

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Технический сервис»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки (специальность): 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы: Технические системы в агробизнесе

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	4
Лекция 1 (Л-1) Введение. Кристаллическое строение вещества. Кристаллизация	4
Лекция 2 (Л-2) Пластическая деформация и рекристаллизация металлов	13
Лекция 3 (Л-3) Железо и его сплавы	25
Лекция 4 (Л-4) Углеродистые стали и чугуны	33
Лекция 5 (Л-5) Теория термической обработки стали	42
Лекция 6 (Л-6) Технология термической обработки стали	48
Лекция 7 (Л-7) Легированные стали. Цветные металлы и сплавы	60
Лекция 8 (Л-8) Цветные металлы и сплавы. Электротехнические материалы	66
Лекция 9 (Л-9) Порошковые, композиционные и неметаллические материалы	72
Лекция 10 (Л-10) Основы литейного производства	87
Лекция 11 (Л-11) Литейные сплавы. Специальные способы литья	90
Лекция 12 (Л-12) Теоретические основы обработки металлов давлением	93
Лекция 13 (Л-13) Производственные процессы ОМД	96
Лекция 14 (Л-14) Теоретические основы сварки металлов	100
Лекция 15 (Л-15) Сварочные напряжения и деформации. Технологические основы сварки	117
Лекция 16 (Л-16) Свариваемость. Сварочные материалы	128
Лекция 17 (Л-17) Сварка чугуна. Наплавка. Пайка	145
Лекция 18 (Л-18) Основные сведения о процессе резания металлов и режущем	152
Лекция 19-20 (Л-19,20) Явления возникающие в процессе резания металлов	161
Лекция 21 (Л-21) Обработка материалов на станках токарной группы	172
Лекция 22 (Л-22) Обработка материалов на станках сверлильной группы	180
Лекция 23 (Л-23). Обработка материалов на станках фрезерной группы	192
Лекция 24 (Л-24) Обработка материалов на станках строгальной группы	200
Лекция 25 (Л-25) Обработка материалов на станках шлифовальной группы	205
Лекция 26 (Л-26) Физико-химические способы обработки металлов. Станки с ЧПУ	220
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	233
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--1 Измерение твердости металлов	233
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--2 Микроанализ металлов и сплавов	245
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--3 Построение и анализ диаграмм состояния сплавов	249
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--4 Макроанализ металлов и сплавов	255
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР-- 5 Анализ диаграммы состояния сплавов железо – цементит	261
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--6 Структура железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии	270
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--7 Классификация и маркировка углеродных сталей и чугунов	275
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--8 Термическая обработка углеродистой стали	282
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР-- 9 Цветные металлы и сплавы	289
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--10 Расчет шихты	302
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--11 Разработка технологического процесса изготовления отливки	305
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--12 Разработка технологического процесса изготовления поковки	310
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--13 Оборудование для газовой сварки и резки металлов	317
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--14 Источники сварочного тока	320
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР-- 15 Определение технологических коэффициентов	

электродов.....	325
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--16 Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки.....	328
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--17 Контактная точечная сварка	336
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--18 Влияние режимов резания на силы резания.....	339
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--19 Влияние режимов резания на температуру резания	350
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--20 Геометрия спирального сверла, зенкера и развертки.	359
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--21 Геометрия токарного резца.....	371
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--22 Кинематическая схема станка марки 6Н11	381
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--23 Универсальная делительная головка УДГ-135	389
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--24 Кинематическая схема 1К62	397.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--25 Кинематика станка модели 7Б35	405
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №ЛР--26 Электронный токарный станок с ЧПУ Smart-turn 7/200 1000.....	414

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Введение. Кристаллическое строение вещества. Кристаллизация.»
(указывается тема лекции в соответствии с рабочей программой дисциплины)

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Введение
2. Аморфные и кристаллические тела. Структурный анализ.
3. Атомно - кристаллическое строение металлов.
4. Кристаллизация.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Введение

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства конструкционных материалов, а также влияние на них химического состава, температуры и других факторов.

Материаловедение и технология конструкционных материалов относится к числу важнейших учебных дисциплин для инженерных специальностей. Это связано прежде всего с тем, что проектирование и эксплуатация рациональных, конкурентоспособных изделий, организация их производства, обслуживания и ремонта невозможны без должного технологического обеспечения и достаточного уровня знаний в области материаловедения. Наконец, материаловедение и технология конструкционных материалов служат базой для изучения многих специальных дисциплин, например, сопротивление материалов, детали машин, тракторы и автомобили, сельскохозяйственные машины и др.

Несмотря на то, что материаловедение сравнительно молодая наука (ее основы заложены только во второй половине XIX в.), она уже достигла высокого уровня развития. Большой вклад в нее внесли как отечественные, так и зарубежные ученые. Великий русский ученый М.В. Ломоносов развил атомно-молекулярное представление о строении вещества, опубликовал руководство по металлургии, впервые описал отличительные свойства металлов (металлический блеск и пластичность) и указал пути получения сплавов с требуемыми свойствами.

Открытая Д.И. Менделеевым периодическая система элементов, позволила объяснить закономерности изменения свойств металлов в зависимости от их атомно-кристаллического строения.

П.П. Аносов (1797-1851), считая структуру одним из важнейших факторов, определяющих качество стали, первым применил микроскоп для изучения её структуры, раскрыл секрет изготовления булатной стали. П.П. Аносов впервые также разработал и описал процесс газовой цементации стали.

Основоположником металловедения как науки является Д.К. Чернов (1839-1921). Он указал, что свойство стали определяется не только ее химическим составом, но и строением. Он установил, что при определенных температурах нагрева, в стали протекают превращения, изменяющие ее строение, а значит, и свойства. Им разработаны основы термообработки.

1.2. Аморфные и кристаллические тела. Структурный анализ

Все существующие в природе твердые неорганические тела по своим свойствам делятся на два класса: кристаллические и аморфные.

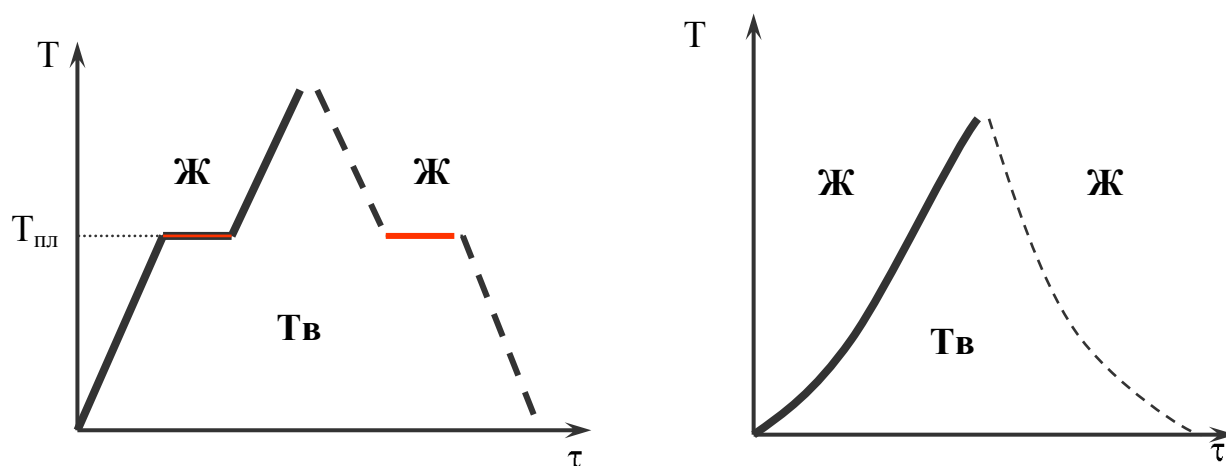


Рис. 1. Температурные кривые кристаллического и аморфного вещества

Кристаллические тела остаются твердыми, т.е. сохраняют свою форму, до вполне определенной температуры, при которой они переходят в жидкое состояние. При охлаждении процесс идет в обратном направлении. При этом температура плавления остается постоянной, а процесс плавления или кристаллизации происходит в течение некоторого времени при постоянном значении температуры, о чем свидетельствует горизонтальный участок представленных графиков.

Аморфные тела («бесформенные») при нагреве размягчаются в большом температурном интервале. Они постепенно становятся вязкими, а затем переходят в жидкое состояние. Критические точки на графиках отсутствуют.

Кристаллическое состояние твердого тела более стабильно, чем аморфное. Кристаллические тела характеризуются упорядоченным расположением элементарных частиц в пространстве, т.е. вблизи атома *A* и вдали от него. Поэтому говорят о наличии в кристалле дальнего порядка упаковки. Для аморфных тел вблизи атома *A* также наблюдается порядок. С удалением от атома *A* порядок все больше нарушается. Поэтому можно говорить о наличии лишь ближнего порядка. В аморфных телах существует неупорядоченное расположение элементарных частиц.

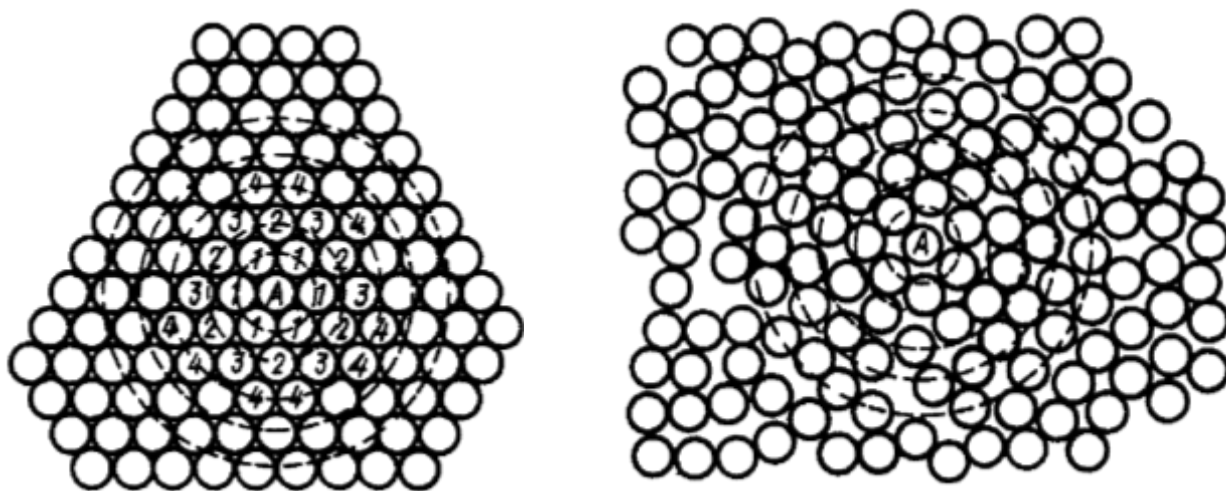


Рис.2. Дальний и ближний порядок расположения атомов

Свойства кристалла зависят от электронного строения атомов и характера их взаимодействия, от пространственного расположения элементарных частиц, химического состава, размера и формы кристаллов. Все эти детали строения кристаллов описывает понятие – структура.

Структура (в пер. с лат. *structura* – строение, расположение, порядок) – совокупность устойчивых связей, обеспечивающих целостность материала и тождественность самому себе. Другими словами структура – это внутреннее строение материала. В зависимости от размеров структурных составляющих и применяемых методов их выявления используют такие понятия как тонкая структура (субструктура), микро- и макроструктура.

Макроструктура – строение выявляемое невооруженным глазом или при небольших увеличениях с помощью лупы (X до 30). Исследование макроструктуры, несмотря на простоту, является очень ценным методом изучения материалов.

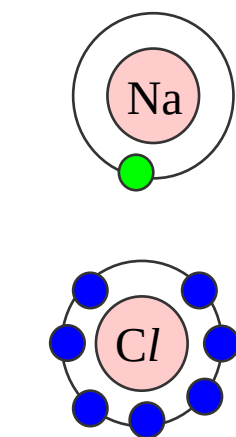
Микроструктура – характеризует мелкие структурные составляющие, наблюдение которых возможно с помощью оптических микроскопов с увеличением от 60 до 1500-2000 раз.

Микроанализ позволяет установить размеры и форму кристаллов, их распределение, форму инородных включений и микропустот, ориентацию кристаллов и т.п.

Тонкая структура – позволяет определить расположение элементарных частиц в материале и электронов в атоме.

Строение и свойства вещества на этом уровне определяются типом связей между элементарными частицами. Различают три основных типа связи: ионный, ковалентный и металлический.

Образование *ионной* связи происходит путем передачи атомом одного элемента валентного электрона атому другого элемента. Это приводит к образованию положительного и отрицательного ионов, которые притягиваются друг к другу электростатически.



довольно

является
углерода с
При

и частота

перестает

самостоятельных атомов. Причем электронное облако как бы стягивает ядра, стремясь максимально приблизить их друг к другу.

Образование ионной связи удобно рассмотреть на примере соединения NaCl. Атом Na имеет один «лишний» валентный электрон. В то же время, атому Cl, имеющему семь валентных электронов, для образования устойчивой оболочки, «не хватает» одного электрона. Атом Na передает свой валентный электрон атому Cl в результате образуется положительный ион Na^+ и отрицательный ион Cl^- , которые притягиваясь, создают ионную связь.

Рис.3. Ионная связь атомов

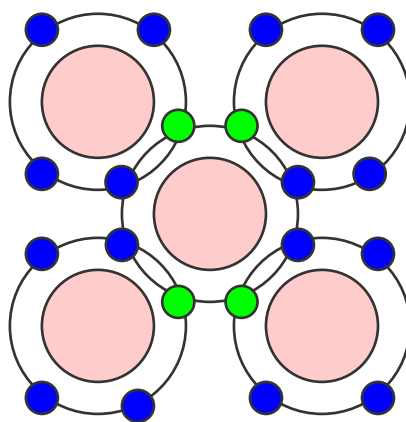


Рис.4. Ковалентная связь

Ионные кристаллы обычно хрупкие, тугоплавкие, у них низкая тепло- и электропроводность.

Ковалентный тип связи осуществляется обобществлением (объединением) валентных электронов соседних атомов. Типичным телом с такой связью алмаз, состоящий из атомов четырьмя валентными электронами. В сильном сближении атомов степень перекрытия электронных оболочек обмена электронов местами увеличиваются настолько, что существовать система из

При довольно высокой механической прочности связи все ковалентные кристаллы хрупкие, температура плавления, тепловые и электрические свойства колеблются у них в широком диапазоне.

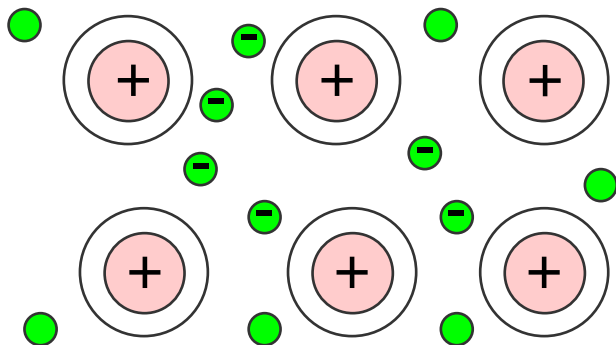


Рис. 5. Металлическая связь

Металлическая связь образуется следующим образом. На внешних оболочках атомов металлов находится меньше четырех валентных электронов, слабо связанных с атомным ядром. Поэтому при близком расположении атомов валентные электроны легко теряют связь с отдельными атомами и становятся общими, т.е. коллективизируются. При этом атомы превращаются в положительно заряженные ионы, а освободившиеся электроны свободно перемещаются

между периодически расположенными ионами, не принадлежа (в отличие от ковалентной связи) ни отдельному атому, ни какой-либо их малой группе.

