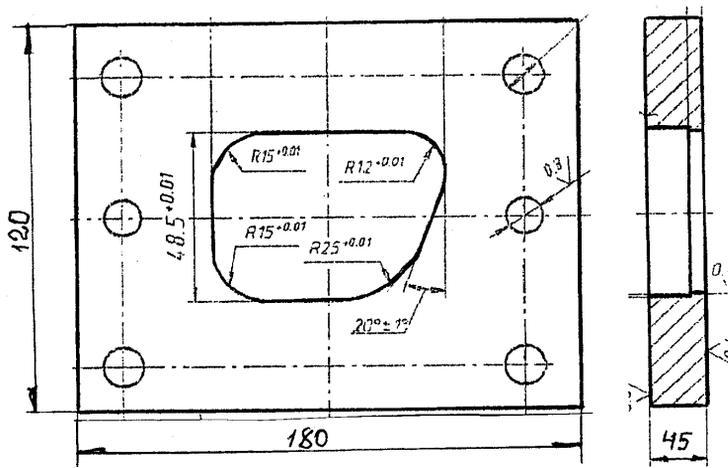


Рисунок 1 - Матрица вырубного штампа

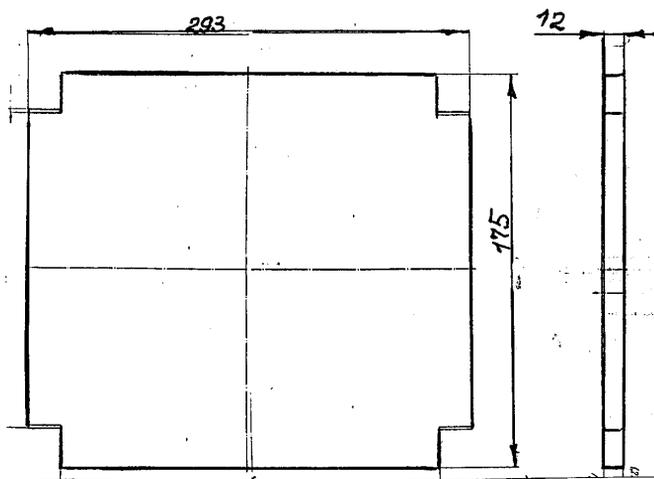


Рисунок 2 - Передняя пластина пресс-формы

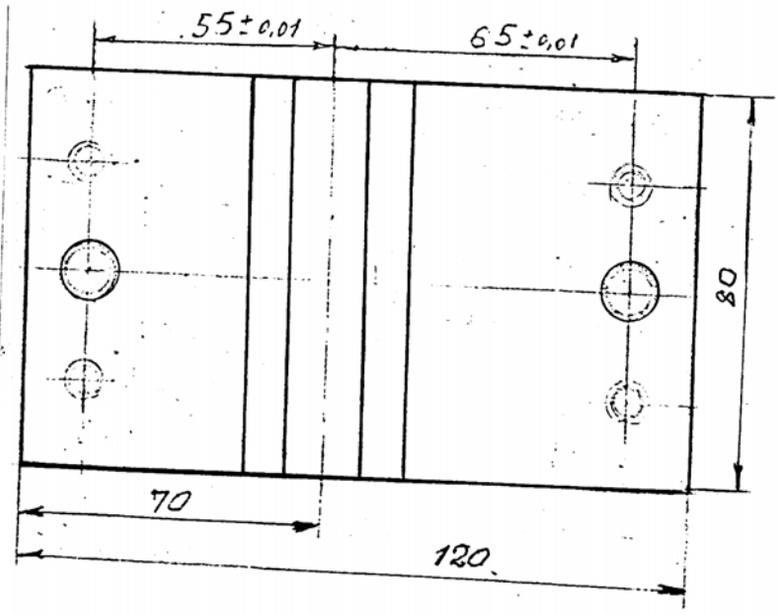
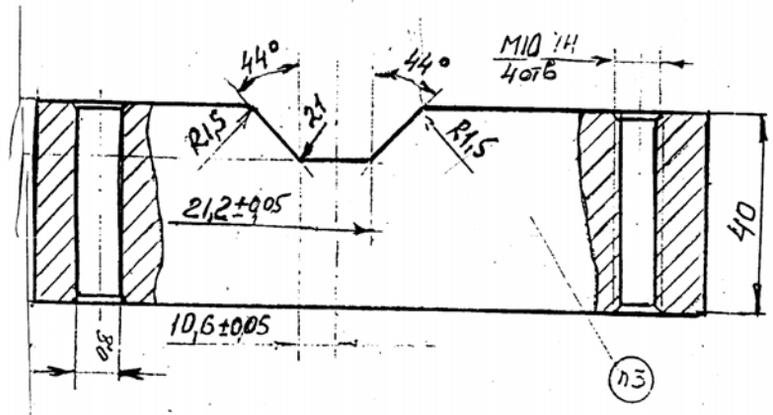