Металлическая связь является не направленной, благодаря чему при пластической деформации, связь между ионами не нарушается и разрушение не происходит. Ионы как бы плавают в облаке электронного газа, образованного свободно перемещающимися электронами, что обуславливает высокую пластичность металлов. Наличие электронного газа объясняет также высокую электро- и теплопроводность элементов с металлической связью.

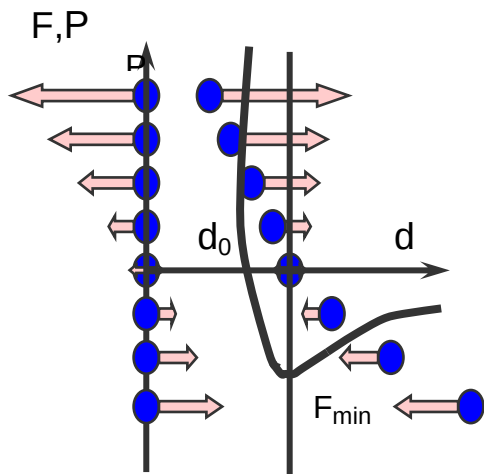


Рис.6. Взаимодействие межатомных сил

Возможность существования кристаллического состояния вещества (независимо от типа связи) обусловлена возникновением сил взаимодействия между частицами (атомами, ионами, молекулами). Когда расстояние между частицами уменьшается, то интенсивно растут силы отталкивания, при сближении частиц на расстояние равное d_0 , силы отталкивания и притяжения уравниваются, их результирующая равна нулю; при увеличении расстояния между частицами начинают возрастать силы притяжения. Расстояние между частицами, равное d_0 , - положение устойчивого равновесия, которому соответствует минимум свободной энергии F , что делает кристалл термодинамически

стабильным, а сближение или удаление частиц будет сопровождаться повышением энергии. Атомы в положении равновесия совершают колебательные движения с частотой порядка 10^{14} с^{-1} . Амплитуда колебаний обычно не превышает 5...7% равновесного расстояния.

1.3. Металлы

В технике под металлом понимают вещества, обладающие «металлическим блеском» и пластичностью. Еще М.В. Ломоносов определял металлы, как «светлые тела, которые ковать можно».

Современное определение: «Металлы – вещества, обладающие высокой тепло- и электропроводностью, ковкостью (пластичностью), блеском и другими свойствами, обусловленными наличием в них большого числа свободно перемещающихся электронов».

Каждый металл отличается строением и свойствами, тем не менее, по некоторым признакам их можно объединять в группы. Прежде всего, металлы по цвету можно разделить на — черные и цветные.

Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочноземельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладают полиморфизмом (способностью менять кристаллическое строение).

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма.

Основные свойства материалов подразделяют на физические, химические, механические, технологические и специальные.

К *специальным* свойствам относятся жаропрочность, жаростойкость, сопротивление коррозии, износостойкость и др.

Инженера-механика в первую очередь интересуют механические свойства материала, которые определяются внешними нагрузками, действующими на элементы конструкций и машин.

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке. Показатели механических свойств определяют испытаниями.

Наибольшее распространение получили статические испытания на растяжение, когда испытуемый образец определенной формы подвергается нагружению на разрывной машине. Такое испытание дает информацию о прочности, упругости и пластичности материалов.

По оси ординат на диаграмме откладывают нагрузку P , а по оси абсцисс – абсолютные удлинения Δl . Чтобы исключить влияние размеров образца, диаграмму строят в координатах напряжение – относительное удлинение. Напряжение это нагрузка, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения рабочей части образца, Н/мм^2

$$(\text{МПа}) \quad \sigma = \frac{P}{F}, \text{ относительное}$$

удлинение – отношение абсолютного удлинения к начальной длине расчетной части образца

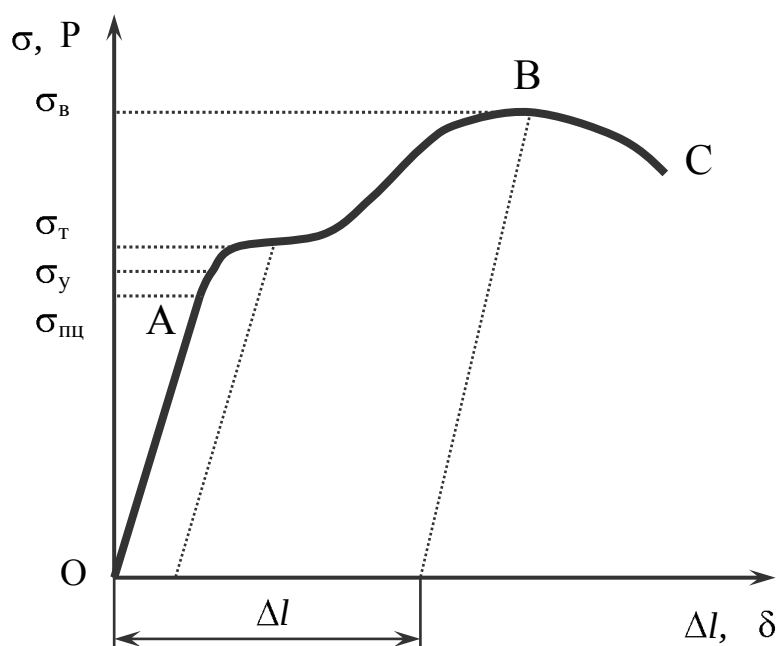


Рис. 7. Диаграмма растяжения

$$\delta = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \cdot 100, \%$$

Пределом прочности (временным сопротивлением) называется напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца $\sigma_v = \frac{P_v}{F_0}$.

Разрушение образца наступает в точке С.

Значения предела прочности и других показателей приводятся в справочниках.

1.4. Атомно-кристаллическое строение металлов

Все наиболее характерные свойства металлов объясняются наличием в них легкоподвижных коллективизированных электронов, количество которых в кристаллической решетке составляет $10^{22} - 10^{23}$ в 1 см^3 .

Располагаясь в металлах в строгом порядке, атомы в плоскости образуют атомную сетку, а в пространстве атомно-кристаллическую решетку. Линии на этих схемах являются условными; в действительности никаких линий не существует, а атомы колеблются возле точек равновесия, т.е. узлов решетки с большой частотой. Следовательно, *кристаллическая решетка* – воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие кристаллическое тело.

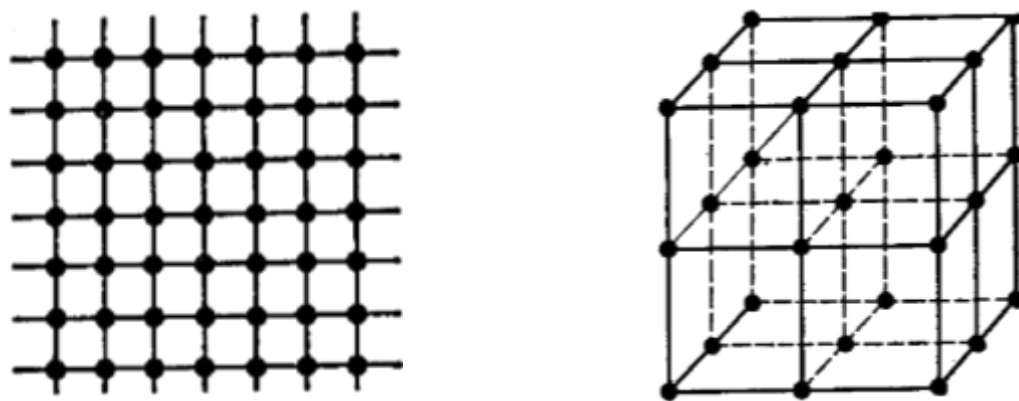


Рис.8. Плоскостная и объемная кристаллические решетки

В кристаллической решетке можно выделить элементарную кристаллическую ячейку, представляющую собой элемент объема из минимального количества атомов, многократным переносом (трансляцией) которого в пространстве можно построить весь кристалл. Для металлов наиболее характерны три типа кристаллических решеток: объемноцентрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ) (см. рисунок 9).

Для описания геометрии элементарной ячейки кристаллической решетки используют шесть величин: три отрезка, равные расстояниям между центрами ближайших атомов по осям координат (a , b , c) называемых *периодами решетки*, а также три угла между этими отрезками α , β , γ . Соотношение между этими величинами и определяют форму решетки. Кроме того, для характеристики кристаллической решетки вводят следующие величины: атомный радиус, базис, координационное число и коэффициент компактности.

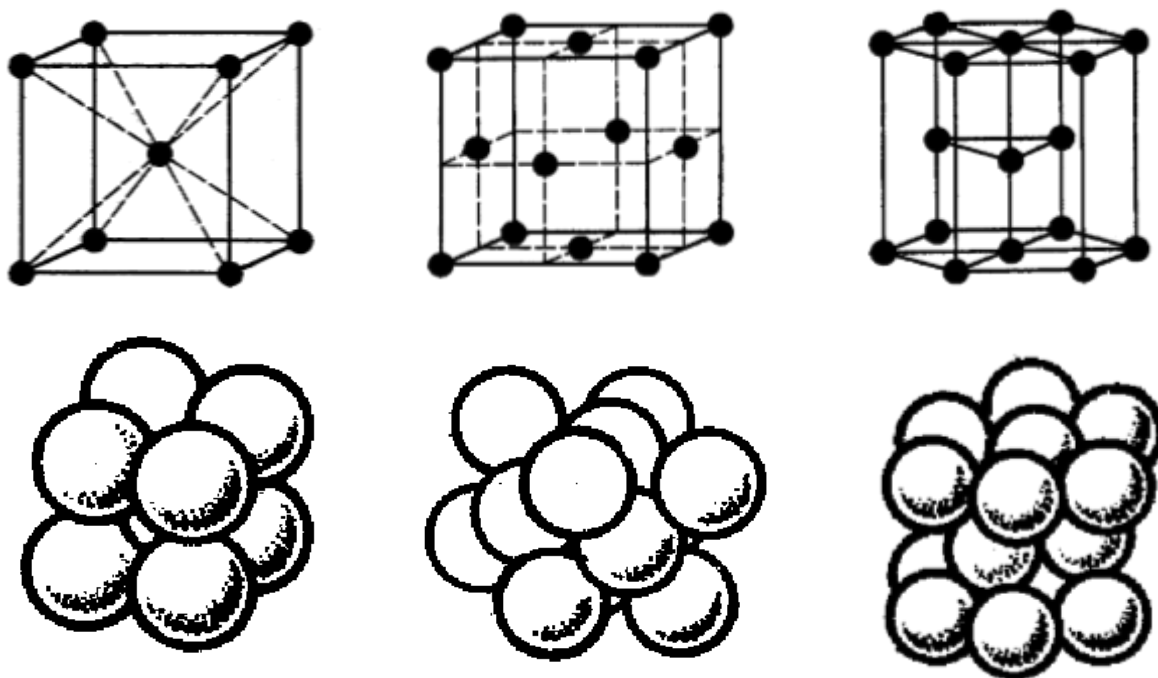


Рис.9. Элементарные ячейки

Атомный радиус – это половина межатомного расстояния между центрами ближайших атомов в решетке при нормальной температуре и атмосферном давлении.

Базис решетки – это количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. Базис характеризует сложность решетки. Для простой кубической решетки базис равен 1, для ОЦК – 2, для ГЦК и ГПУ – 4.

Координационное число K – количество ближайших атомов, равноудаленных от любого выбранного атома в решетке. Оно характеризует плотность упаковки атомов в кристалле.

Коэффициент компактности η определяется отношением объема, занимаемого атомами V_a , ко всему объему ячейки V_p , т.е. $\eta = V_a / V_p$.

Строение реальных металлов отличается от идеальных. В реальных кристаллах всегда содержатся дефекты, которые подразделяются по геометрическим признакам на точечные, линейные и поверхностные.

Точечными дефектами называются такие нарушения периодичности кристаллической решетки, размеры которых во всех трех измерениях сопоставимы с размерами атома. К ним относят вакансии, межузельные атомы основного вещества, чужеродные атомы внедрения.

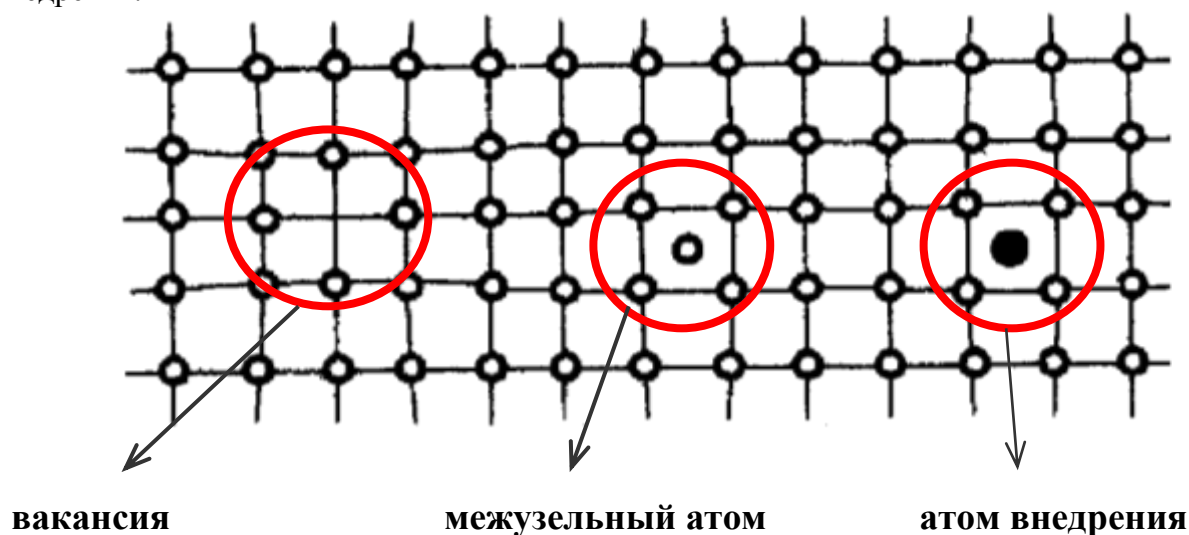


Рис.10. Точечные дефекты решетки

Линейными дефектами называют такие нарушения в кристаллической решетке, которые имеют малые размеры в двух измерениях и большую протяженность в третьем. Этот вид дефектов называется *дислокациями* (в пер. с англ. dislocation – смещение, сдвиг). Краевая дислокация образована краем «экстраплоскости» (лишней полуплоскости). Винтовая дислокация образуется при сдвиге одной части кристалла относительно другой.

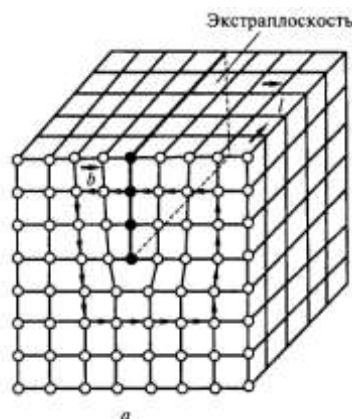


Рис. 11. Краевая дислокация

Под поверхностными дефектами понимают такие нарушения в кристаллической решетке, которые обладают большой протяженностью в двух измерениях и лишь в несколько межатомных расстояний в третьем измерении. Наиболее важными поверхностными дефектами являются поверхности раздела между отдельными зернами. В соседних зернах решетки ориентированы различно и граница между зернами представляет собой переходный слой шириной 5...10 межатомных расстояний. В нем нарушена правильность расположения атомов, имеются скопления дислокаций, повышена концентрация примесей.

1.5. Кристаллизация

Кристаллизацией называется процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллической решетки. Рассмотрим энергетические условия процесса кристаллизации. В природе все самопроизвольно протекающие процессы, в том числе кристаллизация и плавление, обусловлены тем, что новое состояние в новых условиях является энергетически более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии. Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц, характеризуется термодинамической функцией, называемой свободной энергией. Как известно любая система обладает запасом внутренней энергии, которая формально состоит из двух частей – *свободной энергии* F и так называемой *связанной энергии* TS , тогда

$$F = U - TS, \text{ где}$$

U – полная энергия;

T – абсолютная температура системы;

S – энтропия.

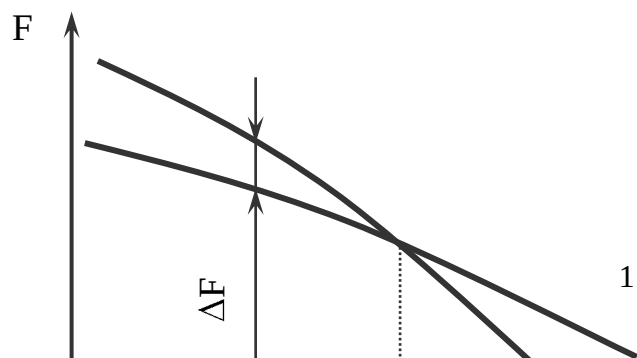
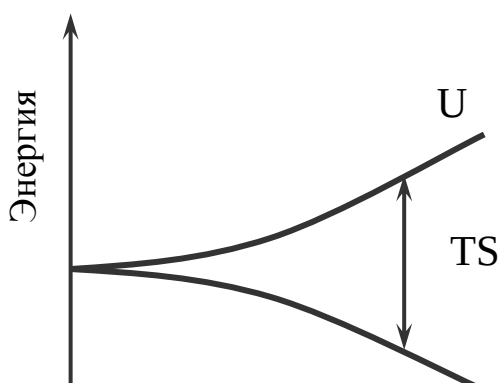


Рис. 12. Зависимость энергии вещества от температуры

Рис. 13. Зависимости свободной энергии твердого и жидкого состояний

Энтропия служит мерой внутреннего беспорядка (хаотичности) в расположении частиц системы. Так как при нагреве возрастает склонность к беспорядочному расположению атомов, то быстро возрастает энтропия. Это приводит к уменьшению свободной энергии, причем темп падения свободной энергии для жидкой и твердой фаз различен. Равенство свободных энергий жидкого и твердого состояний при температуре равной T_s обуславливает их сосуществование – *состояние равновесия*. Изменение температуры приведет к нарушению равновесия, окажется возможным переход вещества в фазу с меньшей свободной энергией.

При температурах ниже T_s будет происходить кристаллизация, а выше T_s – плавление металла.

Разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации называется *степенью переохлаждения* ΔT .

Процесс кристаллизации начинается из жидкого состояния вещества, характеризующегося по строению ближним порядком в расположении атомов и большей внутренней энергией, чем твердое состояние со структурой дальнего порядка.

Механизм процесса кристаллизации.

Д.К. Черновым было установлено, что процесс кристаллизации состоит из двух этапов: 1) зарождение центров (зародышей); 2) рост кристаллов из этих центров.

Размер образующегося зародыша зависит от размеров зоны флуктуации (отклонения значения величины от среднего значения), и не каждый зародыш способен к дальнейшему росту. Если энергия флуктуации позволит кристаллу вырасти до критического размера, то дальнейший его рост будет сопровождаться уменьшением свободной энергии системы, и способен протекать самопроизвольно. Минимальный размер зародыша, способного к росту при данных температурных условиях называется *критическим*.

Рост кристаллов происходит по ***дендритной (древовидной)*** схеме, характеризующейся тем, что вначале к зародышам присоединяются все новые атомы жидкого металла в направлении, имеющим наибольшую плотность упаковки. В результате вырастают длинные ветви, которые называются осями первого порядка. По мере роста кристалла на осях первого порядка появляются и начинают расти ветви второго порядка, от которых ответвляются оси третьего порядка и т.д. В последнюю очередь идет кристаллизация в участках между осями дендритов.

Дендриты растут до тех пор, пока не соприкоснутся друг с другом. После этого окончательно заполняются межосные пространства и дендриты, деформируя друг друга,

превращаются в кристаллы с неправильной внешней огранкой. Их называют зернами, или кристаллитами.

Скорость процесса и окончательный размер кристаллов при затвердевании определяются соотношением скоростей роста кристаллов и образования центров кристаллизации. Оба процесса связаны с перемещением атомов и зависят от температуры.

При небольшом переохлаждении, т.е. при малой ΔT разность свободных энергий жидкой и твердой фаз невелика, поэтому критический размер зародыша большой, и требуется большая энергия флуктуации, чтобы упорядоченное расположение атомов превратилось в центр кристаллизации. В связи с этим образуется небольшое количество центров кристаллизации, скорость их роста также мала, и кристаллы могут расти долго, с образованием крупнозернистой структуры. С увеличением температуры переохлаждения увеличивается разность свободных энергий, уменьшается критический размер зародыша, и уже при небольшой энергии флуктуации возможно образование центров кристаллизации, которые быстро увеличиваются в размерах. Так как образуется большое количество зародышей, быстро увеличивающихся в размерах, то кристаллы намного быстрее начинают сталкиваться друг с другом и образуется мелкозернистая структура. (см. рис. 15)

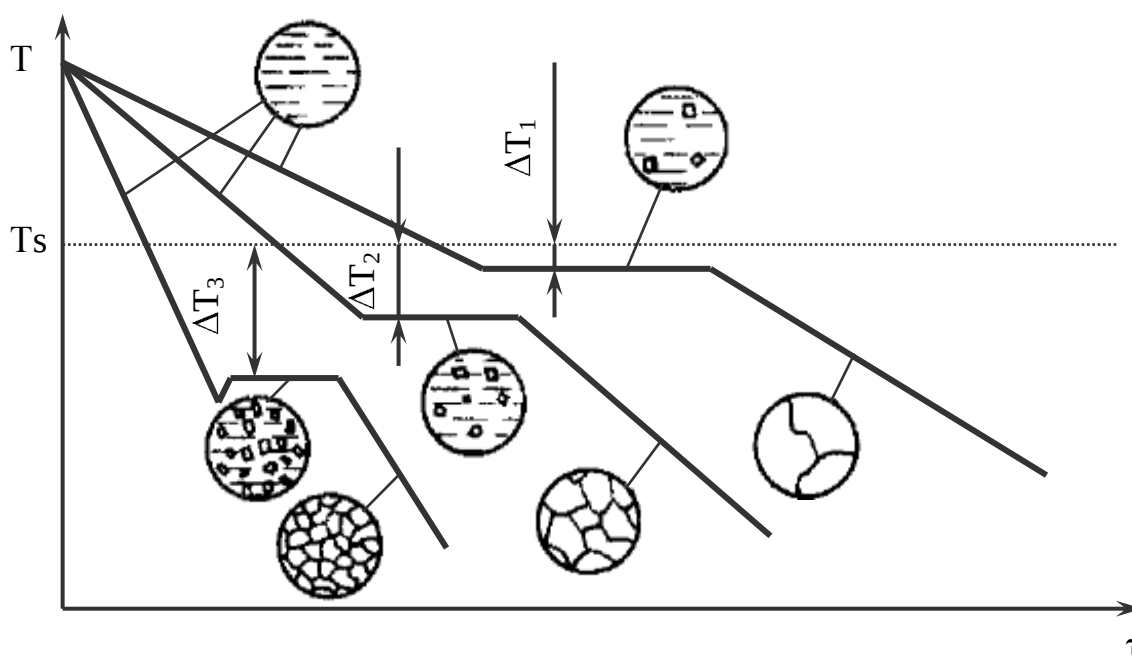


Рис.15. Зависимость размера зерна от переохлаждения

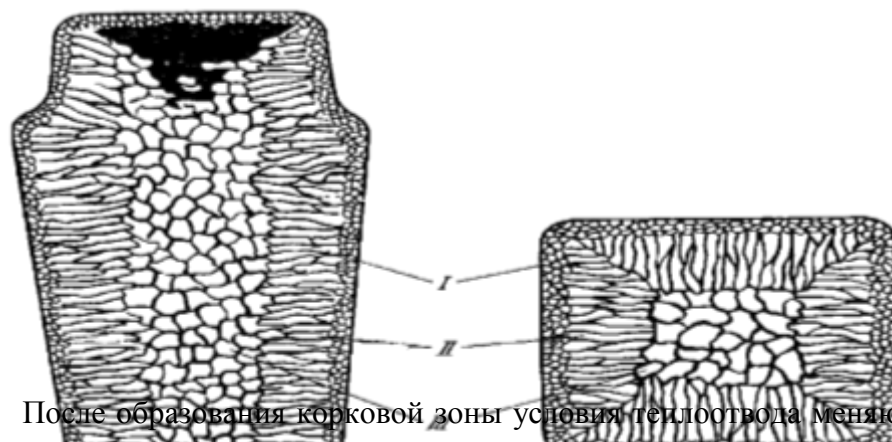
Вследствие уменьшения свободной энергии при кристаллизации выделяется теплота, называемая *скрытой теплотой кристаллизации*. Этому соответствует горизонтальный участок кривой охлаждения. При значительной температуре переохлаждения у некоторых металлов скрытая теплота кристаллизации выделяется настолько бурно, что не успевает отводиться в окружающую среду и температура скачкообразно повышается, приближаясь к теоретической, и далее до окончания процесса кристаллизации не изменяется.

В реальных условиях самопроизвольное зарождение кристаллов в жидком металле затруднено. Источником образования зародышей служат различные твердые частицы: неметаллические включения, оксиды, продукты раскисления. Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем мельче зерна. Иногда в металл специально вводят вещества, которые способствуют измельчению зерна. Эту операцию называют *модифицированием*, а специально вводимые элементы – *модификаторами*.

Строение слитка.

Строение стального слитка впервые описано Д. К. Черновым. Структура слитка состоит из трех зон: наружной мелкозернистой зоны I, зоны столбчатых кристаллов II и зоны равноосных кристаллов III.

Образование наружной мелкозернистой зоны обусловлено резким перепадом температур: жидкий металл — холодные стенки изложницы. Металл в этой зоне сильно переохлаждается, в нем образуется большое число центров кристаллизации и он приобретает мелкозернистое строение.



После образования корковой зоны условия теплоотвода меняются, температурный градиент в прилегающем слое жидкого металла падает и снижается степень переохлаждения. В результате, из сравнительно небольшого числа центров кристаллизации в направлении отвода тепла, т. е. перпендикулярно к стенке изложницы, начинают расти столбчатые кристаллы, образующие вторую зону. Развитие их в стороны сдерживается соседними дендритами.

Третья зона — зона равноосных кристаллов. В центре слитка нет определенной направленности отвода тепла. Здесь за счет большого объема металла и отсутствия жестких стенок образуются различные мелкие твердые частицы и кристаллы растут примерно одинаково во все стороны.

1.2 Лекция 2 (2 часа)

Тема: Пластическая деформация и рекристаллизация металлов. (2 часа)

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Физическая природа, виды и механизм деформации
2. Наклёп, возврат, рекристаллизация
3. Сплавы, соединения и диаграммы состояния
4. Правило фаз и правило отрезков

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1.2.2.1 Физическая природа, виды и механизм пластической деформации

Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием приложенных к нему сил. Деформацию вызывают: 1) внешние силы, приложенные к телу; 2) внутренние силы, возникающие при различных физико-механических процессах, происходящих в теле, например, при быстром неравномерном нагреве или охлаждении.

В твердых телах возможны *упругая* и *пластическая* деформации. Упругой называется деформация, исчезающая после снятия нагрузки, а пластической — остающаяся после снятия нагрузки.

Упругая деформация характеризуется прямой пропорциональностью между прикладываемой нагрузкой P и абсолютным удлинением Δl , на что указывает линия OA диаграммы растяжения (рис. 1). Выше точки A нарушается пропорциональность между напряжением и деформацией, и вслед за упругой наблюдается остаточная деформация, характеризующаяся отрезками, например, ob при нагрузке P_1 и oc при нагрузке P_2 .

Рассмотрим механизм упругой и пластической деформаций.

При упругой деформации кристалла происходят обратимые смещения атомов из положения равновесия: при растяжении атомы удаляются, а при сжатии сближаются. Смещения составляют доли d_0 (межатомного расстояния) и после снятия нагрузки нарушенный баланс межатомных сил

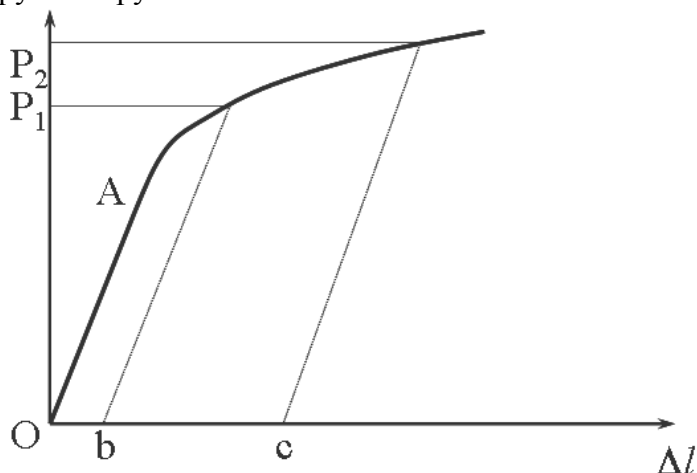


Рис. 1. Диаграмма растяжения

взаимодействия восстанавливается. Атомы возвращаются в положения равновесия, а тело приобретает прежние форму и размеры - оно деформировалось упруго.

Пластическая деформация представляет собой совершенно другой, более сложный процесс необратимых изменений.

При пластическом деформировании происходит сдвиг одной части кристалла относительно другой. После снятия нагрузки перемещенная часть кристалла не возвращается на прежнее место. Сдвиг вызывают касательные напряжения, когда их значения превышают критическое значение $\tau_{кр}$.