Рисунок 3 - Матрица гибочного штампа

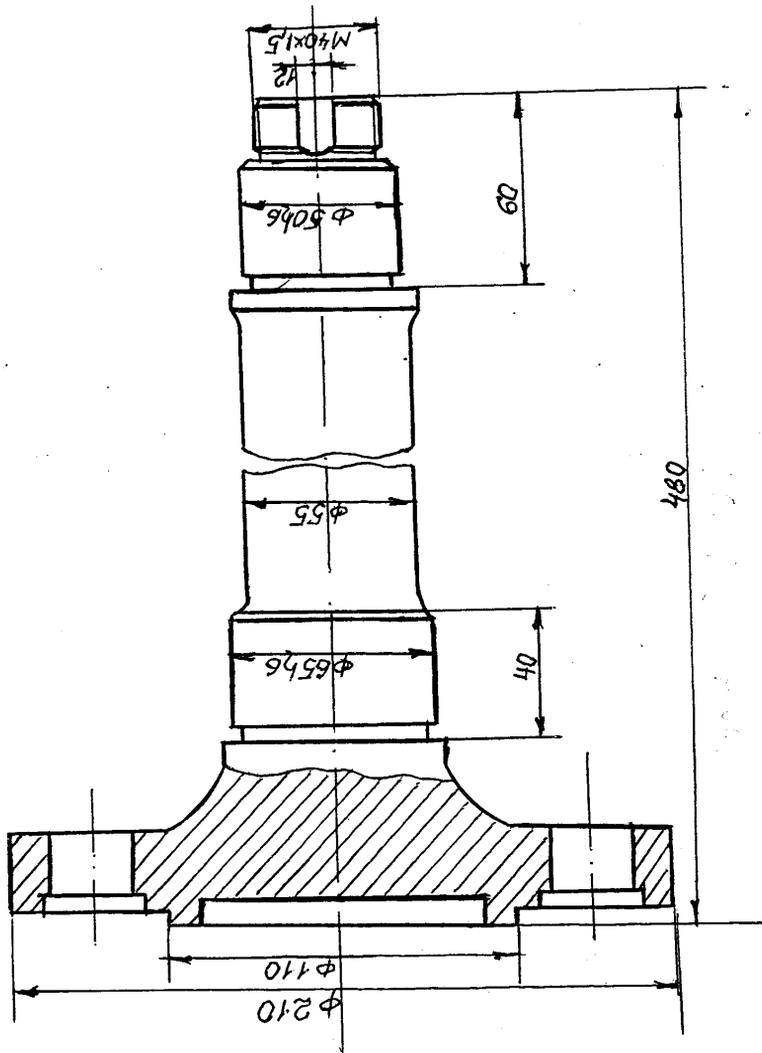


Рисунок 4 - ВОДИЛО

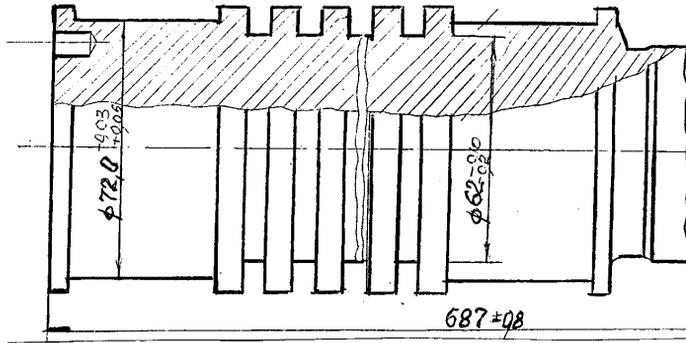


Рисунок 5 - Шток-поршень

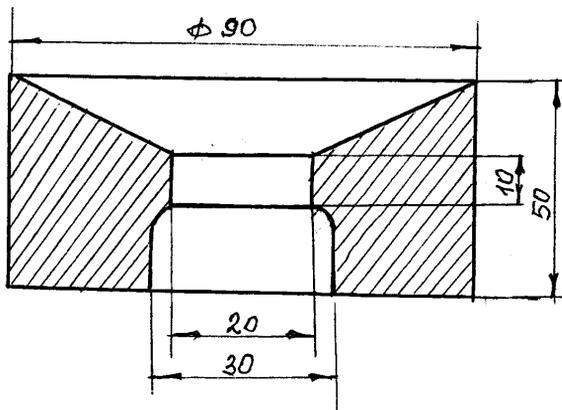


Рисунок 6 - Матрица волокна волочильного стана

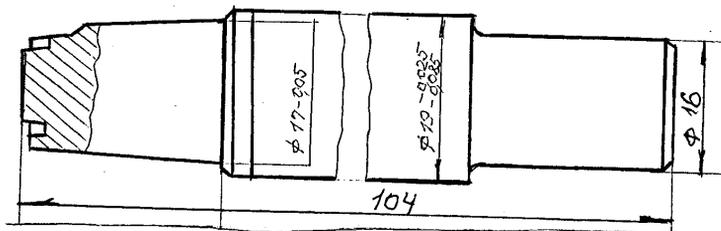


Рисунок 7 - Стержень литейной формы

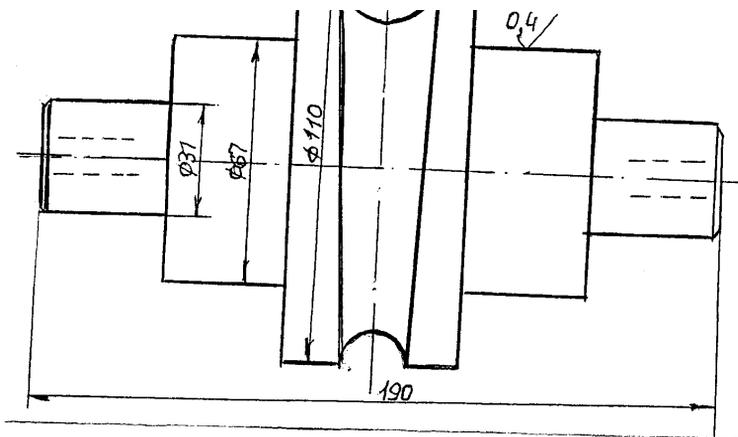


Рисунок 8 - Калибр валково-роликовой клетки

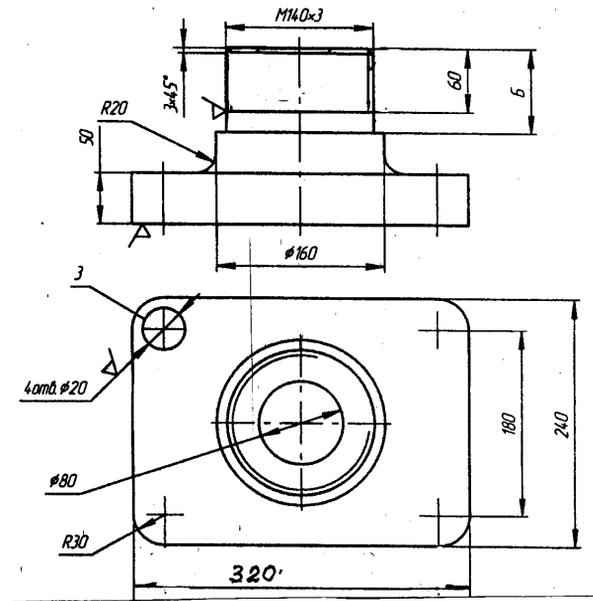


Рисунок 9 - Пуансон

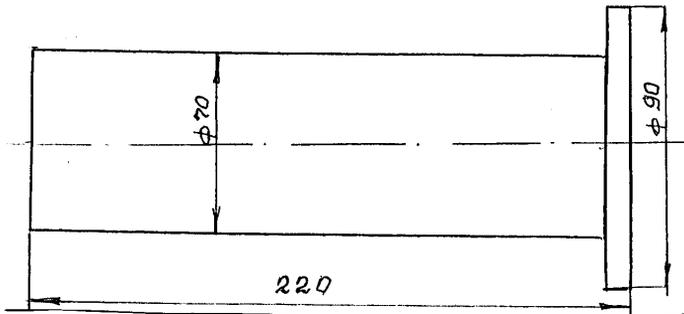


Рисунок 10 - Пуансон-прошивень

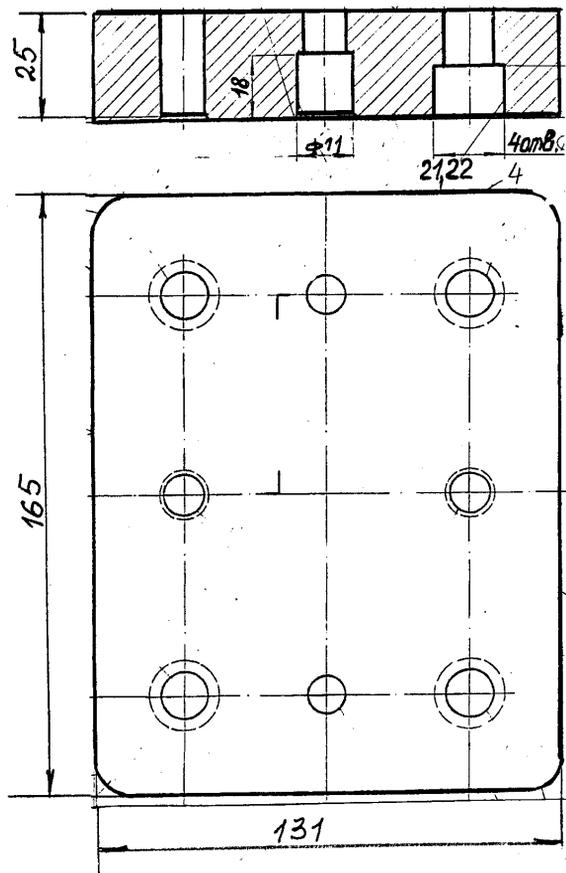


Рисунок 11 - Пуансон вырубного штампа

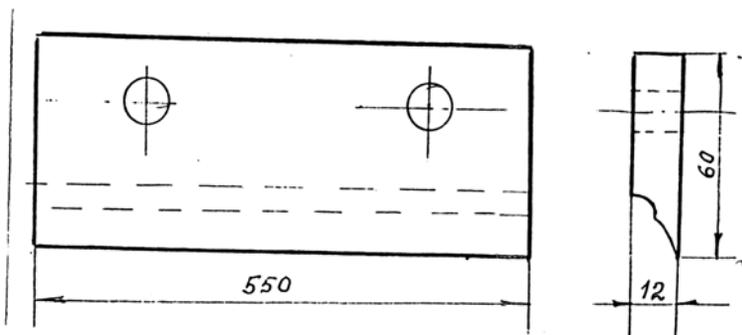


Рисунок 12 - Рельефный нож по дереву

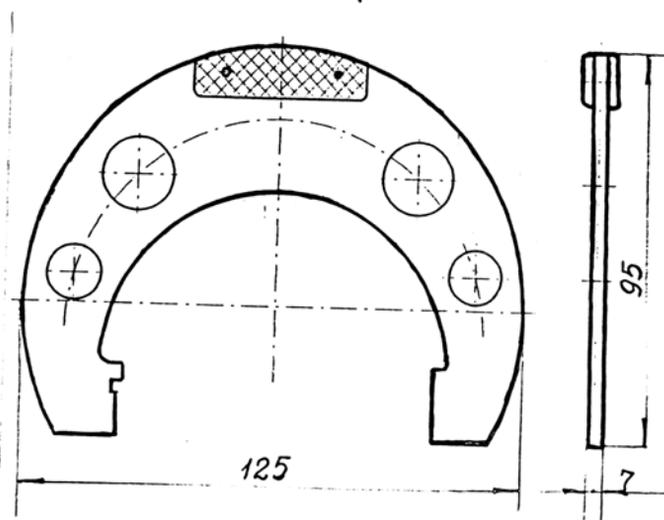


Рисунок 13 - Измерительная скоба калибра

134

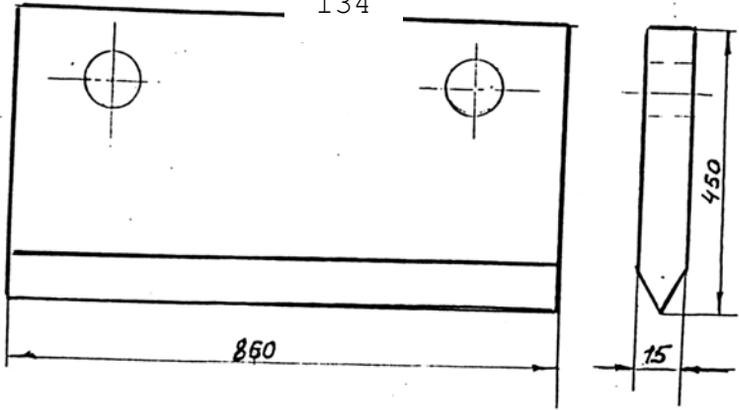


Рисунок 14 - Нож для резки горячего металла

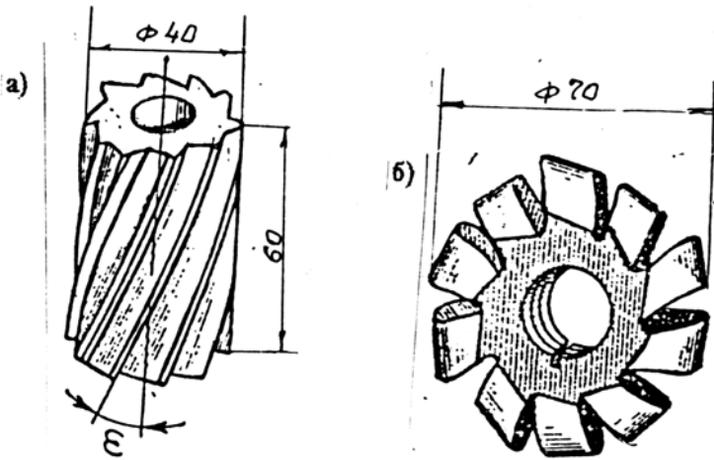
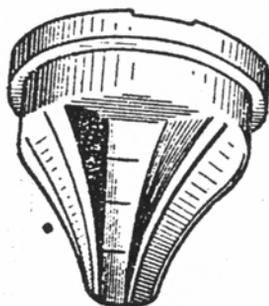
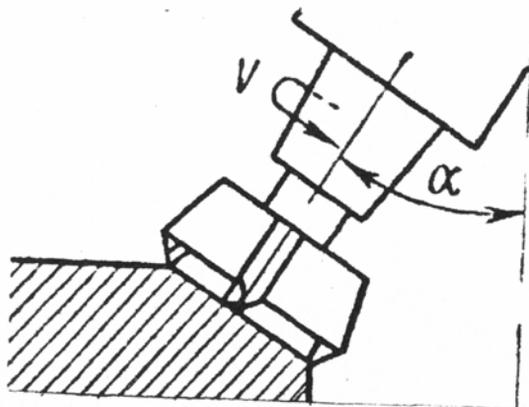


Рисунок 15 - Фрезы: а - цилиндрическая; б - под сегментные шпонки



а



б

Рисунок 16 – Пальцевая модульная фреза (а);
-торцевая проходная фре-
за (б)