Сдвиг в кристалле может осуществляться скольжением или двойникованием (рис. 2,3). При скольжении одна часть кристалла смещается параллельно другой части вдоль плоскости, называемой плоскостью скольжения или сдвига. Скольжение - основной вид сдвига в металлах и сплавах. Деформация двойникованием представляет собой перестройку части кристалла в новое положение, зеркально симметричное к его недеформированной части. Плоскость зеркальной симметрии называют плоскостью двойникования.

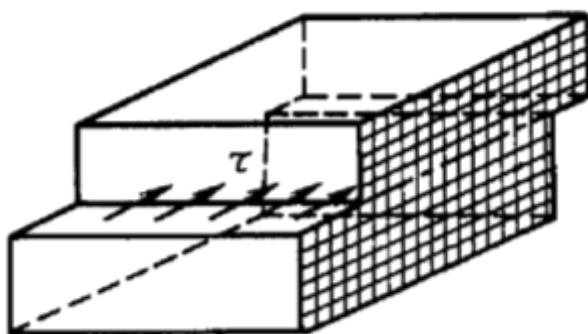


Рис. 2. Схема деформации сдвигом

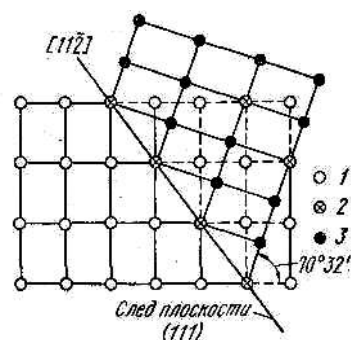


Рис. 3. Деформация двойникованием

Рассмотрим механизм пластического сдвига в монокристалле.

Можно предположить, что под действием некоторого касательного напряжения τ все атомы части кристалла с идеальной решеткой выше плоскости А-А смещаются одновременно (рис. 4). В 20-е годы XX в. Френкелем Я.И. были выполнены теоретические изыскания по расчету критического касательного напряжения $\tau_{тек}$ такого синхронного «жесткого» сдвига. Оказалось, что его значения в сотни или даже тысячу раз больше

фактических значений. Это различие настолько существенно, что вначале гипотезу Френкеля считали ошибочной. Для объяснения этого расхождения была выдвинута теория дислокаций, которые смогли увидеть только в 50-е годы с помощью электронного микроскопа.

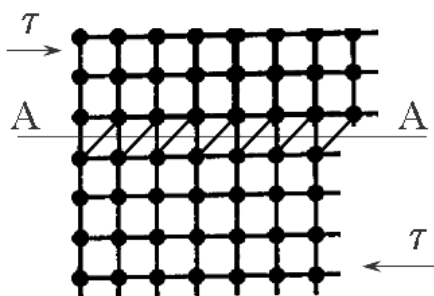


Рис. 4. Схема деформации идеального кристалла
Рассмотрим теперь дислокационный механизм пластической деформации (рис. 5)

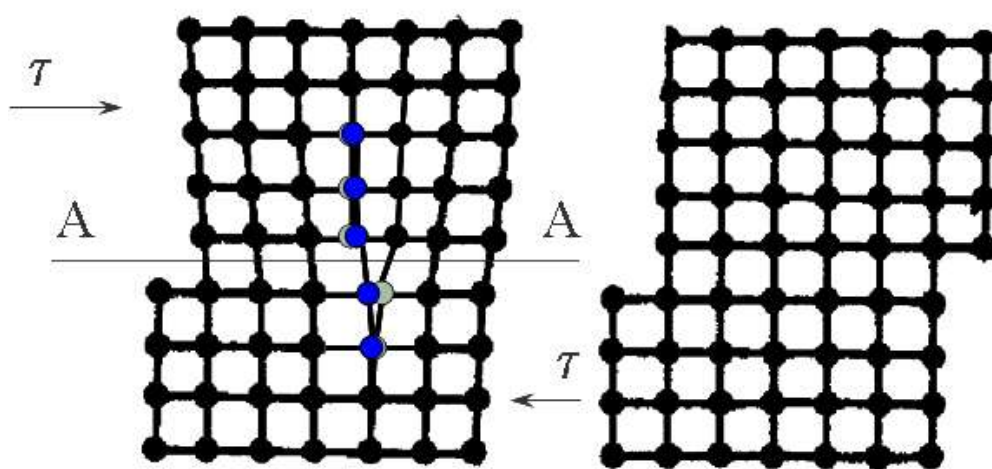


Рис. 5. Схема дислокационной деформации

Под действием касательного напряжения избыточная полуплоскость в верхней части кристалла соединяется с расположенной ниже частью правой соседней плоскости и образует с ней одну атомную плоскость, а оставшаяся ее часть становится новой полуплоскостью, которая заканчивается краевой дислокацией. Данное перемещение дислокации направо происходит вследствие того, что изменяется «соседство» атомов по обе стороны от плоскости скольжения А-А и незначительного смещения небольшой группы атомов оказывается достаточным для перемещения дислокации на одно межатомное расстояние. При постоянно действующем напряжении дислокация как бы по эстафете передается от одной атомной плоскости к другой, последовательно разрывая при этом каждый соседний «правильный» ряд атомов. Процесс идет до тех пор, пока дислокация не выйдет на поверхность кристалла, где образуется ступенька в одно межатомное расстояние (период решетки).

В плоскости скольжения обычно расположены десятки дислокаций. Их последовательное перемещение вдоль плоскости скольжения развивает процесс пластического течения. Высота ступеньки при этом пропорциональна числу дислокаций, выходящих на поверхность кристалла.

Такой процесс пластической деформации, когда в определенный момент разрывается только одна межатомная связь, а не все сразу, требует незначительных напряжений, гораздо меньших, чем теоретические. Тем самым подтвердилась гипотеза Френкеля и стала теорией. Она получила полное признание, когда удалось вырастить бездислокационные кристаллы («усы») - нитевидные образования ($d \approx 2$ мкм и $l \approx 10$ мм).

Важной характеристикой, непосредственно влияющей на сопротивление материала пластической деформации, является плотность дислокаций. Согласно теории И.А. Одингга, зависимость между прочностью металла и плотностью дислокаций может быть представлена гиперболической функцией (рис. 6).



Рис. 6. Зависимость прочности металла от плотности дислокаций

Точка 1 соответствует прочности идеального бездефектного кристалла, т.е. теоретической прочности. Точка 2 соответствует прочности «усов» с очень низкой плотностью дислокаций. С увеличением числа дислокаций в интервале точек 2 - 3 прочность металла снижается, сдвиг кристаллической решетки облегчается, т.к. дислокации располагаются в плоскости скольжения. В точке 3 при плотности дислокаций 10^6 - 10^7 уменьшение прочности прекращается и начинается ее постепенный рост. Это объясняется тем, что с увеличением плотности дислокаций их перемещение затрудняется в связи с тем, что они располагаются не только по параллельным, но и по пересекающимся плоскостям и тем самым препятствуют движению друг друга. Следовательно, позиция 4 соответствует упрочненному металлу.

Таким образом, дислокации искажают решетку и упрочняют металл.

Рассмотрим пластическую деформацию поликристаллического тела.

В результате пластической деформации такого тела происходит формоизменение каждого зерна. Пока общая деформация мала, порядка 1%, не все зерна деформируются, так как они различно ориентированы по отношению к приложенной нагрузке. С ростом степени деформации увеличивается охват зерен процессом, зерна постепенно вытягиваются в направлении пластического течения, внутри их измельчаются блоки, возрастает плотность дислокаций. При значительных деформациях образуется волокнистая структура материала, где границы зерен различаются с трудом (рис. 7).

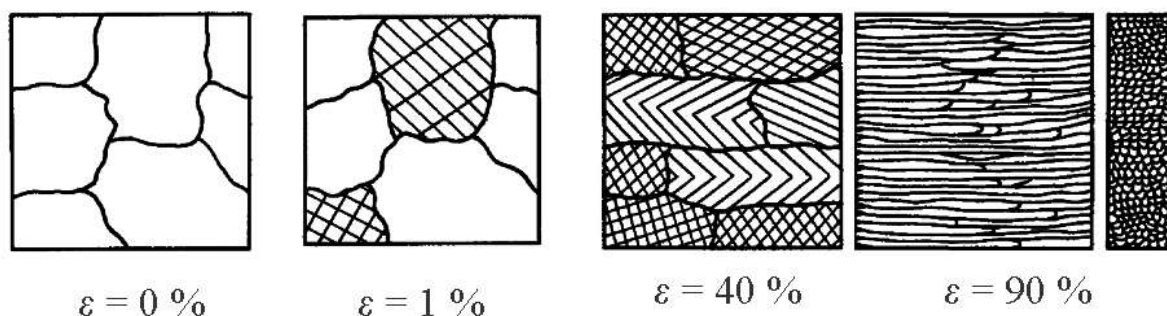


Рис. 7. Микроструктура деформированного металла

Таким образом, при значительной деформации в металле появляется определенная ориентация зерен, которая называется *текстурой* деформации.

1.1.2.2. Наклеп, возврат, рекристаллизация

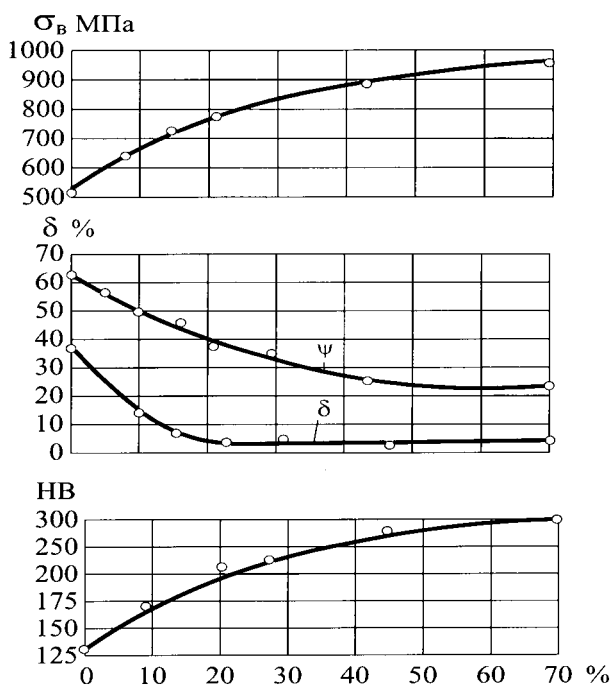


Рис. 8. Влияние степени деформации на механические свойства стали 25

С ростом степени деформации механические свойства (σ_b , твердость и др.), характеризующие сопротивление деформации повышаются, происходит деформационное упрочнение, а способность к пластической деформации падает, т.к. δ и ψ уменьшаются (рис. 8).

Упрочнение металла в процессе пластической деформации называется *наклепом* или *нагартовкой*. Наклепанный металл имеет меньшую плотность, более высокое электросопротивление, меньшую теплопроводность; у него падает устойчивость против коррозии.

Структура пластически деформированного (наклепанного) металла неравновесна, что приводит к увеличению свободной энергии металла, он переходит в неустойчивое состояние. Поэтому должны происходить самопроизвольные явления, возвращающие металл в более устойчивое структурное состояние.

Следует отметить использование наклепа на практике - для упрочнения деталей

машин.

Переход металла в более стабильное состояние происходит при нагреве. Уже умеренный нагрев (до $0,3 T_{пл}$) вызывает ускорение движения атомов, в результате которого уменьшается количество точечных дефектов (вакансий) и дислокаций, следовательно, частично устраняются внутренние напряжения и частично восстанавливается кристаллическая решетка.

Частичное снятие искажений решетки в процессе умеренного нагрева деформированного металла называется *возвратом*, или *отдыхом*. В результате отдыха твердость и прочность несколько понижаются (на 20-30% по сравнению с исходными), а пластичность возрастает.

При большем повышении температуры наклепанного металла происходит образование новых равноосных зерен из волокнистых. Это явление называется рекристаллизацией. Итак, *рекристаллизация* - процесс возникновения и роста новых зерен из распадающейся волокнистой структуры, происходящий в результате существенного нагрева наклепанного металла.

Академик Бочвар А.А. установил, что между температурой начала рекристаллизации и температурой плавления существует простая зависимость

$$T_{рек} = a \cdot T_{пл},$$

где a - коэффициент, зависящий от чистоты металла.

Для химически чистых металлов $a = 0,1 - 0,2$; для технически чистых металлов $a = 0,3 - 0,4$; для сплавов $a = 0,5 - 0,8$.

Рассмотрим механизм рекристаллизации. При температуре рекристаллизации у границ деформированных зерен (блоков), где повышенная плотность дислокаций и где кристаллическая решетка наиболее искажена, образуются зародыши новых зерен, к которым переходят атомы от деформированных участков, в результате чего будут расти новые зерна (рис. 9) Образование новых, равноосных зерен вместо волокнистой структуры деформированного металла является первым этапом рекристаллизации и

называется *первичной рекристаллизацией* или *рекристаллизацией обработки*. Такая обработка называется *рекристаллизационным отжигом*. Первичная рекристаллизация заканчивается, когда новые зерна полностью замещают весь объем деформированного металла.

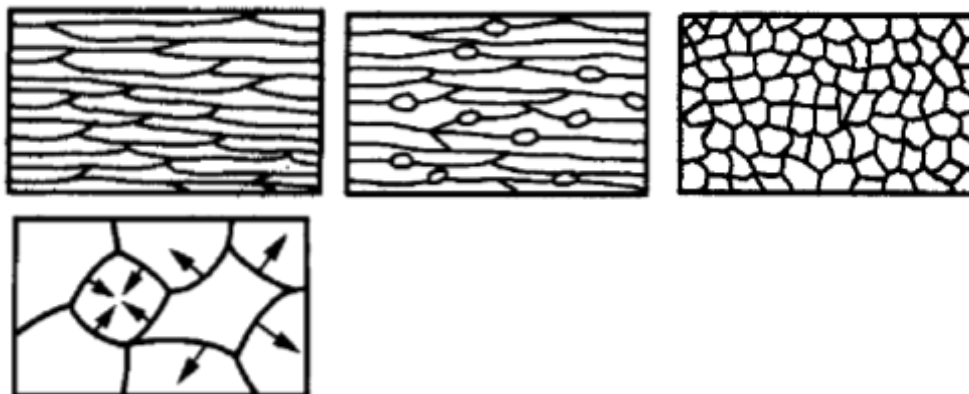


Рис. 9. Схема рекристаллизации металла

В процессе последующего нагрева или выдержки происходит рост некоторых новых зерен за счет других, при этом зерна с вогнутыми границами поглощают зерна выпуклые. Процесс роста рекристаллизованных зерен называется собирательной рекристаллизацией. Процесс собирательной рекристаллизации развивается самопроизвольно в связи с тем, что укрупнение зерен приводит к уменьшению свободной энергии металла (меньше суммарная поверхность границ).

При продолжении процесса наблюдается интенсивный рост зерен, имеющих благоприятную кристаллографическую ориентацию и меньшую концентрацию дефектов. В результате получается структура в целом мелкозернистая, но с небольшим количеством очень крупных зерен. Такая структура обладает пониженной пластичностью.

Процесс образования отдельных крупных зерен называется *вторичной рекристаллизацией*.

По мере повышения температуры твердость сначала слегка снижается вследствие явлений возврата (рис. 10). После отжига (первичной рекристаллизации) твердость резко падает и достигает исходного значения (значения твердости до наклепа). Вторичная рекристаллизация, связанная с ростом отдельных зерен, приводит к частичному снижению твердости. Аналогично изменяются показатели прочности (предел прочности, предел текучести). Изменяется также и пластичность.