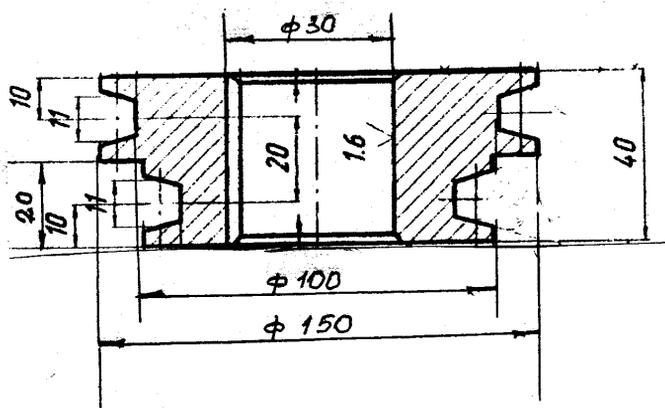


Рисунок 17 - Шкиф ременной передачи

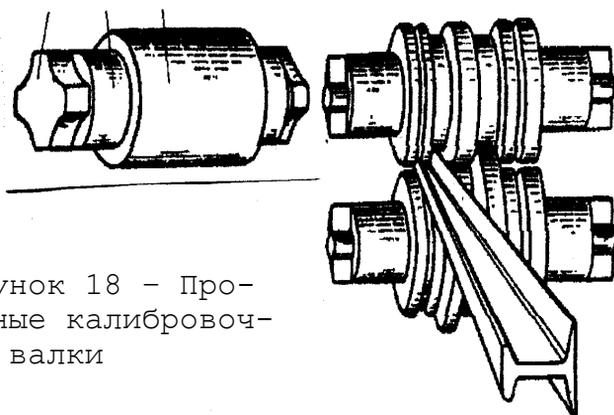


Рисунок 18 - Прокатные калибровочные валки

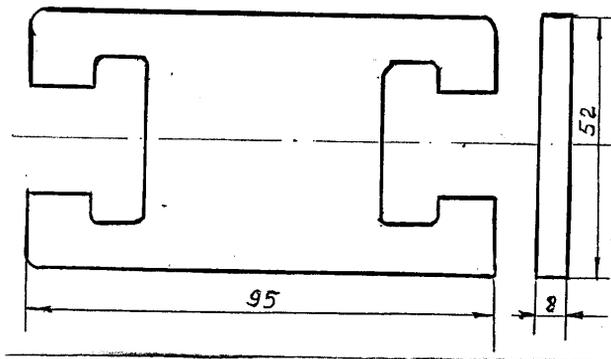


Рисунок 19 - Двухсторонняя измерительная скоба

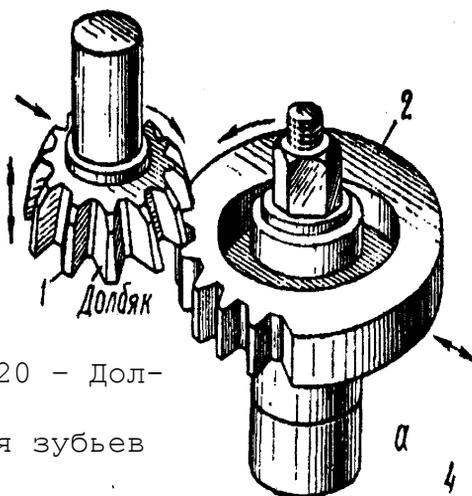


Рисунок 20 - Долбяк
нарезания зубьев

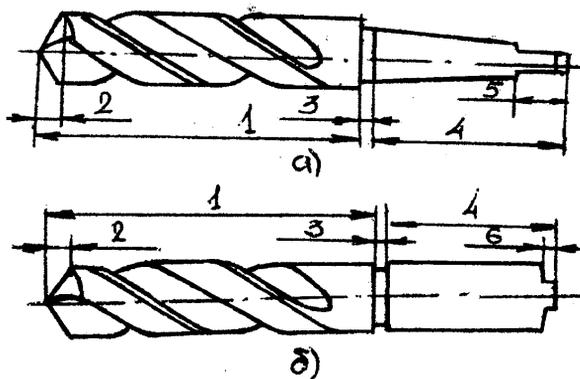


Рисунок 21 - Спиральное сверло с коническим (а) и цилиндрическим (б) хвостовиком

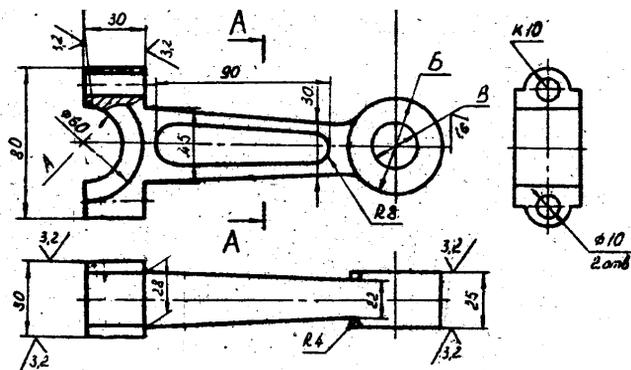


Рисунок 22 - Шатун

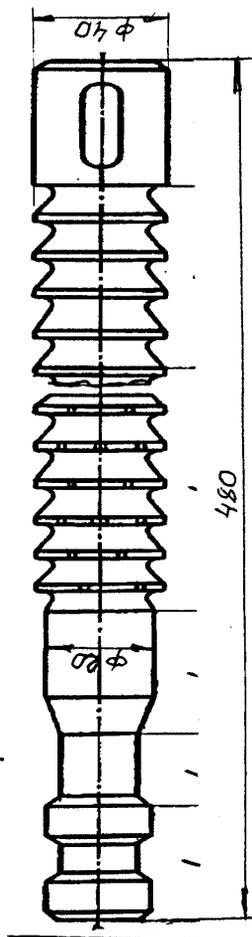


Рисунок 23 - Протяжка

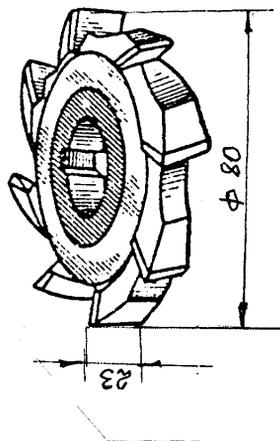


Рисунок 24 - Трехсторонняя
дисковая фреза

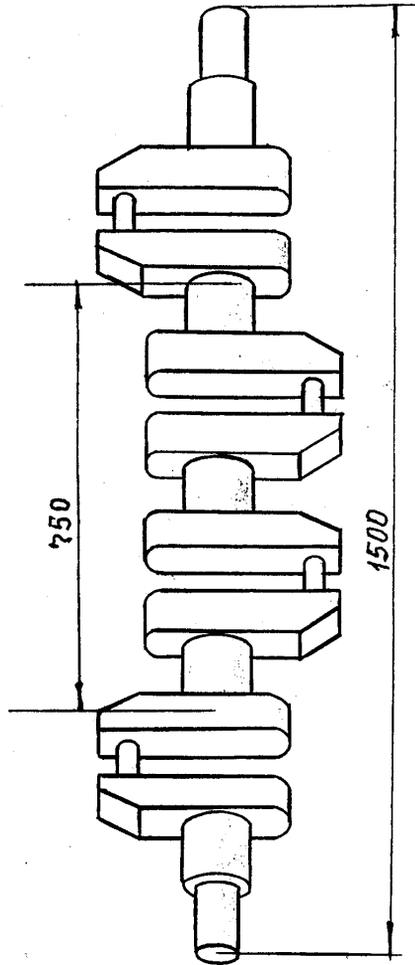


Рисунок 25 - Коленчатый вал двигателя легкового автомобиля

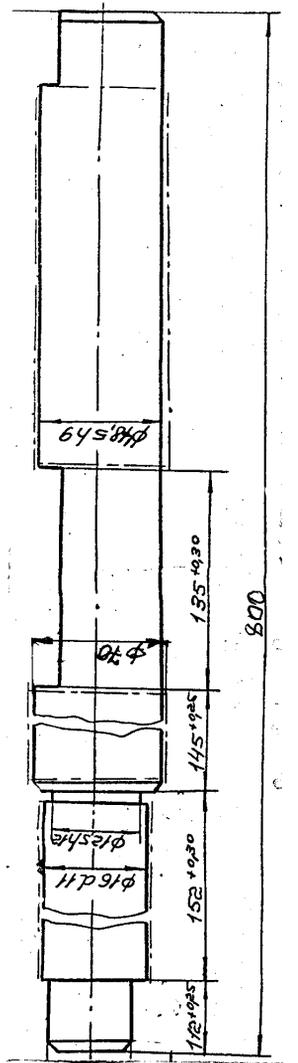


Рисунок 26 – Вал гестоделительной машины

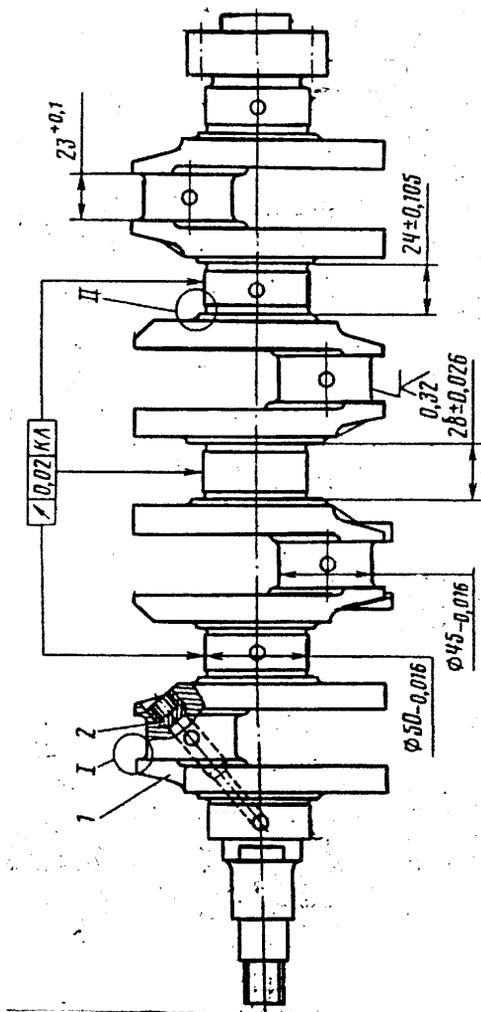


Рисунок 27 - Коленчатый вал грузового автомобиля

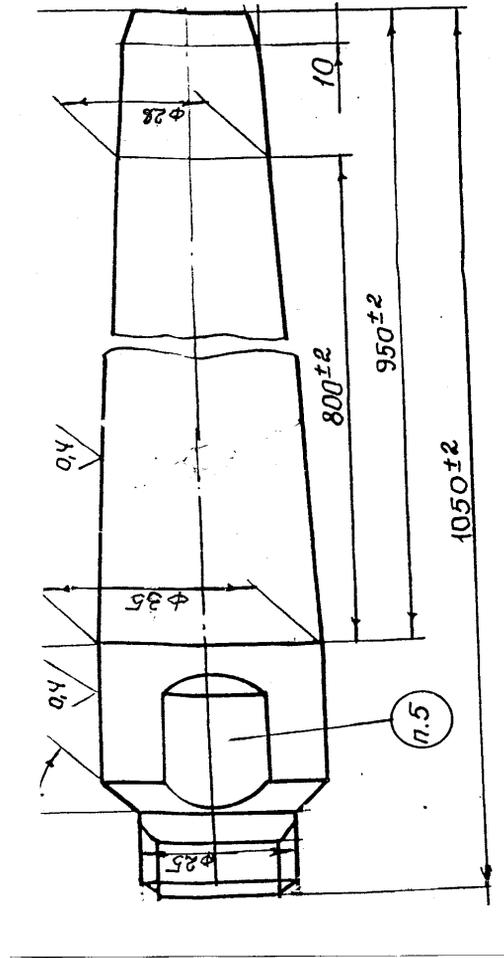


Рисунок 28 - Оправка прокатного стана

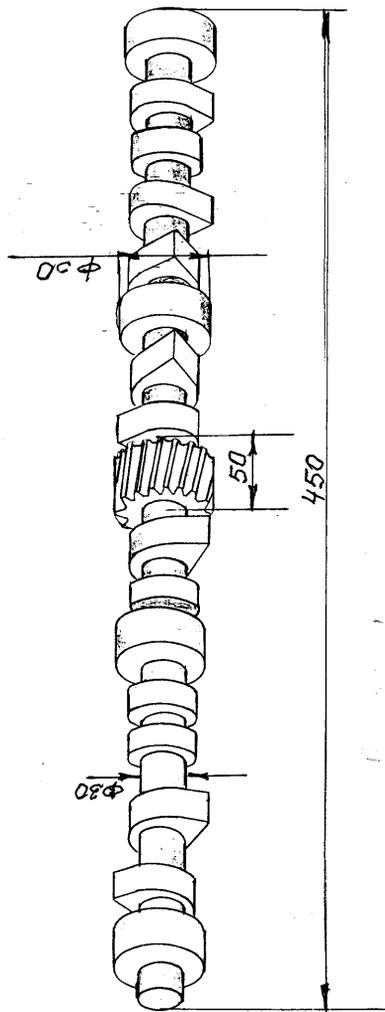


Рисунок 29 – Распределительный вал

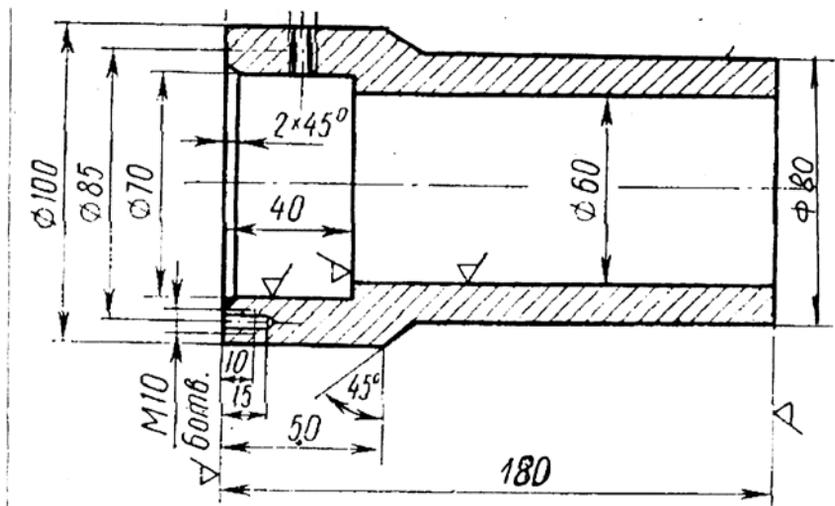
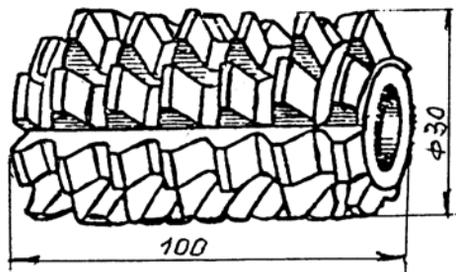


Рисунок 30 - Стакан цилиндра

Рисунок 31 -
Модульная фреза



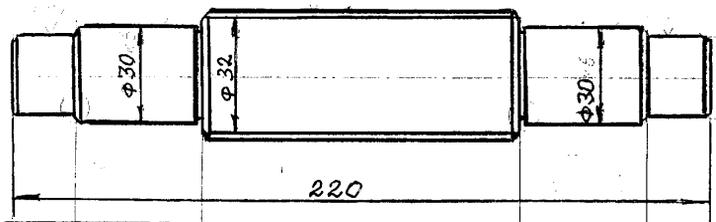


Рисунок 32 - Вал насоса

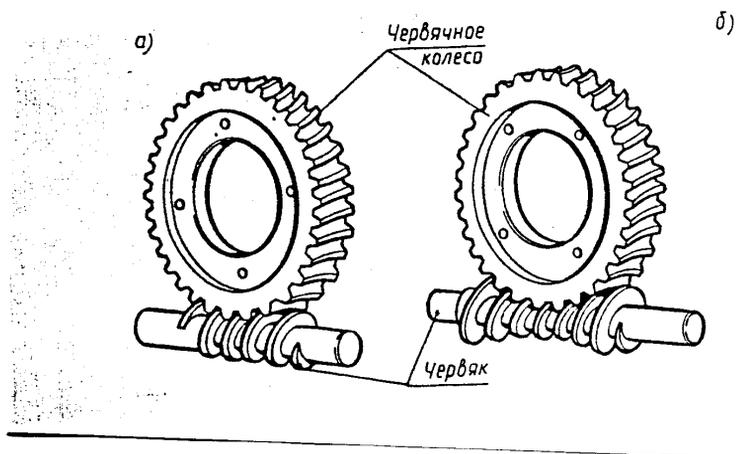


Рисунок 33 - Червяк

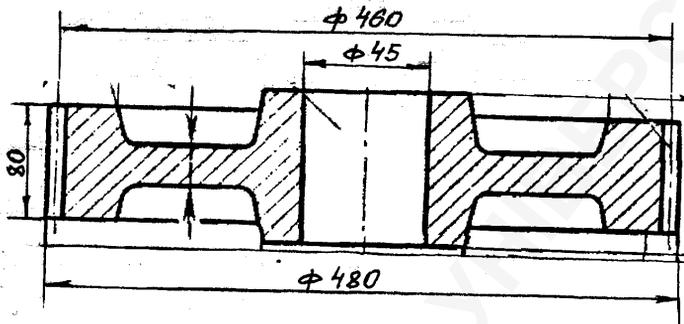


Рисунок 34 - Зубчатое колесо

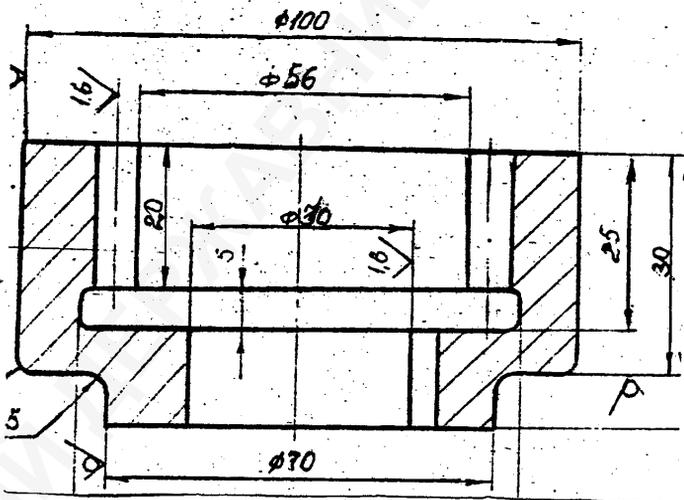


Рисунок 35 - Шестерня с внутренним зацеплением

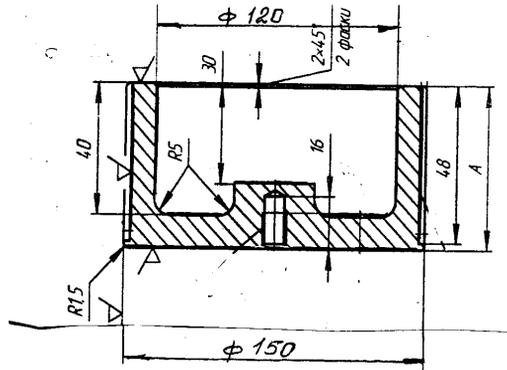


Рисунок 36 – Поршень цилиндра прессы

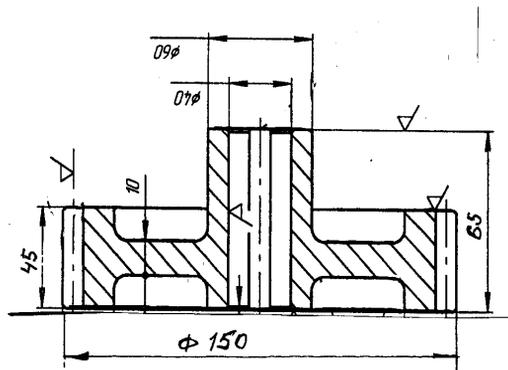


Рисунок 37 – Шестерня шестеренного насоса

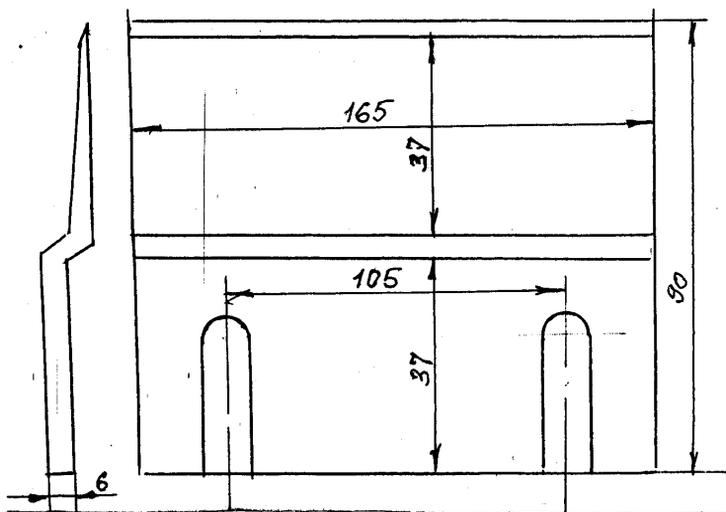
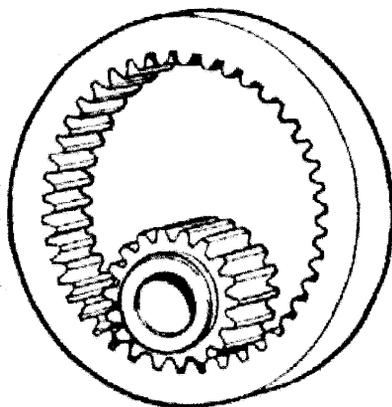