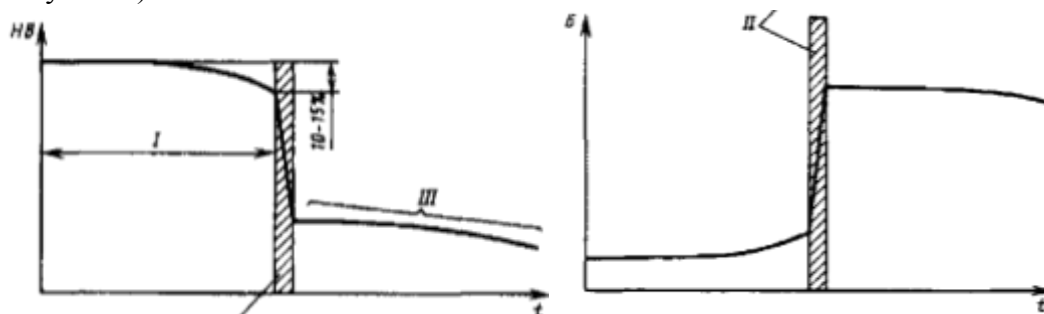


Рис. 10. Влияние степени отжига на твердость и пластичность нагартованного металла

На свойства металла существенное влияние оказывает размер рекристаллизованного зерна. Размер зерна после холодной пластической деформации и рекристаллизации зависит от температуры рекристаллизационного отжига, его продолжительности, степени

предварительной деформации, размера исходного зерна, наличия примесей и химического состава.

Чем больше степень деформации, тем мельче зерно после рекристаллизации. При очень малых степенях деформации нагрев не вызывает рекристаллизации. При 3-15% -ной деформации после нагрева наблюдается гигантский рост зерна, т.к. не все зерна будут деформированы и при первичной рекристаллизации быстро растут исходные недеформированные зерна за счет поглощения соседних деформированных зерен, обладающих повышенной свободной энергией и, следовательно, менее устойчивых. Такая степень деформации называется *критической*. Поэтому чтобы не образовывалась крупнозернистая структура, которая имеет низкую пластичность, необходимо выходить в зону сверхкритических деформаций.

1.1.2.3. Сплавы, соединения и диаграммы состояния

Чистые металлы обычно имеют низкую прочность и невысокие технологические свойства, поэтому в технике обычно применяют сплавы. *Сплав* - сложное вещество, получаемое сплавлением или спеканием двух или нескольких простых веществ, называемых компонентами. (При сплавлении компоненты доводят до плавления, а при спекании их порошки смешивают и подвергают давлению при высокой температуре).

В зависимости от физико-механического взаимодействия компонентов в сплавах образуются различные фазы. *Фаза* - однородная часть сплава, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую структура вещества или химический состав изменяется скачком.

Сплав имеет более сложное строение, чем его компоненты. Особенности структуры сплава зависят от характера взаимодействия компонентов. Составляющие сплав компоненты могут вступать в химическое взаимодействие, образуя химическое соединение, или взаимно растворяться друг в друге, образуя растворы. Кроме того, часто сплавы представляют собой механическую смесь зерен веществ, образующих сплав.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не образуют химическое соединение. При этом сплав представляет собой смесь двух типов кристаллов - веществ А и В, отчетливо видимых на микроструктуре (рис. 11).

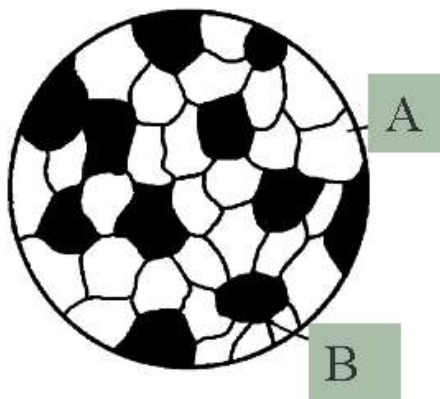


Рис. 11. Микроструктура сплава – механическая смесь

Свойства такого сплава зависят от соотношения компонентов, от размеров и формы зерен. Механические свойства имеют промежуточные значения в сравнении со свойствами чистых металлов А и В.

Химические соединения имеют следующие особенности:

- 1) соотношение компонентов кратное, описывается формулой A_nB_m ;
- 2) кристаллическая решетка сложнее, чем решетки отдельных компонентов А и В;
- 3) свойства соединения резко отличаются от свойств компонентов А и В;
- 4) образование химического соединения сопровождается значительным

тепловым эффектом.

Образующаяся в результате кристаллизации сплава **однородная** (как и в жидком виде) **твердая фаза**, называется *твердым раствором*. Такой сплав имеет однородные зерна, хотя химических элементов несколько. Рентгеновский анализ обнаруживает в твердом растворе только один тип решетки.

В отличие от механической смеси твердый раствор является однофазным (один тип кристаллов, одна атомно-кристаллическая решетка), а в отличие от химического соединения твердый раствор существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале их концентраций.

Различают твердые растворы замещения и внедрения. Твердый раствор замещения образуется замещением части атомов растворителя А атомами растворенного компонента В. Твердый раствор внедрения образуется путем внедрения атомов растворенного компонента В в междоузлия кристаллической решетки растворителя А (рис. 12).

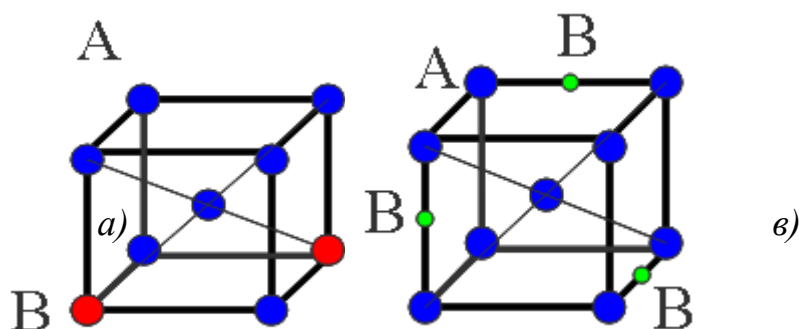


Рис. 12 Твердые растворы замещения (а) и внедрения (в)

В свою очередь твердые растворы замещения могут быть *ограниченными* и *неограниченными*. При неограниченной растворимости любое количество атомов А может быть заменено атомами В, однако для этого требуется выполнение следующих условий: решетки обоих компонентов должны быть изоморфными (одинаковыми), незначительное различие атомных радиусов, валентные оболочки близки по строению.

Различия в размерах атомов, при замещении атомов одного компонента атомами другого приводят к искажению кристаллической решетки. Искращения решетки упрочняют сплав, меняют и другие его свойства.

Диаграмма состояния сплавов — графическое изображение состояния сплава в зависимости от состава, его температуры, давления. Диаграмма состояния показывает устойчивые, равновесные состояния сплава, обладающие при данных условиях минимальной свободной энергией. Поэтому диаграмму иногда называют диаграммой фазового равновесия.

Диаграмму состояния как правило строят при постоянном давлении. При этом по оси ординат откладывают температуру, а по оси абсцисс — концентрацию компонентов. Для однокомпонентной системы (для элемента) диаграмма линейна — представляет собой одну шкалу температуры, на которой отмечаются температура плавления и другие критические точки. Последнее относится к веществам, обладающим полиморфизмом (аллотропией) — способностью существовать в различных кристаллических формах (модификациях).

Так, например, марганец имеет четыре модификации, кобальт и железо по две, Al, Cu, Cr — одну, т.е. вплоть до плавления решетки не меняются (моно-морфны). Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β , γ и т.д., которые в виде индексов добавляются к символу, обозначающему элемент.

Диаграмма состояния для сплава, состоящего из двух компонентов, имеет ось концентраций. Общее содержание обоих компонентов в сплаве равно 100% и каждая точка на оси абсцисс соответствует определенному содержанию каждого компонента.

Например, в промежуточной точке с 40% компонента В будет 60% - А, а крайние ординаты соответствуют чистым компонентам.

Рассмотрим построение диаграммы состояния сплавов, состоящих из свинца Pb и сурьмы Sb. Свинец и сурьма обладают неограниченной растворимостью в жидком состоянии, а в твердом состоянии не растворяются друг в друге, т.е. при охлаждении образуют механическую смесь.

Для построения диаграммы состояния обычно пользуются термическим методом, т.е. строят кривые охлаждения для чистых элементов и для сплавов разной концентрации. Возьмем сплавы с 5, 13 и 40% сурьмы (рис. 13).

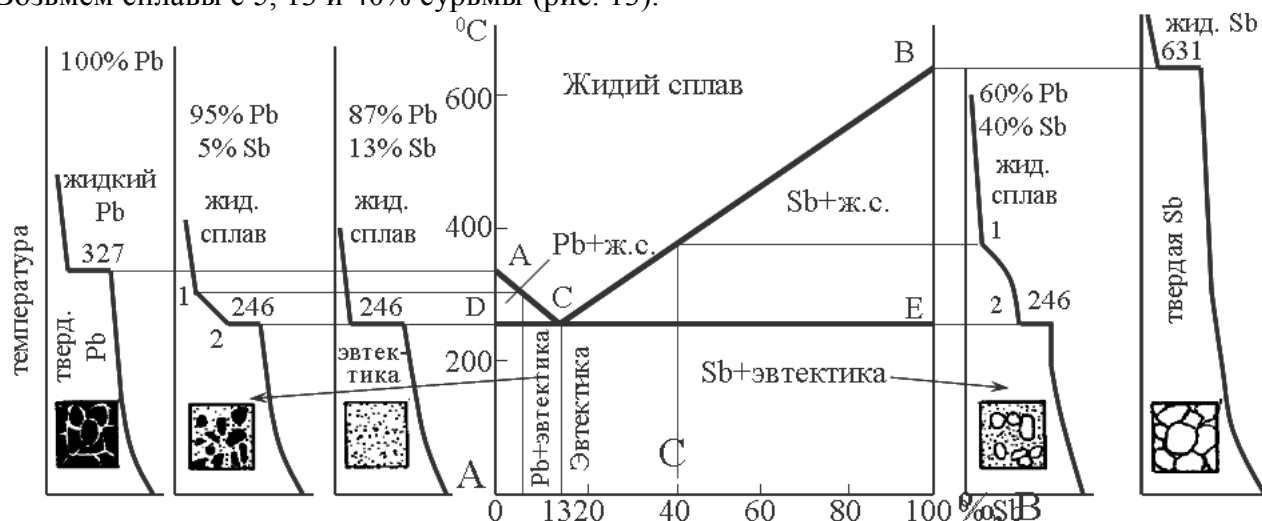


Рис 13. Диаграмма состояния сплавов свинец-сурьма

При рассмотрении кривых охлаждения чистых металлов видно, что они имеют по одной горизонтальной площадке, т.е. по одной критической точке: для свинца 327 °С, а для сурьмы 631 °С, которые характеризуют температуру кристаллизации данных элементов. Переносим эти точки на диаграмму состояния, получаем точки А и В, соответственно с нулевым и стопроцентным содержанием сурьмы в сплавах.

Теперь рассмотрим сплав с содержанием 13% сурьмы и 87% свинца. Из графика охлаждения видно, что данный сплав также имеет одну критическую точку – 246 °С, являющуюся температурой кристаллизации данного сплава с образованием механической смеси кристаллов. Особенностью такого сплава является то, что одновременно выделяются кристаллы свинца и сурьмы, а температура кристаллизации наиболее низкая для данной системы. Такая механическая смесь называется *эвтектикой*, а состав сплава *эвтектическим*. Переносим найденную точку на диаграмму состояния при значении по шкале абсцисс 13% сурьмы и получаем точку С.

Сплав с 5% сурьмы и 95% свинца на кривой охлаждения имеет две критические точки 1 и 2, указывающие на то, что этот сплав затвердевает в интервале температур. Сплав с 40% Sb аналогично предыдущему, имеет две критические точки, которые тоже переносим на диаграмму. Из анализа кривых охлаждения видно, что температура конца кристаллизации не зависит от состава сплава и постоянна - для данной системы это 246°С.

Соединив между собой точки А, С и В, и проведя отрезок параллельный оси абсцисс через точку С, получим две линии АСВ и DCE. Линия АСВ характеризует температуру начала кристаллизации сплавов разного состава и называется «ликвидус» (Liqua с лат. - жидкий), вторая линия DCE характеризует температуру конца кристаллизации и называется «солидус» (в пер. с лат. -твердый). Эти линии разделяют диаграмму состояния на области с различным фазовым составом.

Выше линии ликвидус сплавы находятся в жидком состоянии, ниже линии солидус - в твердом состоянии, образуя механическую смесь. Между этими линиями сплавы находятся в полужидком - полутвердом состоянии, т.е. состоят из жидкости и

кристаллов. Кристаллизация начинается с выпадения из жидкости того компонента, который имеет избыточную концентрацию по отношению к эвтектике. Таким компонентом в сплавах, имеющих сурьмы меньше 13% избыточная будет свинец, и такие сплавы называются доэвтектическими, а у которых сурьмы больше 13% - сурьма, такие сплавы называются заэвтектическими. Выпадение кристаллов избыточного компонента будет продолжаться до тех пор, пока в остающейся жидкой фазе не будет состава эвтектического сплава, т.е. 13% сурьмы и 87% свинца, который закристаллизуется при температуре 246 °С.

При более низкой температуре доэвтектические сплавы данной системы состоят из двух структурных составляющих: кристаллов чистого свинца, выделившихся в интервале температур между линиями ликвидуса и солидуса и эвтектической смеси, затвердевшей при постоянной температуре на линии солидуса. Заэвтектические сплавы будут иметь структуру, состоящую из кристаллов чистой сурьмы и эвтектики.

1.1.2.4. Правило фаз и правило отрезков.

Правило фаз (закон Гиббса) представляет собой математическое выражение условия равновесия системы, т.е. уравнение, которое показывает количественную зависимость между числом компонентов, числом фаз и числом степеней свободы.

Для условия равновесия системы при постоянном давлении уравнение имеет вид $C = K + 1 - \Phi$,

где C - число степеней свободы (вариантность системы),

K - число компонентов,

Φ - число фаз.

Под числом степеней свободы (вариантностью системы) понимают возможность изменения внешних и внутренних факторов (температуры и концентрации) без изменения числа фаз, находящихся в равновесии. Когда

$C = 0$ (систем невариантна), изменение хотя бы одного фактора приведет к нарушению равновесия и вызовет изменение фазового состава. Например, для чистого металла $C=0$ только при температуре кристаллизации, т.е. существование жидкой и твердой фаз возможно лишь при постоянной температуре. При температуре выше или ниже система будет моновариантной ($C = 1$), т.е. фазовый состав остается постоянным при изменении (в некоторых пределах) одного из переменных факторов (температуры). Для двухкомпонентных сплавов возможно бивариантное состояние ($C=2$), например, в жидком состоянии. В этом случае можно изменять два фактора (концентрацию и температуру) без изменения фазового состава.