Рисунок 38а - Нож для резки

Рисунок 38 б - Пря-
мозубое колесо с
внутренним зацепле-
нием



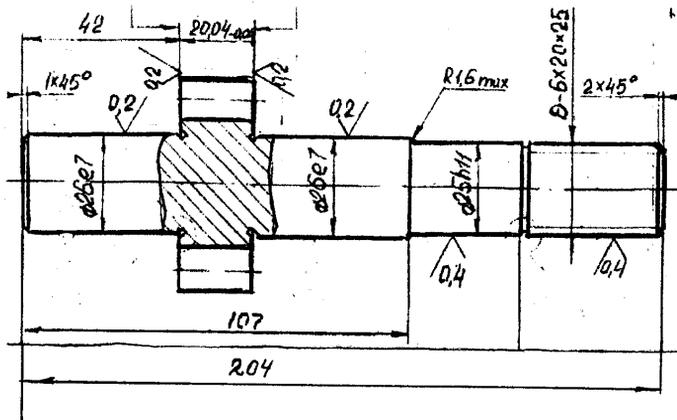


Рисунок 39 - Вал-шестерня волчка
К5-ФВЗП

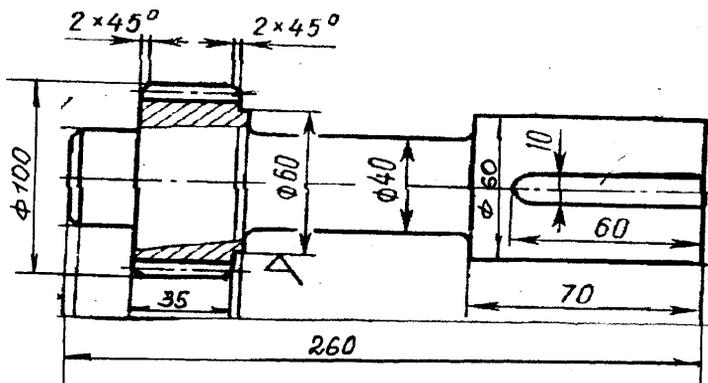


Рисунок 40 - Вал-шестерня координатного
расточного станка

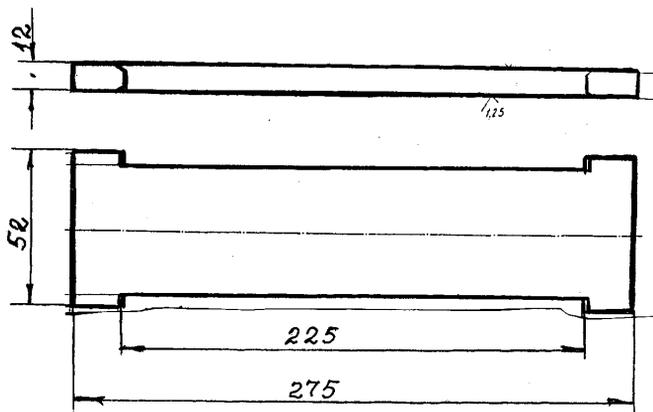


Рисунок 41 - Боковая пластина пресс-формы для

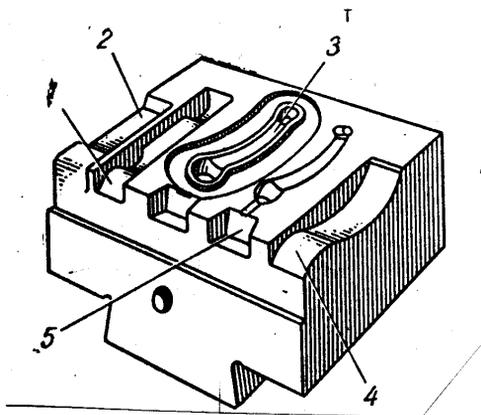


Рисунок 42 - Молотовой многоручьевой

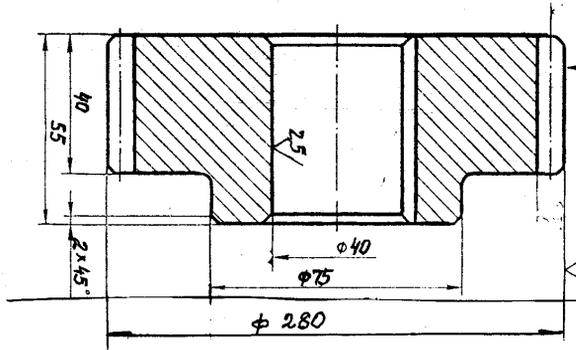


Рисунок 43 - Зубчатое колесо

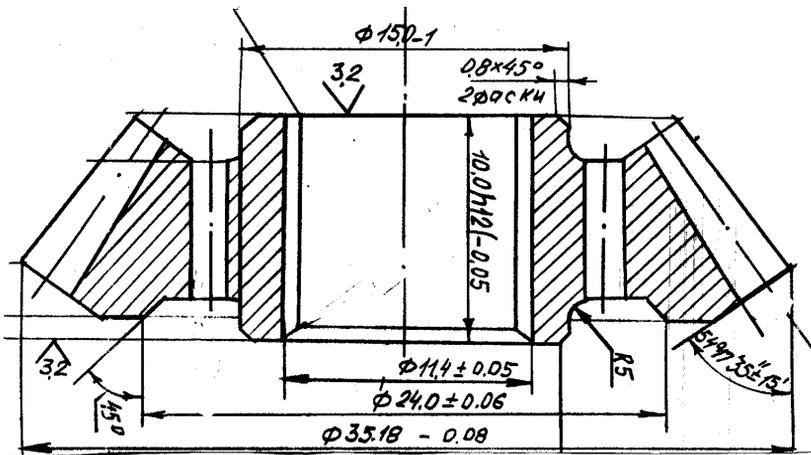


Рисунок 44 - Коническое колесо

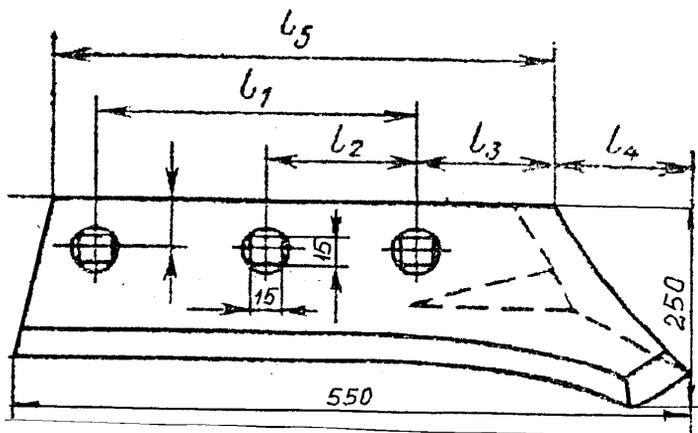


Рисунок 45 - Лемех плуга

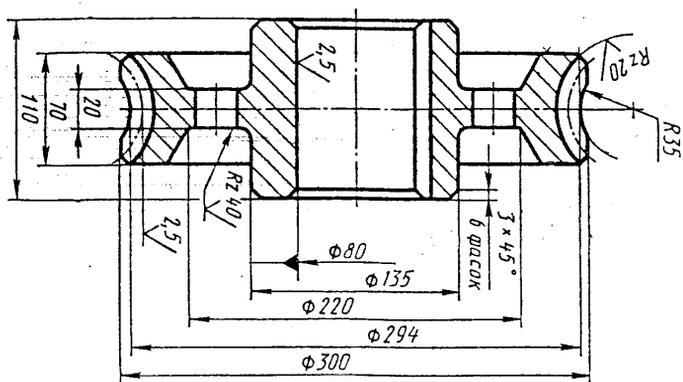


Рисунок 46 - Червячное колесо

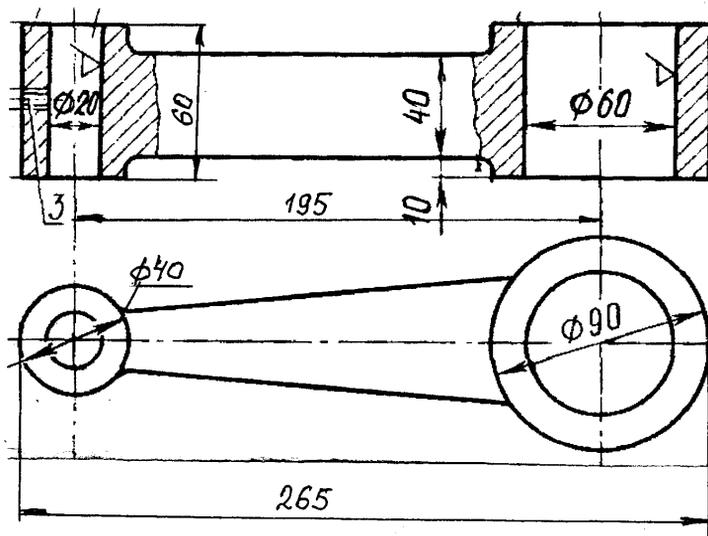


Рисунок 47 - Шатун коленвала

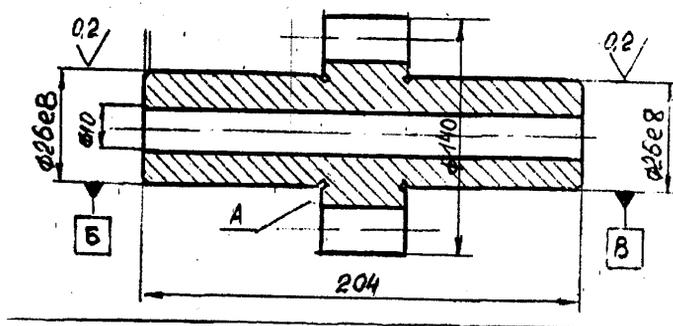


Рисунок 48 - Вал - шестерня

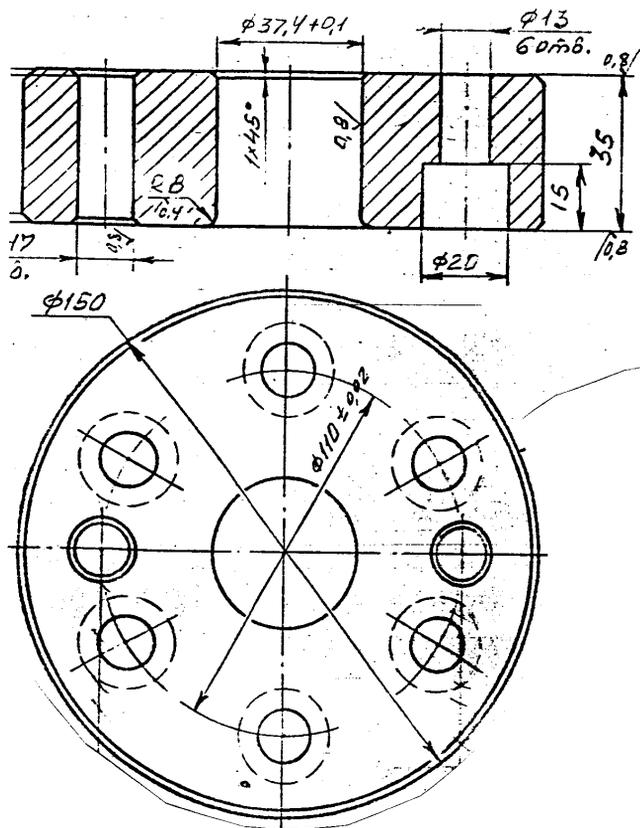


Рисунок 49 - Матрица вытяжного штампа

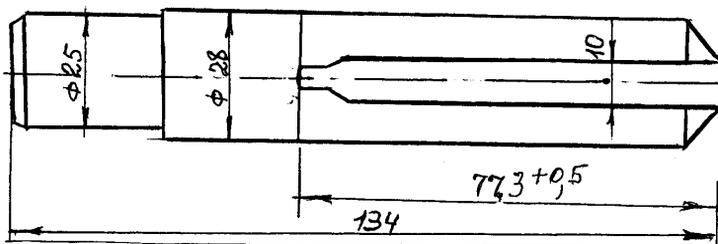


Рисунок 50 - Стержень литейной формы

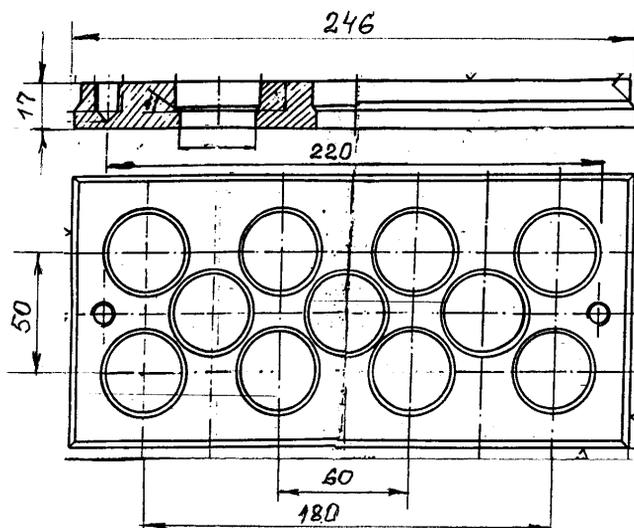


Рисунок 51 - Пуансондержатель - верхняя плита пуансона

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

*Министерство образования и науки Украины
Сумский государственный университет
Кафедра ПМ и ТКМ*

**По дисциплине ТКМ и МВ
Раздел «Материаловедение»**

КУРСОВАЯ РАБОТА **на тему** **«Калибр валково-роликовой клетки»**

Выполнил

студент группы

(ф.и.о.)

Проверил (а)

преподаватель

(ф.и.о.)

Сумы СумГУ – 2005

Содержание

- 1 Назначение и условия работы изделия.....
 - 2 Возможные причины возникновения дефектов
или выхода из строя в процессе эксплуатации.....
 - 3 Обоснование технических требований на готовое
изделие.....
 - 4 Выбор материала и влияние легирующих элементов
на его структуру и свойства.....
 - 5 Способ и маршрутная технология получения изделия.....
 - 6 Маршрутная технология механической обработки.....
 - 7 Диаграмма состояния двух компонентов выбранной
марки стали.....
 - 8 Выбор режимов прогрессивных процессов термической
или химико-термической обработки.....
- Список литературы.....

Задание. Калибр валково-роликовой клетки (рис. 1.) стана ХПТР - 15-30 изготовлен из стали ШХ15СГ с твердостью HRC 58-62. При прокатке труб из нержавеющей стали резко снизилась износостойкость калибра. Для повышения износостойкости калибра выполнить все требования к содержанию курсовой работы согласно задания.

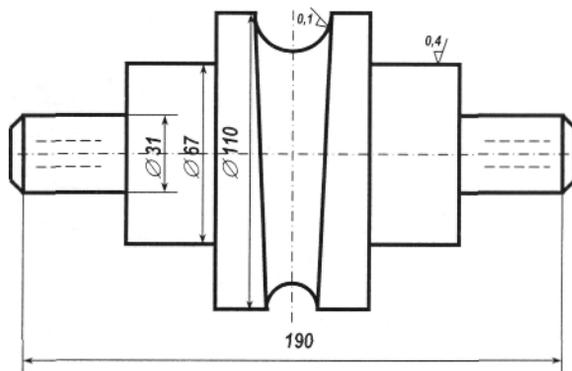


Рисунок 1 - Калибр валково-роликовой клетки

1 Назначение и условия работы изделия

Калибром на прокатных валках называется совокупность двух ручьев пары валков, ручьем - соответственно вырез определенного профиля на боковой поверхности (бочке) валка. Особенностью калибра валка стана холодной прокатки труб (ХПТ) является то, что ручей имеет переменный радиус на рабочей поверхности валка, и калибр имеет переменное сечение. При вращении валка калибр все время изменяет размер от минимального до максимального. Служат такие калибры для получения трубы с высоким качеством поверхности и точности размеров. Такие станы называются пилигримными, их особенность в том, что гильза (предварительная заготовка) надевается на оправку и прокатывается между валками, имеющими ручей переменной ширины и высоты по окружности, формируя калибр. При максимальном сечении калибра происходит подача гильзы - холостой ход. При дальнейшем повороте валков размер калибра уменьшается и происходит обжим гильзы до необходимого размера. В период обжатия на рабочую поверхность калибра действуют контактные напряжения значительной величины. В зоне деформации металла вследствие его перемещения формируются силы трения, обуславливающие износ поверхности оправки и калибра. Так как вытяжка на пилигримовых станах составляет до десяти, то действие сил трения оказывает существенное влияние на долговечность и надежность работы валков стана. Контактные напряжения и силы трения действуют периодически, что приводит к цикличности нагружения, соответствующее числу оборотов валков, и требует от материала валков высокого уровня сопротивления усталости. Особенностью эксплуатации валков ХПТ является то, что калибр входит в непосредственный контакт с прокатываемым материалом, который в процессе формирования труб претерпевает деформационное упрочнение - наклеп. Для обеспечения высокой точности размеров холодотянутой трубы и качества поверхности сам калибр должен быть износостойким и иметь такую толщину

металла высокой твердости на поверхности, которая бы не разрушалась (не продавливалась) под действием высоких контактных давлений, но и позволяла бы выполнять дополнительное шлифование для восстановления размеров и качества поверхности. Сердцевина валков должна быть достаточно вязкой - это предотвращает разрушение валков, особенно при нарушении режима работы стана ХПТ. В зависимости от деформируемого материала твердость поверхностного слоя может быть различна. Например, получение труб из цветных металлов требует твердости HRC 45-50, углеродистых материалов НКС 55-60, а для жаропрочных сталей необходимо использовать специальные высокопрочные стали или наносить износостойкие покрытия.

2 Возможные причины возникновения дефектов или выхода из строя изделия в процессе эксплуатации

Условия работы прокатных валков с переменным сечением калибра обуславливают сложное напряженное состояние в зоне калибра, где осуществляется непосредственно холодная деформация материала заготовки. С увеличением степени пластической деформации происходит его наклеп, сопровождаемый увеличением характеристик прочности, ростом твердости и сопротивления пластической деформации. Увеличиваются контактные нагрузки и силы трения в зоне деформирования. В результате может наблюдаться схватывание и налипание материала на рабочую поверхность калибра валка, которое вызывает резкое увеличение контактных напряжений и разрушение упрочненного поверхностного слоя валков, первоначальным образованием микротрещин, которые при дальнейшей эксплуатации будут развиваться и обуславливать усталостное разрушение - контактную усталость. Такое явление может возникнуть при недостаточной подаче смазочно-охлаждающих веществ в зону деформации. Выход из строя прокатного валка может быть обусловлен продавливанием упрочненного слоя контактными нагрузками при недостаточной или неравномерной его толщине. В связи с тем, что одним из основных требований надежной работы валков стана ХПТ является малая шероховатость поверхности, действие сил трения будут приводить к неравномерному изнашиванию материала калибра.

В связи с изменением свойств в процессе пластической деформации (наклепа) материала заготовки при изготовлении трубы резко уменьшается износостойкость калибра валка, поэтому целесообразно провести поверхностное упрочнение поверхности калибра, например, химико-термическую обработку - хромирование, борхромирование, хромоалитирование и др.

3 Обоснование технических требований на готовое изделие

Технические требования на изделие должны способствовать повышению надежности его работы в процессе эксплуатации. Цель технических требований - определить тот уровень структуры, свойств материала и точности геометрической формы с тем, чтобы максимально уменьшить дефектность поверхности и размеров, которые могут приводить к увеличению напряжений в процессе эксплуатации за счет их суммирования с остаточными технологическими напряжениями. Применительно к прокатным валкам важным является соосность опорных и рабочих поверхностей; при технологиях получения высокой твердости поверхности и ее износостойкости не должны создаваться остаточные напряжения, опасные для изделия при его эксплуатации; конструктивно форма изделия не должна иметь концентраторов напряжений. Таким образом, в технические требования на изготовление валков стана ХПТ целесообразно включить:

- поверхность калибра валков хромировать с толщиной слоя до 0,04 мм;
- контроль структуры после ХТО проводить на образцах-свидетелях;
- твердость рабочей поверхности ручьев HV 1300 - 1350;
- хромированную поверхность валков полировать;
- после окончательной механической обработки рабочую поверхность контролировать методом магнитной дефектоскопии, механические дефекты не допускаются;
- на галтелях перехода опорной поверхности и на рабочей поверхности дефекты металлургического характера также не допускаются;
- несоосность поверхностей цапф и калибра не более + 0,01 мм.

4 Выбор материала и влияние легирующих элементов на его структуру и свойства

В соответствии с заданием для изготовления валков стана ХПТ рекомендована шарико-подшипниковая сталь ШХ15СГ, которая преимущественно используется для изготовления деталей подшипников качения. В то же время в машиностроении используют ряд сталей, предназначенных для изготовления валков холодной прокатки.

Таблица - Химический состав и свойства сталей для рабочих валков холодной прокатки металла

Марка Стали	Химический состав, %							Критические температуры		
	C	Cr	Mn	Si	P	S	Другие элементы	A ₁	A _m	Mn
ШХ15СГ	0,90-1,1	1,30-1,65	0,9-1,2	0,4-0,65	0,027	0,02	Ni < 0,30 Cr < 0,25	750	910	205
9Х	0,85-0,95	1,4-1,7	0,15-0,4	0,25-0,45	0,03	0,03	Ni < 0,30 Cr < 0,25	745	860	270
9Х2МФ	0,8-0,9	1,7-2,1	0,2-0,7	0,25-0,50	0,03	0,03	Mo < 0,3 V < 0,2 Ni < 0,5	748	784	175

К сталям, используемым для изготовления валков-калибров холодной прокатки, предъявляются следующие требования:

- высокая твердость поверхностного слоя;
- высокое сопротивление износу;
- достаточная вязкость и прокаливаемость;
- отличная полируемость.

Важной частью процесса изготовления валков холодной прокатки является процесс получения заготовок соответствующего качества. Эти заготовки не должны иметь металлургических дефектов, и они должны иметь определенную регламентированную структуру до закалки. Для валков холодной прокатки, к которым предъявляются повышенные требования, применяют особо чистую сталь, которую получают методом вакуумно-дугового или электрошлакового переплава. Это производится для уменьшения

содержания газов в металле и более равномерного распределения неметаллических включений, а также их измельчения.

В процессековки заготовки суммарная степень деформации должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить требуемое уплотнение сердцевины. Так как сталь чувствительна к образованию флокенов, то обязательно следует проводить отжиг для предотвращения их образования.

Для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств валков-калибров их рабочая зона должна иметь структуру, состоящую из гомогенной мартенситной матрицы с тонкодисперсными карбидами. Чтобы получить такую структуру, необходимо перед закалкой иметь определенную исходную структуру. Так как поверхностное упрочнение может быть реализовано также индукционным нагревом и время аустенизации при этом мало, то оптимальной исходной структурой до закалки будет сорбитная структура, которую обеспечивает предварительное термоулучшение заготовки. При этом в структуре формируются небольшой величины карбидные частицы, малое расстояние между частицами упрочняющей фазы, отсутствие их строчечного и ликвационного распределения.

На формирование оптимальной структуры стали перед закалкой и после ее реализации оказывают влияние легирующие элементы (хром, кремний и марганец), содержащиеся в сталях (Cr, Mn, Si, Mo, V).

Молибден и ванадий являются сильными карбидообразующими элементами, способствуя измельчению зерна, понижению критической скорости закалки и увеличению прокаливаемости стали, замедляет скорость диффузионных процессов при нагреве.

При нагревании стали выше критических температур, которое сопровождается аустенитным превращением хром и кремний как легирующие элементы повышают критическую темпера-

туру A_{C1} (линия PSK на диаграмме железо-цементит), а марганец - понижает указанную температуру. Суммарное их влияние на точку A_{C1} зависит от процентного содержания данных элементов и составляет 750°C . Легирующие элементы, растворяясь в феррите, повышают его прочностные свойства. При температурах выше A_{C1} хром и кремний тормозят рост зерна аустенита, а марганец, наоборот, повышает склонность стали к росту зерна при нагреве. Так как сталь по составу является заэвтектоидной, то температура нагрева при термоулучшении составляет 820°C , при которой структура стали представляет собой аустенит и сложные карбиды железа и легирующих элементов. Для получения однородного аустенита сталь при температуре нагрева выдерживают до полного превращения перлита в аустенит. В зависимости от дальнейшей обеспечиваемой скорости охлаждения из аустенита будут образовываться различные структуры стали: феррит + цементит или мартенсит. Влияние легирующих элементов на превращение в стали при охлаждении проявляется в повышении устойчивости переохлажденного аустенита в интервале наименьшей его устойчивости, что на диаграмме изотермического превращения отмечается смещением вправо кривых, отвечающих за начало и окончание диффузионного распада аустенита. Марганец и хром наиболее резко увеличивают устойчивость переохлажденного аустенита, а кремний - менее эффективно. Влияние легирующих элементов заключается не только в изменении устойчивости аустенита, но также в смещении по температуре зон его минимальной устойчивости, а также на скорость протекания диффузионных процессов.

Существенное влияние хром и марганец оказывают на положение температур начала (M_n) и окончания (M_k) мартенситного превращения. Кремний практически не оказывает влияния. При

непрерывном охлаждении стали легирующие элементы (хром, марганец и кремний) способствуют уменьшению критической скорости закалки - минимальная скорость охлаждения, которая предотвращает диффузионный распад аустенита до температур мартенситного превращения и сокращает температурную зону между Mn и комнатной температурой. Уменьшение критической скорости закалки позволяет проводить охлаждение в менее энергичной среде - масле, что уменьшает вероятность коробления изделия и образования трещин. Кроме того, увеличивается прокаливаемость стали - формирование мартенситной структуры в значительно более крупных сечениях, чем в углеродистой стали без легирующих элементов.

Известно, что при закалке получается неравновесное состояние микроструктуры, т.е. фиксируется состояние пересыщенной твердости раствора, не свойственное нормальной температуре. С течением времени или при последующем нагревании (отпуске) неравновесное состояние будет стремиться перейти в равновесное и будет претерпевать превращение диффузионным путем. Поэтому при отпуске закаленной стали наличие легирующих элементов (Cr, V, Mo) будет тормозить процессы диффузии углерода и железа, смещая этим температуру превращения при отпуске в область более высоких значений.

С учетом стоимости материалов и необходимостью обеспечения работоспособности валков стана холодной прокатки труб на пилигримовом стане для их изготовления можно использовать сталь 9Х с поверхностным упрочнением.

5 Способ и маршрутная технология получения изделия

Основными технологическими процессами формообразования заготовок для изделий являются литейное производство, обработка металлов давлением (прокатка, ковка и штамповка) и комбинированные - сварно-литые или сварно-кованные.

Выбор того или иного способа формообразования заготовки должен определяться сложностью формы изделия, коэффициентом использования металла, технологическими свойствами используемого материала для изготовления детали, масштабом производства, процентом возможного брака, а также производственными возможностями предприятия.

Рабочие валки прокатных станков являются продукцией единичного производства и формирование заготовок можно осуществлять как литейным способом - в кокиль или электрошлаковое литье, так и обработкой давлением - ковкой.

Литейное производство характеризуется сравнительно высокой производительностью, но продукция (отливки) обладает существенными недостатками: неоднородностью структуры и ее разнотекучестью по сечению, а также наличием пористости и ликвации химических элементов. Для получения отливки требуемых геометрических размеров необходима специальная индивидуальная оснастка, что делает экономически выгодным применение данного производства только при серийном производстве. Из рассмотренных способов литейного производства более прогрессивным является получение заготовок спецметодами литья из электрошлакового переплава, которое позволяет резко увеличить коэффициент использования металла, уменьшить величину припусков и уклонов, практически исключить необходимость применения вспомогательных формовочных материалов; получать хорошее качество металла отливки за счет электрошлакового переплава металла.

Обработка металлов давлением основана на использовании свойства пластичности металла - способности изменять формы и размеры исходного состояния под действием внешних нагрузок и не разрушаться при этом. Основным способом формообразования крупных заготовок – поковок - является ковка, когда металл имеет возможность распространяться под действием усилий молота или прессы в направлениях, ограниченных подкладными штампами или неограниченным инструментом. Использование подкладного инструмента и разнообразие операцийковки позволяет получить поковки достаточно сложной формы. Обработка исходной заготовки ведется в нагретом состоянии до температуры 1000-1200⁰С, что существенно уменьшает усилие деформирования и позволяет «уплотнить» материал исходной заготовки (слитка).

Таким образом, наиболее целесообразным способом формообразования заготовки для получения валков стана ХПТ можно считать ковку или спецотливку. Одна из схем общей маршрутной технологии рабочего валка приведена на рис.1.