В процессе кристаллизации даже при неизменном числе фаз изменяются и концентрация фаз (жидкость обедняется компонентом, входящим в кристаллы), и соотношение фаз (жидкости становится меньше).

С помощью правила отрезков (правила рычага) можно определить в любой точке диаграммы (когда в сплаве одновременно существует две фазы): что это за фазы, какова их концентрация, каково их количество.

Рассмотрим пример для сплавов «А - В» (рис. 14).

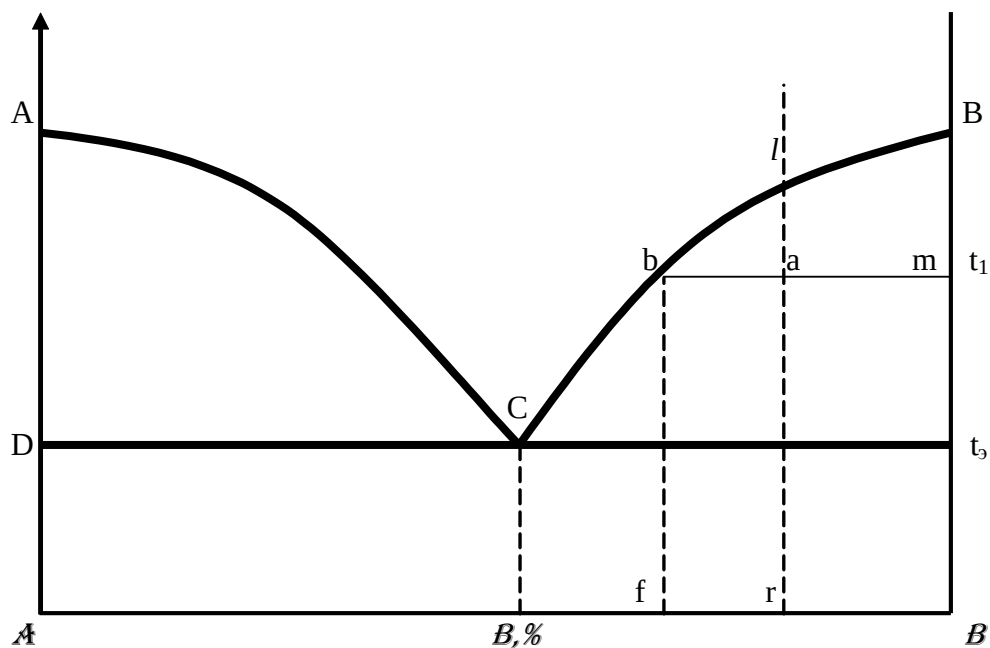


Рис. 14. К решению задачи по правилу рычага

В точке *a*, показывающей состояние сплава при температуре t_1 он состоит из кристаллов В и жидкости. Выше точки *l* сплав находится в однофазном состоянии и концентрация компонентов в этой фазе (т.е. в жидкости) определяется проекцией точки *l* на ось абсцисс. При охлаждении из сплава выделяются кристаллы В и жидкость обогащается компонентом А, а при достижении эвтектической температуры t_3 , содержание компонента В в жидкости определяется проекцией точки *C* на ось абсцисс. Значит, концентрация компонента В в жидкости изменяется по кривой *lbc* и для точки *a* она определяется проекцией точки *b* на ось абсцисс. Выделяющиеся кристаллы В имеют постоянный состав -это чистый компонент В, концентрация которого лежит на вертикальной оси В.

Из изложенного вытекает первое положение правила отрезков:

для определения концентрации компонентов в фазах, через данную точку проводят горизонталь до пересечения с *ближайшими основными* линиями диаграммы. Проекция точек пересечения на ось концентрации показывают составы фаз. Горизонталь, проведенная через точку *a* называется *конодой*.

Количество фаз также можно определить. Если точка *l* определяет концентрацию сплава, точка *b*— состав жидкой фазы, а точка *m* — состав твердой фазы, то линия *bm* определяет все количество сплава, отрезок *am* - количество жидкости и отрезок *ba* — количество кристаллов. Второе положение правила отрезков формулируется так: для определения количества фазы в заданной точке нужно разделить длину отрезка коноды, *противолежащего* положению данной фазы, на общую длину коноды. То есть,

количество кристаллов $Q_k = \frac{va}{bm}$, а количество жидкости $Q_{жс} = \frac{am}{vm}$.

Типы диаграмм состояния

Диаграмма I рода - для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (см. выше диаграмму Pb - Sb). Фазы: жидкость, кристаллы А и кристаллы В. Структурные составляющие: кристаллы А и В и эвтетика.

Диаграмма II рода — диаграмма для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии. Компоненты А, В. Фазы: жидкость L, твердый раствор α (рис. 15).

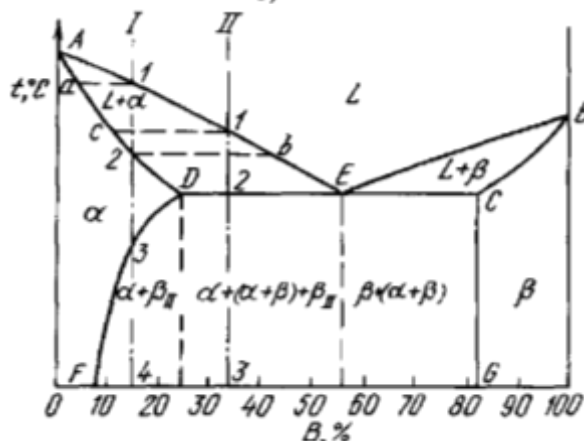
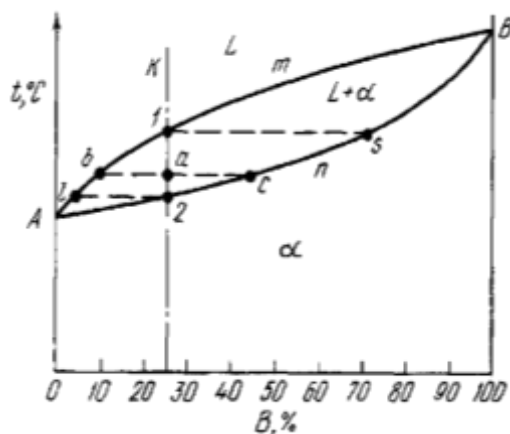


Рис. 15. Диаграмма II рода

Рис. 16. Диаграмма III рода

Если два компонента неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях, то возможно одновременное существование лишь двух фаз: жидкости и твердого раствора. Следовательно, трех фаз не бывает, кристаллизации при постоянной температуре не наблюдается и горизонтальной линии на диаграмме не будет.

Диаграмма состояния III рода (рис. 16) - диаграмма для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Компоненты: А, В. Фазы: жидкость L, твердые растворы α и β .

Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно в твердом и не образуют химических соединений. В сплавах такого рода возможно существование: жидкой фазы, твердого раствора компонента В в компоненте А, который называется α -раствор, твердого раствора компонента А в В, который обозначается через β . В этой системе не образуются фазы, представляющие собой чистые компоненты. Из жидкости могут выделяться только твердые растворы α или β (около вертикалей А и В, соответствующих чистым компонентам). Предельная растворимость компонента В в А определяется линией DF, а предельная растворимость А в В - линией CG. Линия АЕВ является на этой диаграмме линией ликвидус, линия ADCB - линией солидус.

Наиболее характерным сплавом для этой диаграммы является сплав I. Выше точки 1 сплав находится в жидком состоянии. В точке 1 начинается процесс кристаллизации и выделяются кристаллы твердого раствора α . В точке 2 кристаллизация закончится. Ниже точки 3 твердый раствор α является пересыщенным и выделяет избыточные кристаллы β -твердого раствора. Количество кристаллов β при охлаждении увеличивается, они обозначаются символом β_{II} и называются вторичными кристаллами, т.к. выделяются из твердого раствора, в отличие от первичных β -кристаллов, выделяющихся из жидкости.

Так как линия CG в отличие от линии FD изображена вертикальной, т.е. растворимость компонента А в В не зависит от температуры, то вторичных выделений α -кристаллов нет. Между точками D и C кристаллизация происходит по типу диаграммы I рода - диаграммы механических смесей.

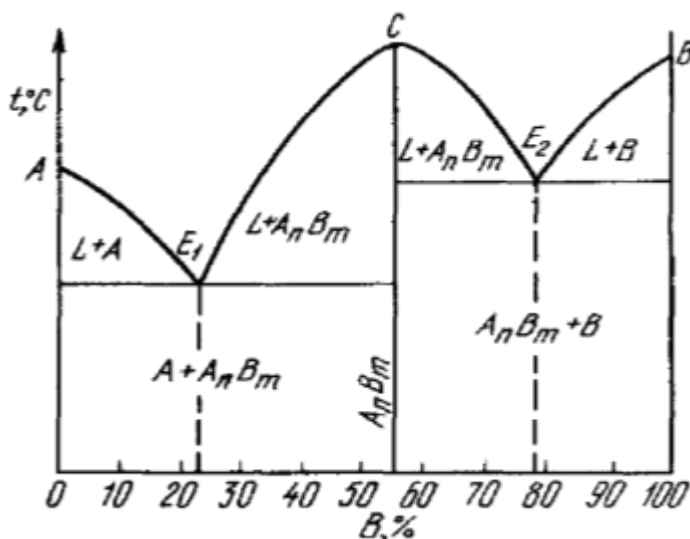


Рис. 17. Диаграмма IV рода

Диаграмма IV рода - диаграмма состояния сплавов, образующих устойчивое химическое соединение. Компоненты А и В при плавлении образуют химическое соединение, характеризующееся их определенным соотношением, что отразится на диаграмме вертикальной линией, проходящей через абсциссу, отвечающую данному соотношению компонентов в химическом соединений (рис. 17). Химическое соединение устойчиво, а значит, может само играть роль компонента системы сплавов, разделяя общую диаграмму состояния на ряд отдельных диаграмм, например, на две диаграммы I рода, где точки Е и Е₁- эвтектические.

Лекция 3 (2 часа)

Тема: Железо и его сплавы. (2 часа)

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Железо и углерод
2. Фазы в системе Fe-C
3. Диаграмма состояния сплавов системы Fe-C.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

В технике наиболее широко применяются сплавы на основе железа, а из них – сплавы железа с углеродом. Стали и чугуны составляют 95% используемых в мире конструкционных материалов. Для получения заданных свойств в них вводят легирующие элементы. Сплавы могут обеспечить не только разнообразные, но и лучшие свойства, чем чистое железо.

3.1. Железо.

Чистое железо – металл серебристого цвета, мягкий, благородный. Однако, небольшая доля примесей придает ему склонность к ржавлению. В настоящее время можно получить в значительных объемах железо 99,999% чистоты.

Технические сорта железа (железо Армко) содержат 99,8 – 99,9% Fe, т.е. с примесями до 0,2%, из которых углерода до 0,02%, меди до 0,1% и еще десяток других элементов с малой концентрацией.

Температура плавления железа 1539 °С. При содержании примесей 0,01 – 0,1% железо имеет следующие механические характеристики: твердость HB 70–80, предел прочности $\sigma_b = 200-250$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50\%$. Железо полиморфно и имеет четыре модификации, из которых рассмотрим подробно две основные – α (ОЦК) и γ (ГЦК решетка) (рис. 1).

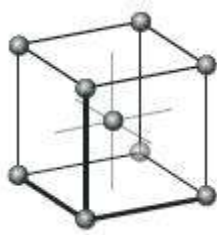


Рис. 1. Элементарные ячейки железа

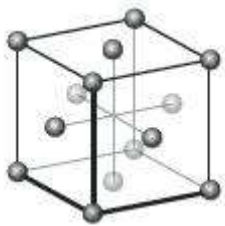


Рис. 2. Ячейка графита

Fe_α существует ниже 911°C . Период решетки ОЦК $0,287\text{ нм}$. Плотность $\rho_\alpha = 7,86\text{ г/см}^3$. Ниже 768°C (точка Кюри) железо ферромагнитно (магнитно), выше (Fe_γ) – оно парамагнитно. В ОЦК решетке имеется 12 свободных мест в середине ребер. Диаметр такого свободного места, так называемой поры, $0,062\text{ нм}$.

Fe_γ существует при температуре $911 - 1392^\circ\text{C}$. Период решетки ГЦК $0,364\text{ нм}$. Плотность $\rho_\gamma = 8,0\text{ г/см}^3$. Пора в центре куба больше, чем в ОЦК. Несмотря на тепловое расширение, объем γ металла меньше, чем объем Fe_α примерно на 1%, т.к. плотность упаковки атомов в ГЦК выше, чем в ОЦК.

Железо со многими элементами образует растворы: с *металлами* – растворы замещения, с *углеродом, азотом и водородом* растворы внедрения.

Углерод – неметаллический элемент, полиморфен: существует в двух кристаллических решетках. Соответствующие модификации – графит и алмаз.

Графит (от греч. *grapho* – пишу) – минерал, наиболее устойчивая модификация чистого углерода. Графит получают нагреванием антрацита без доступа воздуха. Твердость по минералогической шкале – 1, плотность $\rho = 2,2\text{ г/см}^3$. Графит огнеупорен ($T_{пл} = 3500^\circ\text{C}$), электропроводен, имеет цвет от черного до серого. Кристаллическая решетка – гексагональная слоистая. Межатомные расстояния: в основании решетки – $0,142\text{ нм}$, между слоями – $0,340\text{ нм}$ (рис. 2).

Алмаз (тюркск. алмас, от греч. *adamas* – несокрушимый), вторая – метастабильная (относительно устойчивая) модификация углерода. Этот самородный минерал очень твердый – твердость по минералогической шкале 10 (наивысшая), плотность $\rho = 3,5 - 3,6\text{ г/см}^3$. Цвет: желтоватый, зеленоватый, иногда голубой и черный, а также бесцветный. Ограниченные кристаллы – бриллианты.

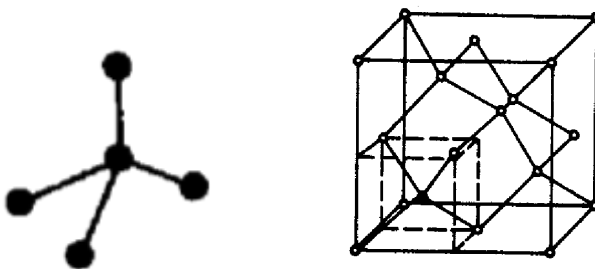


Рис. 3. Элементарная ячейка и объемная решетка алмаза

Непрозрачный алмаз – ценный абразив.

Синтетические алмазы получают при высоких давлении и температуре из графита. Средний размер кристаллов 1-2 мм. Их используют как абразив, материал для паст и порошков, для изготовления фильер.

Исключительно высокая твердость алмаза определяется строением кристаллической решетки, в которой все четыре атома расположены на одинаковом расстоянии от центрального атома. Межатомная связь ковалентная, энергия связи очень большая, решетка неплотнупакованная.

В графите ковалентные силы действуют в основаниях, а между основаниями – слабые силы Ван-дер-Ваальса. При деформации графита в первую очередь разрушаются связи между слоями, чем и объясняется его низкая твердость.