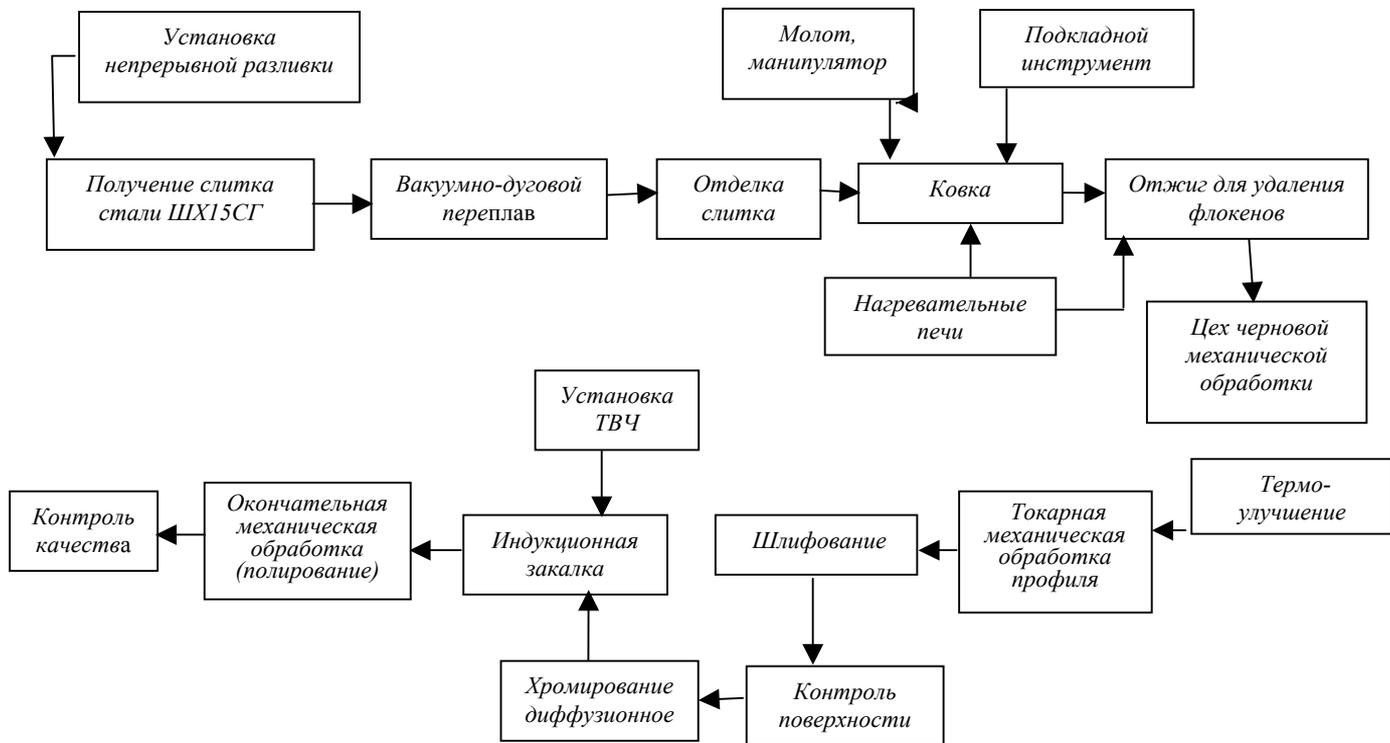
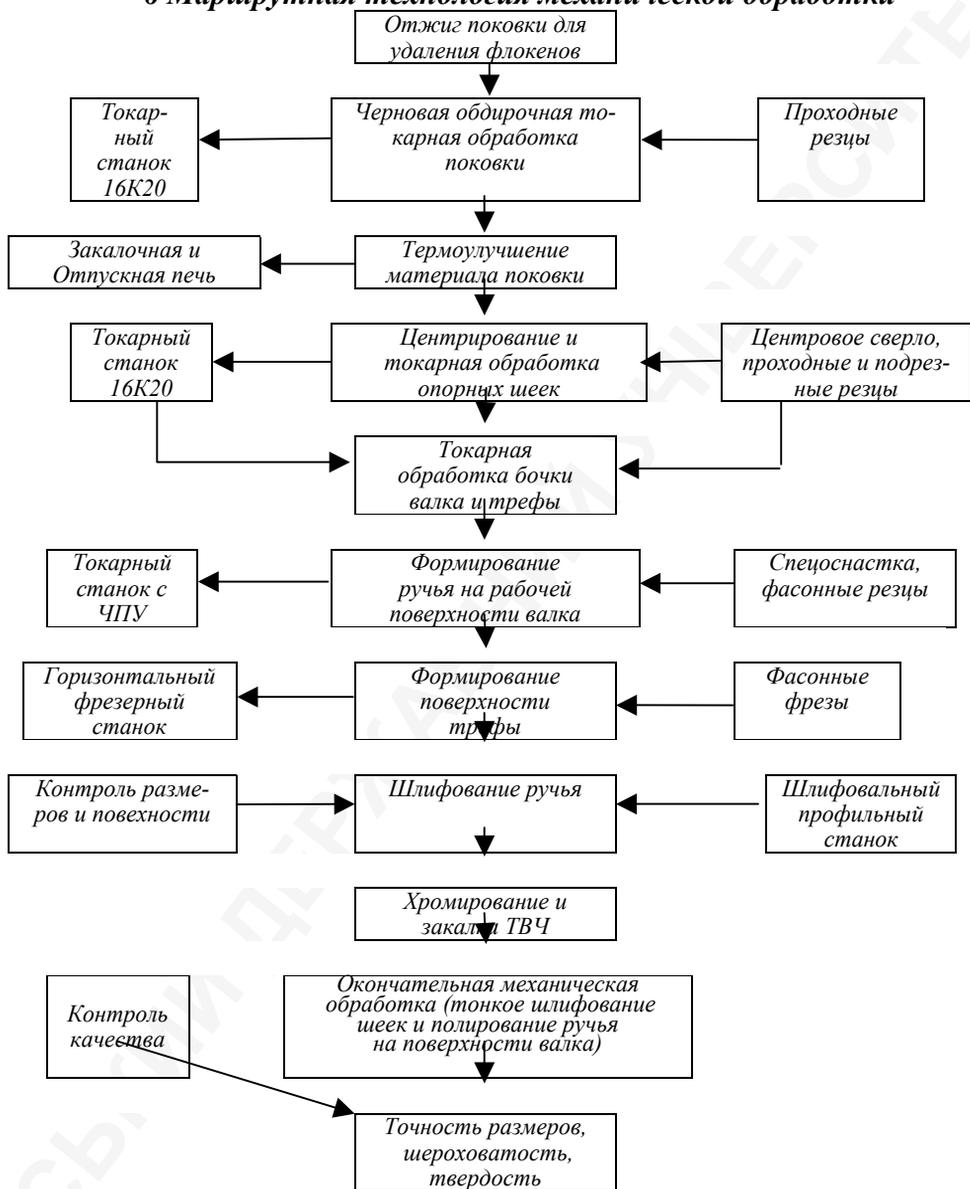


Рисунок 1 - Блок - схема процесса изготовления валков холодной прокатки

6 Маршрутная технология механической обработки



7 Диаграмма состояния двух компонентов

выбранной марки стали

Описание структурно-фазовых зон и превращений по диаграмме (рис. 1).

В сплавах при охлаждении происходят изменения и образуются новые фазы и структуры. Система железо-цементит не является полностью стабильной, так как карбид железа Fe_3C при определенных условиях нагрева неустойчив и распадается с образованием свободного углерода - графита. Система железо-цементит, в которой возможен необратимый распад цементита, является метастабильной. Превращения, совершающиеся в равновесной системе, всегда полностью обратимы. Так как железо, кроме того что образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , имеет две аллотропические формы твердых растворов α и γ , α - железо с кубической объемно-центрированной решеткой, γ - железо с кубической гранецентрированной решеткой. В системе существуют следующие фазы: феррит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в решетке α - железа. Различают α - феррит с растворимостью углерода при $727^{\circ}C$ до 0,03 % и высокотемпературный δ - феррит с предельной растворимостью углерода 0,1% при $1490^{\circ}C$. С понижением температуры до комнатной при $20^{\circ}C$ - концентрация углерода у α -железа составляет 0,006% - чистое железо (ломка железа). Твердость феррита HB 80, предел прочности $\sigma_s = 250$ Мпа.

Аустенит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в решетку γ -железа с предельной концентрацией 2,14% C при температуре $1147^{\circ}C$, с понижением температуры до $727^{\circ}C$ концентрация углерода снижается до 0,8%С.

Растворимость углерода у γ - железа больше, чем у α - железа. Аустенит немагнитен, обладает меньшим удельным объемом, чем феррит. Аустенит пластичен $\delta = 40-50$ %, имеет твердость HB 160-200.

Цементит - это химическое соединение углерода с железом (карбид железа) Fe_3C . Особенность цементита - исключительно

высокая твердость ($HV \sim 800$) и хрупкость. Содержание углерода 6,67 %. Температура плавления цементита точно не определена и составляет ($1250-1600^{\circ}C$). При около $1500^{\circ}C$ он неустойчив и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита.

Структура - это смесь нескольких фаз с определенным их взаимным расположением. Для диаграммы «железо-цементит» характерны такие структуры, как:

- **перлит** - эвтектоидная (механическая) смесь феррита и цементита при содержании углерода 0,8%, $HV \sim 240-260$. Стали, имеющие структуру «перлит», обладают хорошей прочностью и достаточной пластичностью;

- **ледебурит** – эвтектическая (механическая) смесь аустенита первичного цементита с содержанием углерода 4,3%. Превращенный ледебурит - эвтектоидная смесь феррита, первичного и вторичного цементита, $HV \sim 700$.

Линия АСД на диаграмме состояния $Fe-Fe_3C$ отражает начало процесса кристаллизации – линия ликвидус. Линия АЕСД отражает окончание процесса кристаллизации – линия солидус. Между указанными линиями сплавы находятся в двухфазном состоянии - жидком и твердом. Непосредственно линия ЕСF характеризует протекание эвтектической реакции с образованием из жидкости механической смеси - ледебурита, что характерно для чугунов. Линия ES характеризует изменение растворимости углерода в аустените от 2,14% (т.Е) до 0,8% (т.С). Линия PSK отражает протекание эвтектоидного превращения с образованием из твердого раствора аустенита механической смеси - перлита. Линия GS характеризует начало перекристаллизации аустенита в феррит, а линия GP - окончание этой перекристаллизации. Линия PQ показывает изменение растворимости углерода в феррите с понижением температуры от 0,023% до 0,006%, что обуславливает образование цементита (Fe_3C).

В зависимости от содержания углерода стали различаются: эвтектоидные, содержащие 0,8% углерода; доэвтектоидные - менее 0,8% углерода и заэвтектоидные, содержащие от 0,8 до 2,14% углерода. В метастабильной системе (железо-цементит) белые чугуны различают: эвтектические, содержащие 4,3% углерода со структурой ледобурита; доэвтектические - содержащие от 2,14 до 4,3% углерода; заэвтектические - содержащие углерода свыше 4,3 до 6,67% со структурой цементита первичного и ледобурита.

Построение кривых нагрева и охлаждения

Заданный сплав, содержащий 6,2 % углерода, является заэвтектическим белым чугуном, структура которого при комнатной температуре состоит из кристаллов цементита (первичного) и ледобурита превращенного, т.е. $\text{Ц}_1 + \text{Л} (\text{П} + \text{Ц})$.

При нагреве данного сплава до температуры t_6 , лежащей на линии PSK , фазовых превращений не протекает. При температуре t_6 происходит обратное эвтектоидное превращение перлита, содержащегося в ледобурите, в твердый раствор - аустенит:



Так как в превращении участвуют три фазы (Φ ; Ц ; А), то степень свободы в соответствии с законом Гиббса ($C = K - f + 1$), $\theta = 2 - 3 + 1 = 0$. Это означает, что данное превращение происходит при постоянной температуре, и тогда при указанном превращении на кривой нагрева будет наблюдаться горизонтальный участок $6/6'$. После завершения превращения структура сплава будет $\text{Л} (\text{А} + \text{Ц}) + \text{Ц}_1$. Такое состояние сохраняется до температуры t_7 , лежащей на линии (ECF) эвтектического превращения. Сплав при этой температуре будет претерпевать обратное эвтектическое превращение, сопровождающееся образованием жидкости из механической смеси - ледобурита: $\text{Л} (\text{А} + \text{Ц}) \rightarrow \text{Ж}_C$. Протекает при постоянной температуре (1147°C) и на кривой нагрева также будет наблюдаться горизонтальные участки $7-7'$, т.к. в реакции участвуют тоже 3 фазы.

После завершения превращения сплав будет состоять из жидкости и кристаллов цементита, т.е. Ж + Ц₁. Двухфазное состояние сохраняется до температуры t_B , лежащей на линии ликвидус, на которой завершается расплавление кристаллов цементита. Выше температуры линии ликвидус сплав будет находиться в однофазном жидком состоянии.