Взаимодействие железа и углерода

- Углерод растворяется в железе в жидком и твердом состояниях. В твердом состоянии образует с атомами Fe твердые растворы внедрения $\text{Fe}(\text{C})$.
- Углерод и железо могут образовывать химическое соединение Fe_3C – карбид железа.
- В высокоуглеродистых соединениях углерод может находиться в чистом виде, в виде графита Г (т.е. образуется механическая смесь $\text{Fe}(\text{C})+\text{Г}$).

3.2. Фазы в системе Fe – C

В системе железо – углерод возможно присутствие следующих фаз: жидкости (Ж), растворов феррита (Ф) и аустенита (А), химического соединения цементита (Ц) и графита (Г).

Жидкость – вещество, в промежуточном состоянии между твердым и газообразным с относительно равномерным распределенными атомами компонентов, имеющих «ближний порядок» в отличие «дальнего порядка» - атомной связи в кристаллах. В жидкости атомы охвачены повышенной энергией, более подвижны и потому проявляется текучесть.

Феррит (от «феррум»), являющийся твердым раствором внедрения углерода (и других элементов) в α -железе, обозначается Fe_α (C). Различают высокотемпературный и низкотемпературный феррит. Свойства феррита при содержании 0,006% углерода при температуре 20 °С: предел временного сопротивления $\sigma_b = 250\text{--}300$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50\%$, твердость HB 80 – 100.

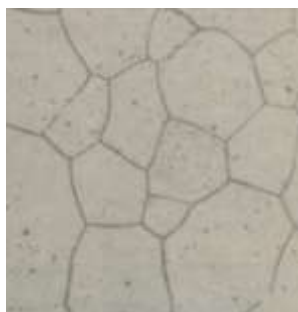


Рис. 4. Микроструктура феррита (полиэдры)



Рис. 5. Микроструктура аустенита

Растворимость углерода в феррите низка, так как в ОЦК решетке поры малы и значительная часть углерода располагается в вакансиях и на дислокациях.

Аустенит (в честь англ. ученого Р. Аустена) – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе, обозначается Fe_γ (C). Растворимость углерода в Fe_γ достигает 2,14% - значительно больше, чем в Fe_α , т.к. в отличие от ОЦК решетки в ГЦК решетке в центре имеется сравнительно большая пора диаметром 0,102 нм (диаметр атома графита 0,154 нм). Аустенит пластичен ($\delta = 60\%$), но прочнее при $T = 20$ °С имеет твердость HB 160 – 200 из-за искажений решетки.

Микроструктура аустенита и феррита – полиэдрические (многогранные) зерна, но в аустените имеются двойники (рис.5).

Главный вывод: Графит и алмаз – химический состав одинаков, но разные решетки и очень разные свойства; аналогично аустенит и феррит – одно и то же по составу, но структура различна и свойства также различны.

Цементит – карбид железа Fe_3C . Атомный состав в %: Fe – 75, C – 25. Массовый состав: 6,67% C, остальное Fe.

Цементит имеет сложную ромбическую решетку, очень твердый (>800 НВ) и хрупкий (имеет почти нулевую пластичность). Температура плавления $T_{\text{пл}} = 1260^\circ\text{C}$.

В кристаллах цементита преобладает металлическая связь, поэтому он электропроводен, имеет блеск, белый цвет. В цементите атомы железа могут замещаться атомами металлов, атомы углерода атомами азота и кислорода – получается *легированный* цементит.

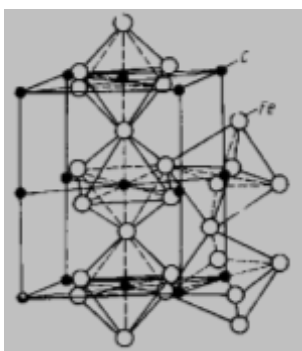


Рис. 6. Элементарная ячейка цементита

Цементит – соединение неустойчивое и при высокой температуре может распадаться на Fe и графит Г. Графит имеет 100% углерода и простую по форме решетку. Аустенит и феррит – малоуглеродистые сплавы (в аустените 2,14% углерода) и имеют сложные решетки. Цементит имеет около 7% углерода и очень сложную кристаллическую решетку. В этой связи из жидкости при охлаждении, из других фаз (аустенита и феррита) легче образуется цементит (он ближе к ним по строению), чем свободный графит.

3.3. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Диаграмма состояния по составу компонентов железо-углерод (Fe – C), а по фазовому составу железо-цементит (Fe – Ц или Fe – Fe_3C), поэтому диаграмма имеет двойную шкалу концентраций (рис. 3). Вертикальные шкалы – температурные с критическими точками для железа (А (1539 $^\circ\text{C}$), G (911), N (1392)) и у цементита – точка D ($T_{\text{пл}}$). Принимая за второй компонент цементит (а не углерод) диаграмму называют диаграммой состояния сплавов железо-цементит.

Линия ACD – ликвидус, линия AECSF – солидус.

На участке AC в интервале температур из жидкости кристаллизуется аустенит, на участке CD – цементит, а в точке С и по всей горизонтали EF – эвтектическая смесь аустенита (А) с цементитом (Ц). Эта часть диаграммы представляет собой диаграмму III рода с эвтектикой и линией ES ограничения растворимости углерода.

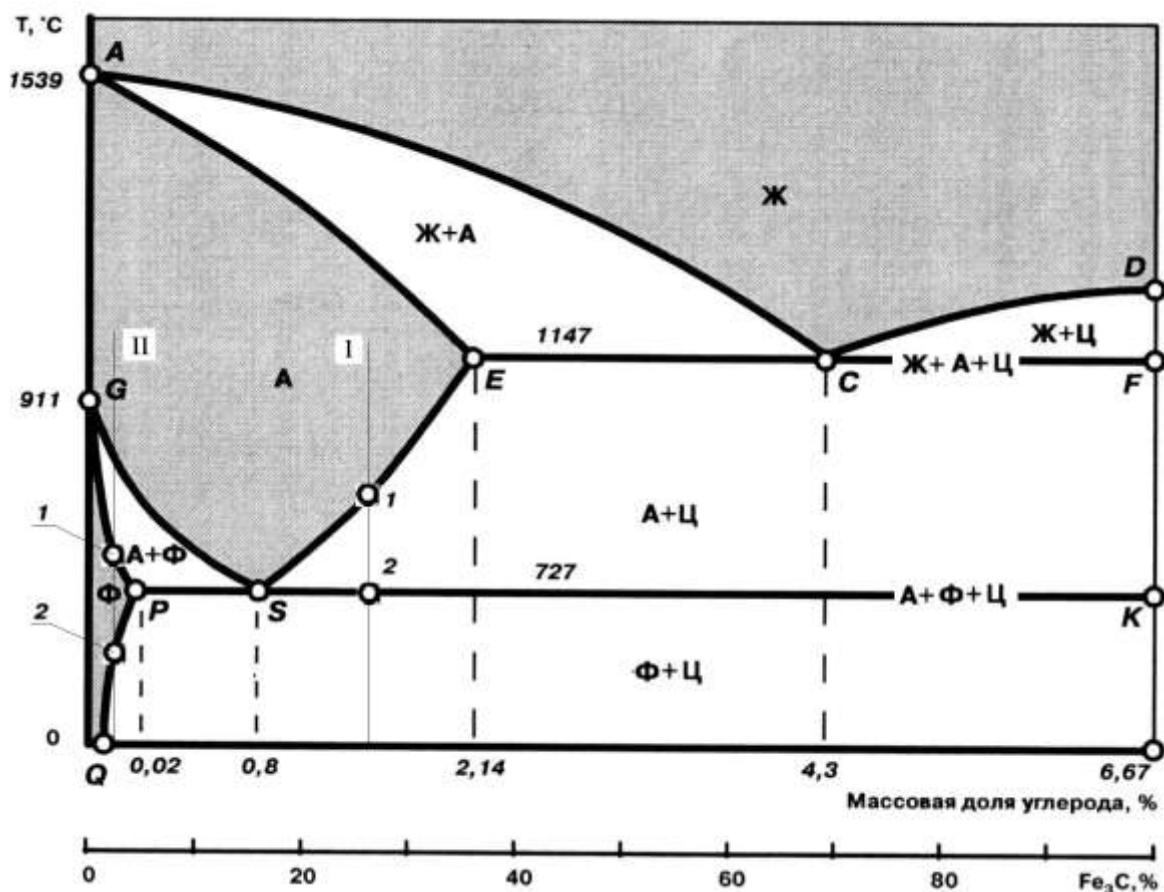


Рис. 7. Фазовая диаграмма состояния сплавов Fe - C

Линии: CD – первичного цементита, образующегося из жидкости,
 ES – вторичного цементита, образующегося из аустенита (А),
 PQ – третичного цементита, образующегося из феррита (Ф).

Особенности превращений:

1. *Выделение цементита из-за растворимости углерода (C) в фазах.*

Так, для сплава I с 1,5% содержанием углерода (C) при температуре 1147°C насыщение аустенита углеродом не полное (могло быть $\approx 2\%$), но при охлаждении от точки 1 и ниже концентрация углерода снижается и на линии PSK составит всего 0,8%. Аналогичный процесс происходит в сплаве II при температурах от точки 2 и ниже для феррита, т.к. при охлаждении концентрация углерода уменьшается до 0,006% (точка Q). Выделяющийся углерод образует цементит для сплава I – вторичный, для сплава II – третичный.

2. *Вторичная кристаллизация (перекристаллизация), вызванная превращением $Fe_\gamma - Fe_\alpha$.*

Чистое железо претерпевает это превращение при 911°C, а сплавы - в интервале температур, соответствующих линиям GS (начало превращения аустенита в феррит) и GP (конец превращения), а также от GS до PS. Кроме того, на линии PSK происходит перлитное превращение (рассмотрено ниже).

Используя правило рычага, можно установить, что в области диаграммы EFKSE находятся фазы аустенит (А) и цементит (Ц), а в PKLQP – феррит и цементит. Таков фазовый состав железоуглеродистых сплавов на диаграмме состояния.

Количественно распределение фаз на диаграмме (рис. 7) следующее:

- однофазные области: Ж – выше линии ликвидус ACD,
 А – в пределах AESGA, здесь т. Е соответствует предельной растворимости углерода в аустените,

Ф – в пределах GPQOG, здесь т. Р и Q соответству

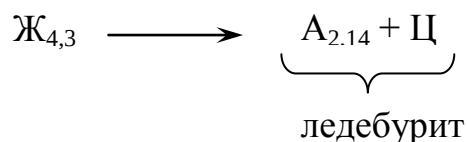
ют предельной растворимости углерода в феррите;

- по две фазы имеется во всех остальных областях и на наклонных линиях;

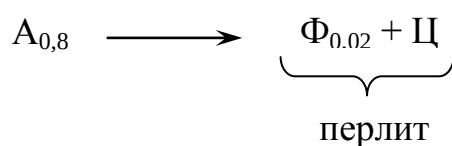
- по три фазы существует только на горизонтальных линиях ECF и PSK.

На этих горизонтальных линиях происходят изотермические превращения:

на линии ECF (1147 °С) – *эвтектическое* превращение. Образующаяся эвтектика называется *ледебуритом* (в честь немецкого ученого А. Ледебура);



на линии PSK (727 °С) – *эвтектоидное* превращение. Образующийся эвтектоид называется *перлитом* (от перламутрового блеска).



Эвтектика и эвтектоид («похожий на эвтектику») представляют собой **мелкокристаллические смеси двух фаз** (составляющих). Это самостоятельные структурные составляющие, значительно влияющие на свойства сплавов.

Перлит (0,8% С) (рис.8) чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурой: $\sigma_{\text{в}} \approx 600$ МПа, твердость HB 180 – 220, $\delta \approx 16\%$.

Ледебурит (4,3% С) (рис. 9) при охлаждении претерпевает на линии PSK эвтектоидное превращение находящегося в нем аустенита. При низких температурах ледебурит представляет собой смесь перлита с цементитом. Цементит образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита (цементит на рис.9 светлый, перлит – темный). Такое строение ледебурита служит причиной его большой твердости (> HB 600) и хрупкости (δ до 2%). Присутствие ледебурита в структуре сплавов обуславливает их неспособность к обработке давлением, затрудняет обработку резанием.



Рис. 8. Перлит (эвтектоид)

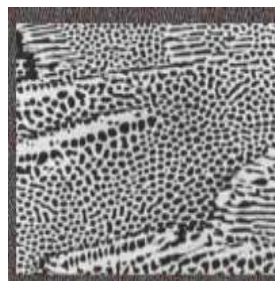


Рис. 9. Ледебурит (эвтектика)

Поскольку структурная диаграмма (рис. 10) довольно сложная, необходимо рассмотреть процессы превращений железоуглеродистых сплавов различного состава.

I сплав содержит углерода до 0,006%. В жидкости в интервале линии AC-AE кристаллизуется аустенит, который при дальнейшем охлаждении в интервале линий GS-GP превращается в феррит ($A \rightarrow \Phi$), что представлено на фрагменте диаграммы точками 1

и 2. Ферритная структура сохраняется вплоть до комнатной температуры (пунктирная линия).

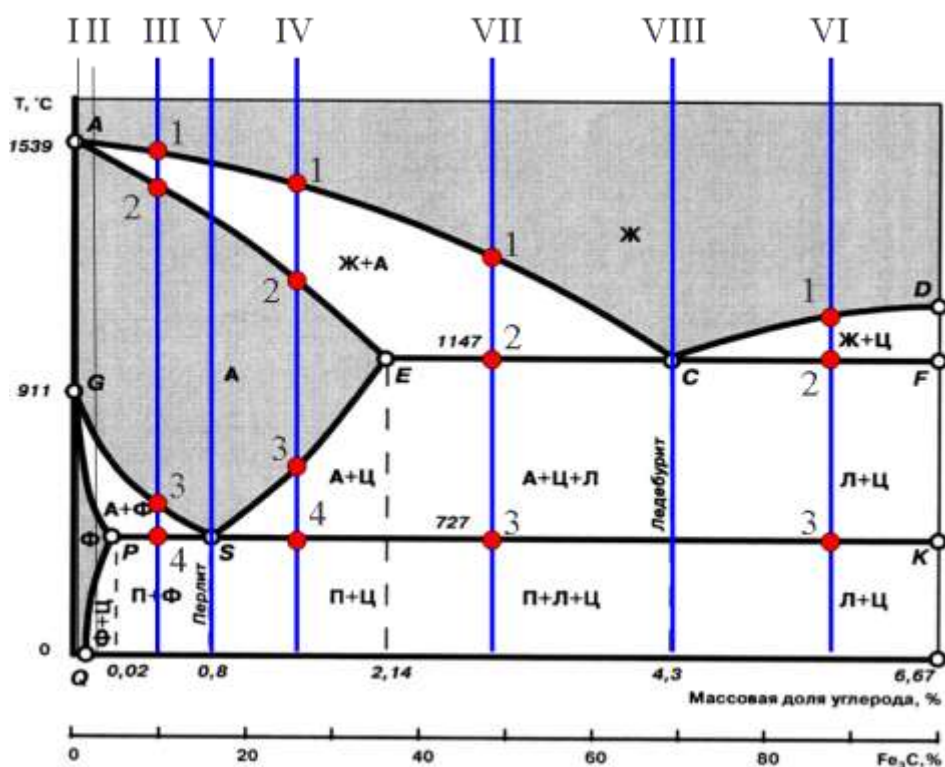
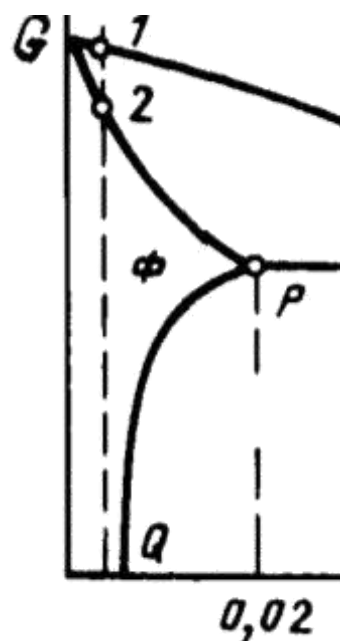


Рис. 10. Структурная диаграмма состояния сплавов Fe - Fe₃C

II сплав с содержанием углерода 0,006 – 0,02%. Сначала процесс идет как в сплаве 1, но при охлаждении феррита от линии PQ из него выделяются избыточный углерод и образуется цементит третичный (процесс описан выше). Конечная структура будет двухфазной: Ф + Ц_{III} (феррит + третичный цементит), причем феррит в виде зерен, цементит в виде прослоек по их границам. Третичный цементит ухудшает технологическую пластичность.