Количественное содержание фаз при температуре t_K определяем по правилу отрезков, используя отношение соответствующих отрезков коноды ($m-n$) к ее длине:

$$Q_{\text{ж}} = \frac{(k - n)_{\text{ММ}}}{(m - n)_{\text{ММ}}} \cdot 100\% = \frac{10}{35} \cdot 100 = 28,5\%$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{(m - k)_{\text{ММ}}}{(m - n)_{\text{ММ}}} \cdot 100\% = \frac{25}{35} \cdot 100 = 71,5\%$$

Сплав, содержащий 1,8 % углерода, является сталью со структурой, соответствующей заэвтектоидному составу: перлит и цементит (вторичный), который располагается преимущественно по границам зерен перлита. При построении кривой охлаждения используется правило Гиббса ($C = K - f + 1$), которое устанавливает зависимость между числом фаз (f), находящихся в равновесии, числом компонентов (K) образующих систему, и числом степени свободы, отражающей характер изменения температуры во времени. При температуре t_1 сплав находится в жидком однофазном состоянии, которое сохраняется до температуры t_2 , лежащей на линии ликвидус - АСД. При температуре t_2 жидкость начинает кристаллизоваться с образованием кристаллов аустенита. Двухфазное состояние сохраняется в интервале температур 2-3. При температуре t_3 , лежащей на линии солидус, процесс кристаллизации завершается, и ниже указанной температуры сплав будет в однофазном аустенитном состоянии ($f = 1$; $C = 2$). Такое состояние сохраняется до температуры t_4 и при дальнейшем понижении температуры из аустенита будет выделяться избыточная фаза - цементит вторичный вследствие

уменьшения растворимости углерода в аустените. С понижением температуры количество цемента вторичного увеличивается, а содержание углерода в аустените доходит до 0,8 %. При температуре t_5 , лежащей на линии PSK, происходит эвтектоидное превращение твердого раствора аустенита в механическую смесь - перлит, состоящую из двух фаз (феррит и цементит). Превращение записывается в виде



Так как в превращении участвует три фазы (A; Φ ; Ц), то степень свободы будет $0 = 2 - 3 + 1 = 0$. Это означает, что эвтектоидное превращение протекает при постоянной температуре, и на кривой охлаждения будет наблюдаться горизонтальный участок 5-5'. После окончания превращения структура сплава будет состоять из двух фаз (Φ ; Ц). Дальнейшее понижение температуры не будет приводить к изменению фазового состояния. На рис.1 приведены кривая охлаждения сплава с содержанием углерода 1,8 % и схема структуры при комнатной температуре.

Для определения количественного соотношения фаз (A; Ж), находящихся в равновесном состоянии при заданной температуре (t_K), используем правило отрезков: проводим коноду (отрезок $t-n$) и по отношениям полученных отрезков находим:

$$Q_{\text{ауст}} = \frac{(k - n)_{\text{мм}}}{(m - n)_{\text{мм}}} \cdot 100\% = \frac{10}{43} = 23,5\%,$$

$$Q_{\text{жс}} = \frac{(m - k)_{\text{мм}}}{(n - m)_{\text{мм}}} \cdot 100\% = \frac{33}{43} \cdot 100 = 76,5\%.$$

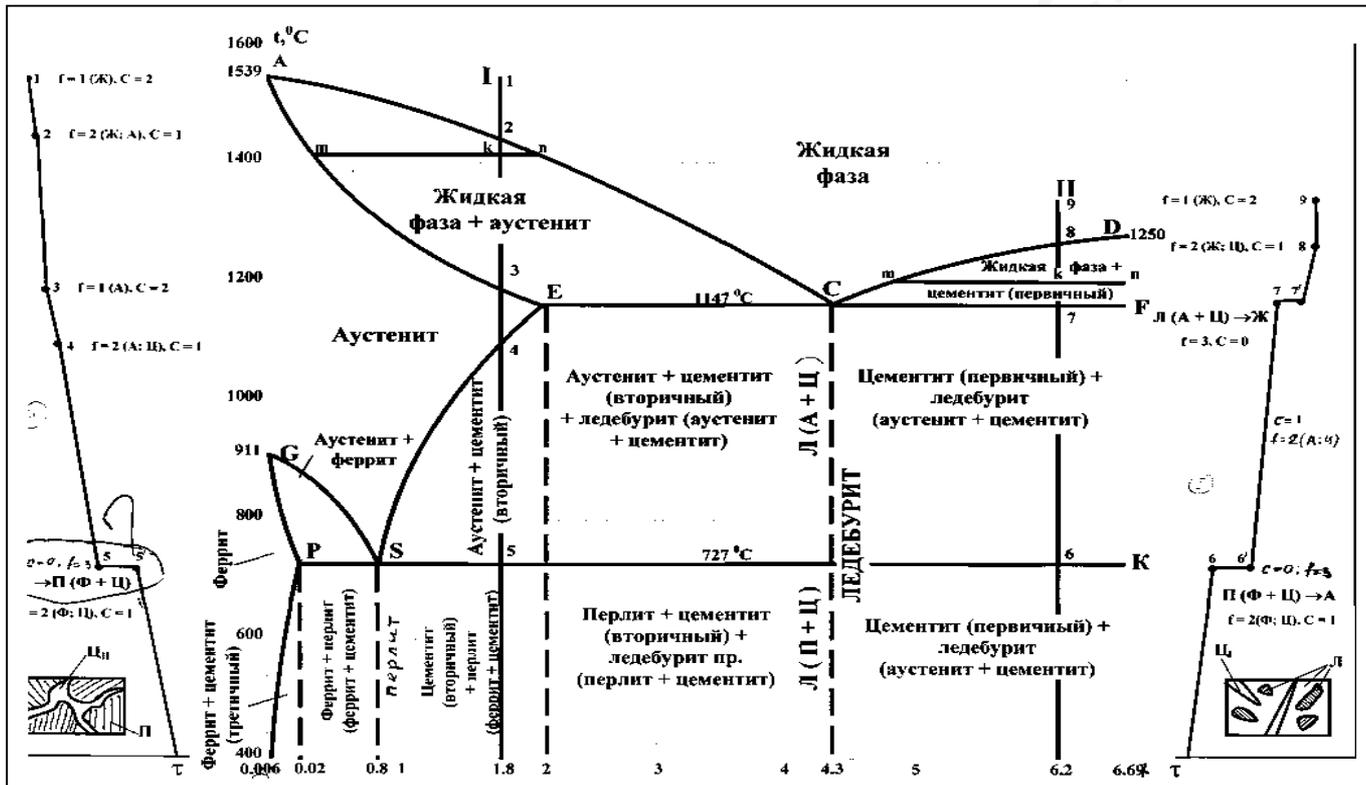


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-цементит (а) и кривые охлаждения, нагревания (б) заданного сплава

8 Выбор режимов термической или химико-термической обработки

В связи с необходимостью высокой износостойкости поверхности калибра валков холодной прокатки труб назначаем для высокоуглеродистой стали 9Х - химико-термическую обработку - хромирование - процесс насыщения поверхностного слоя стали хромом.

Хромирование будем осуществлять в порошкообразных смесях, состоящих из 50 % феррохрома, 49 % глинозема и 1 % хлористого аммония. Температура хромирования составляет 1000 - 1050°С с выдержкой 6-10 часов для формирования слоя толщиной 0,04 мм. При хромировании в смеси протекают реакции:



При контакте поверхности детали с газообразным хлоридом хрома происходит реакция $\text{CrCl}_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{Cr}$.

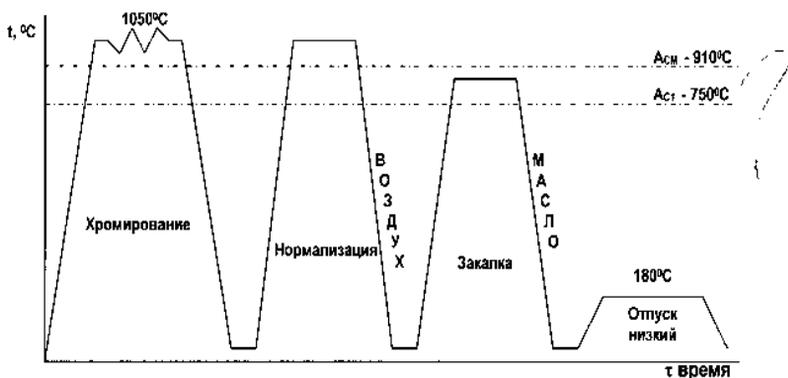
Образующийся атомарный хром диффундирует в поверхность детали. Хромирование можно осуществлять газовое или жидкостное.

В зависимости от содержания углерода в хромированной стали фазовый состав и свойства хромированного слоя получают различными.

Хромированный слой на поверхности валка-калибра из стали 9Х состоит преимущественно из карбидов хрома Cr_{23}C_6 и Cr_7C_3 ближе к середине сердцевины. В зоне, расположенной непосредственно за хромированным слоем, содержание углерода повышено по сравнению с содержанием углерода в сердцевине стали в связи с тем, что не весь продиффундировавший к поверхности углерод используется для образования карбидного поверхностного слоя, так как скорость диффузии углерода больше скорости диффузии хрома. Твердость поверхности на валках-калибрах будет дости-

гать HV 1400-1650, что и обеспечивает более высокую износостойкость.

После хромирования следует провести термическую обработку (рис.1.) для получения требуемых свойств сердцевины стали: достаточную твердость и прочность. Если свойства основного материала будут иметь низкие значения твердости и прочности, то под действием высоких контактных нагрузок в процессе эксплуатации хромированный износостойкий слой будет продавлен и разрушен, что делает невозможным дальнейшую эксплуата-



цию валков ХПТ.

Рисунок 1 – График химико-термической обработки валков ХПТ, изготовленных из стали 9Х

После хромирования целесообразно провести нормализацию для перекристаллизации структуры стали и устранения возможной сетки карбидов в связи с длительным нагревом при высокой температуре, так как сталь 9Х является заэвтектоидной по составу. Температура нагрева под закалку составляет 850-870°C. При указанной температуре в сердцевине формируется структура стали, которая состоит из аустенита и избыточных карбидов. При дальнейшем охлаждении стали со скоростью выше критиче-

ской (в масле) аустенит будет претерпевать бездиффузионное превращение с образованием структуры мартенсита - пересыщенный твердый раствор внедрения атомов углерода в решетке α - железа. Процесс сопровождается перестройкой решетки ГЦК \rightarrow ОЦК по сдвиговому механизму, и атомы углерода остаются в новой кристаллической решетке, изменяя ее геометрические размеры, что приводит к ее тетрагональности, т.е. отношение $c/a > 1$.

Наличие внедренных атомов углерода и блокировки перемещения дислокаций способствует значительному повышению твердости стали до HRC 63-65. После закалки структура стали состоит из мелкоугольчатого мартенсита, карбидов и незначительного (до 5 %) количества остаточного аустенита. С целью уменьшения остаточных напряжений в структуре стали непосредственно после закалки проводится низкий отпуск при температуре 200-220°C. При указанной температуре происходит образование карбидов, которые когерентно связаны с решеткой мартенсита. Такая структура называется мартенситом отпуска. Наличие остаточного аустенита в стали не будет сказываться на снижении износостойкости стали, так как на поверхности валка находится хромированный износостойкий слой. Таким образом, после полного цикла хромирования и окончательной термической обработки структура поверхностного слоя будет состоять: из карбидов хрома с $HV \sim 1600$, затем структура мартенсита отпускаемого с равномерно распределенными дисперсными карбидами железа и незначительным количеством остаточного аустенита. Толщина закаленного слоя сердцевины валка зависит от прокаливаемости стали и составляет для данной стали 40-50 мм, что вполне достаточно для высокого сопротивления контактными циклическим нагрузкам.

Предел прочности $\sigma_{\text{в}} = 2250$ МПа;
предел текучести $\sigma_{0,2} = 1900$ МПа;

твердость HRC 62-64;

предел усталости $\sigma_{-1} = 750 \text{ Мпа}$ при $N = 4 \cdot 10^7$ циклов.

Окончательной обработкой термически обработанных валков ХПГ должна быть полировка поверхности калибров алмазными пастами, так как уменьшение величины микрогеометрии поверхности способствует снижению коэффициента трения, и значит, увеличению износостойкости поверхности.

Для повышения износостойкости поверхности валков можно изготовить индукционный поверхностный нагрев. Тогда после хромирования следует провести термоулучшение для упрочнения сердцевины валка.

Перед индукционным нагревом следует провести окончательную механическую обработку. После поверхностной закалки ТВЧ твердость валков на глубину 5-10 мм составила HRC 60-62. На калибрующей части хромированного слоя HV~1600.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. - М.: Металлургия. 1977.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. *Материаловедение*. - М.: Машиностроение, 1980.
3. Сорокин В.Г. *Марочник сталей и сплавов*. - М.: Машиностроение. 1989.
4. Геллер Ю.А. *Инструментальные стали*. - М.: Металлургия, 1975.
5. Сигова В.И. *Методические указания к выполнению курсовой работы*. –Сумы: СумГУ.2004.
6. *Методические указания к выполнению лабораторных работ по термической и химико-термической обработке углеродистых сплавов*. –Сумы: СумГУ, 1995.