Так как содержание третичного цементита невелико по сравнению с цементитом, выделяющимся при других фазовых превращениях, то о нем и не упоминают при

рассмотрении структур сплавов с содержанием углерода больше 0,02% (для сплавов правее т. Р).

Сплавы с содержанием углерода от 0,02 до 2,14% - стали.

Сплав III с содержанием углерода от 0,02 до 0,8%. Образование кристаллов аустенита происходит в интервале температур 1 – 2. В точке 2 кристаллизация аустенита заканчивается. От точки 2 до точки 3 структурных изменений не происходит, аустенит просто охлаждается. В точке 3 начинается превращение аустенита в феррит. При охлаждении сплава до точки 4 состав остаточного аустенита будет соответствовать эвтектоидному, поэтому произойдет эвтектоидное превращение аустенита в перлит. При комнатной температуре структура сплава состоит из феррита и перлита (рис.11).

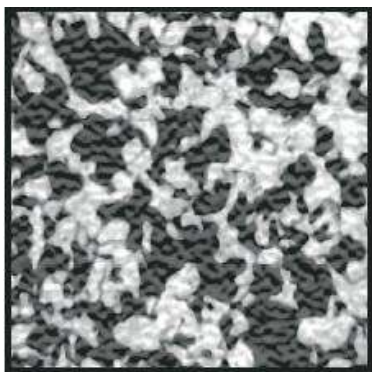


Рис. 11. Сталь доэвтектоидная

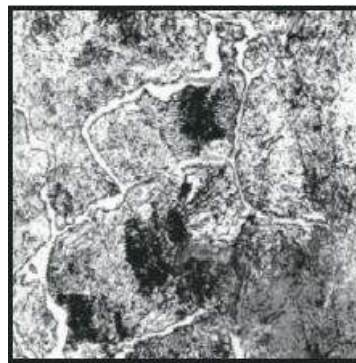


Рис. 12. Сталь заэвтектоидная

Сплав IV с содержанием углерода от 0,8 до 2,14%. До точки 3 превращение в этом сплаве такие же, как и в предыдущем (из жидкости образуется аустенит, который охлаждается без изменения до точки 3). При охлаждении в интервале температур 3 – 4 из кристаллической решетки аустенита выделяется избыточный углерод с образованием вторичного цементита C_{II} . На линии PSK происходит эвтектоидное превращение, при котором аустенит превращается в перлит. Поэтому при комнатной температуре структура сплава состоит из перлита и вторичного цементита (в виде белой сетки вокруг перлитных зерен), что представлено на рис. 12.

Сплав V с содержанием углерода 0,8%, по составу соответствует точке S. Слева от точки S аустенит частично превращается в феррит, справа от нее аустенит частично превращается в цементит вторичный, а в точке S весь аустенит превращается в перлит (A+Ц).

В сплавах с содержанием углерода более 2,14% при кристаллизации происходит эвтектическое превращение. Такие сплавы называются чугунами.

Сплав VI с содержанием углерода от 4,3 до 6,67%. Кристаллизация начинается с образования цементита. Первичный цементит выделяется из жидкости в интервале температур 1 – 2. В точке 2 состав жидкости соответствует точке C, т.е. жидкость имеет концентрацию углерода, равную 4,3% и происходит эвтектическое превращение этой жидкости в ледебурит. При дальнейшем охлаждении в интервале температур 2 – 3 из аустенита, входящего в эвтектику – ледебурит, выделяется вторичный цементит. В точке 3 происходит перлитное превращение аустенита. Поэтому при комнатной температуре сплав состоит из цементита и ледебурита, представляющего собой смесь перлита и цементита (рис. 14).

Сплав VII с содержанием углерода от 2,14 до 4,3%. Кристаллизация начинается в точке 1 образованием аустенита, в точке 2 жидкость имеет концентрацию углерода, равную 4,3% и происходит эвтектическое превращение жидкости в ледебурит. При дальнейшем охлаждении в интервале 2 – 3 из аустенита, как структурно свободного, так и входящего в эвтектику (ледебурит), выделяется вторичный цементит. В точке 3 происходит перлитное превращение аустенита, содержащего 0,8% углерода. Структура таких сплавов при

комнатной температуре состоит из перлита, ледебурита и вторичного цементита (рис. 13). Вторичный цементит и цементит ледебурита сливаются и практически неразличимы.

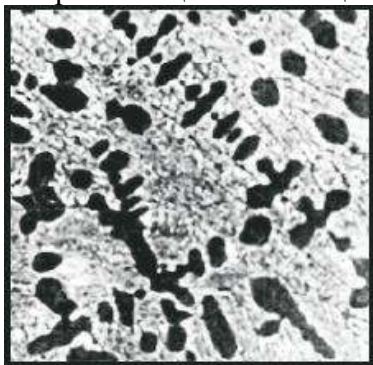


Рис. 13. Чугун доэвтектического

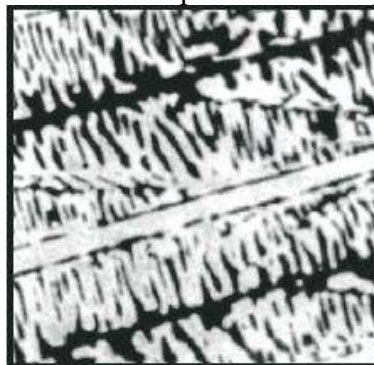


Рис. 14. Чугун заэвтектического

Сплав VIII с содержанием углерода 4,3%. Жидкость в точке С превращается в ледебурит – смесь мелких кристаллов аустенита и цементита. При охлаждении содержание углерода в аустените, входящем в ледебурит понижается и на линии PSK происходит его перлитное превращение.

У всех сплавов, содержащих $< 2,14\%$ углерода – у сталей, в результате первичной кристаллизации получается пластичная структура аустенита, у сплавов с у углеродом $> 2,14\%$ – у чугунов структура хрупкая, т.к. включает ледебурит.

Это различие в структуре при высокой температуре и создает существенное различие в технологических приемах обработки сплавов. Стали подвергают ковке, прокатке и другим видам обработки давлением, а чугуны применяют как литейный материал.

Диаграмма железо – цементит называется равновесной, т.к. получена при медленном охлаждении, обеспечивающем условия для диффузионных превращений. Если вести очень медленное охлаждение, то вместо первичного цементита при более высокой температуре из жидкости выделяется графит – Γ_1 . Выше линии ECF образуется графитная (нецементитная) эвтектика $A + \Gamma_{эвт.}$.

Из аустенита будет выделяться графит вторичный, выше линии PSK образуется графитный эвтектоид. Таким образом, будет получена диаграмма Fe – C.

Диаграмма имеет большое теоретическое и практическое значение. Теория термообработки опирается на критические точки (точки Чернова), которые имеют особые обозначения.

$A_0 = 210^\circ\text{C}$ – граница ферромагнитности Fe_3C ,

$A_1 = 727^\circ\text{C}$ – линия PSK,

$A_2 = 768^\circ\text{C}$ – точка Кюри, граница ферромагнитности железа,

A_3 – граница $\alpha - \gamma$ превращений (GS),

$A_4 = 1392^\circ\text{C}$ – точка N,

$A_{ст}$ – граница цементитного превращения (ES).

При нагреве к букве А добавляют индекс *c* (например A_{c3}), при охлаждении сплава индекс *r* (A_{r1}).

Лекция 4 (2 часа)

Тема: Углеродистые стали и чугуны. (2 часа)

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Влияние углерода и примесей на структуру и свойства стали
2. Классификация и маркировка сталей
3. Состав, структура свойства чугунов
4. Классификация и маркировка чугунов

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

5.1. Состав углеродистых сталей

Сталь – основная продукция черной металлургии, причем приблизительно 90% изготавливается углеродистой стали, а 10% легированной.

Углеродистая сталь – сложный по химическому составу сплав, в котором кроме железа (97,0 – 99,5%), имеется много элементов, наличие которых либо обусловлено технологическими особенностями производства (специально вводят марганец и кремний), либо невозможностью полного удаления их из металла (сера, фосфор, кислород, азот, водород), а также случайными примесями (хром, никель, медь и др.). Сталь разных способов выплавки (мартеновский, конвертерный и др.) главным образом различают по содержанию этих примесей.

Итак, *примесями* являются элементы сплавов, присутствующие в малых дозах и несущественно влияющие на их свойства. Если же элементы содержатся в количестве достаточном для изменения свойств сплавов их называют *компонентами*.

Таким образом, по ряду причин в сталях обязательно содержатся примеси – это неизбежно. Однако один элемент в стал вводят специально – это **углерод**. Углерод сильно влияет на свойства стали даже при малых дозах. При небольших количествах остальных элементов (примесей) углерод является главным компонентом, который определяет свойства железоуглеродистых сплавов, поэтому эти сплавы, содержащие менее 2% углерода называют **углеродистыми сталями**.

В большинстве случаев от изделия требуется определенная жесткость. Конструктор выбирает площадь и форму поперечного сечения детали. При этом обычно получается, что действующие в детали напряжения значительно меньше предела текучести стали. В этом случае прочностные свойства металла достаточны в «сыром» виде, металл не подвергается специальной обработке.

В случае, когда прочность стали оказывается недостаточной ее подвергают термообработке. Но тогда к стали предъявляются повышенные требования (узкий предел по содержанию углерода и др.). Такая сталь называется сталью повышенного качества (качественная). Кроме того, различают стали высококачественные и особо высококачественные.

5.2. Влияние углерода и примесей на структуру и свойства стали

С изменением содержания углерода изменяется структура стали. Сталь, содержащая 0,8% углерода состоит из перлита; доэвтектоидная сталь, содержащая меньше 0,8% углерода, имеет перлит и феррит (Ф + П); заэвтектоидная сталь (> 0,8% углерода) содержит перлит и вторичный цементит (П + Ц_{II}).

Перлит и тем более цементит придают твердость, прочность, но и хрупкость. По закону Н.С. Курнакова, например, твердость линейно зависит от содержания углерода; относительное удлинение и ударная вязкость снижаются; предел прочности сначала растет, а затем уменьшается т.к. повышается хрупкость (рис. 1). Приведенные показатели механических свойств действительны для горячекатаных изделий без термообработки, для более грубой литой структуры показатели ниже (главным образом пластичность).

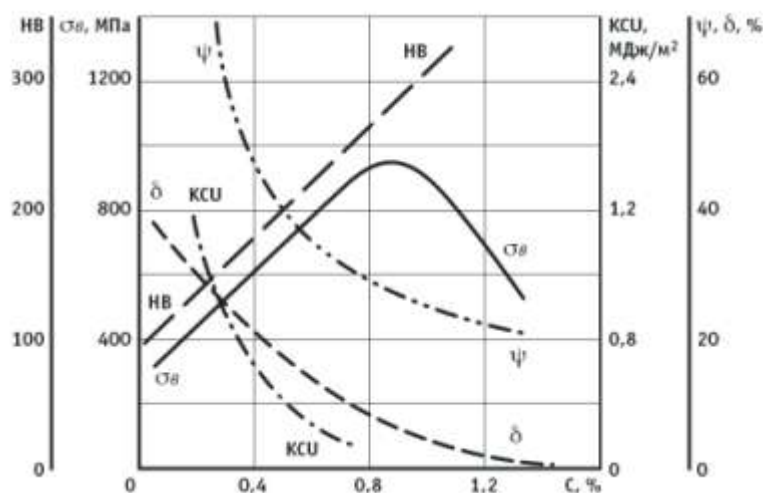


Рис. 1. Влияние содержания углерода на механические свойства сталей

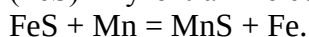
Влияние постоянных примесей на свойства стали.

Постоянные примеси (марганец, кремний, фосфор, сера), а также газы (водород, азот, кислород) обязательно присутствуют в технических сортах стали.

Обычно содержание этих элементов ограничивается следующими значениями: $Mn \leq 0,8\%$, $Si \leq 0,5\%$, $P \leq 0,05\%$, $S \leq 0,05\%$. При большем их содержании сталь относят к сорту легированных, а эти элементы вводят специально.

Рассмотрим влияние примесей.

Марганец – вводят для раскисления стали (удаления закиси железа). Марганец уменьшает вредное влияние серы, переводя легкоплавкие соединения сульфида железа (FeS) в тугоплавкие соединения сульфида марганца (MnS):



Марганец растворяется в феррите и цементите (он образует раствор замещения $Fe_\alpha(Mn)$ и химическое соединение Mn_3C), что в результате повышает прочность стали.

Кремний – как и марганец является раскислителем стали. Влияние малых долей кремния аналогично влиянию марганца. Кремний структурно не обнаруживается, так как полностью растворяется в феррите ($Fe_\alpha(Si)$). Оксид кремния SiO_2 удаляется со шлаками, частично остается (не успевает всплыть), образуя силикатные включения.

Фосфор – вредная примесь. Фосфор переходит в сталь из железной руды, топлива и флюсов. Различные способы получения стали обеспечивают разный уровень содержания фосфора в ней: от 0,02% (электропечи) до 0,12% как в исходном чугуна (бессемеровский способ).

Фосфор может растворяться в феррите до 1,2%, но при этом резко повышается температура перехода в хрупкое состояние – *хладноломкость* стали. Повышение концентрации фосфора на 0,01% поднимает порог хладноломкости на $25^\circ C$. В отдельных случаях фосфор желателен, так как облегчает обрабатываемость стали режущим инструментом.

Сера – вредная примесь. Сера, как и фосфор, попадает из руд, из печных газов. Максимальное содержание серы в бессемеровской стали – 0,06%. В сталях обыкновенного качества серы содержится до 0,055%, в высококачественных сталях – до 0,025%. Синтетические шлаки позволяют снизить содержание серы до 0,005%.

Сера нерастворима в железе и образует с ним легкоплавкий сульфид железа ($T_{пл} = 988^\circ C$). Это эвтектика ($Fe+FeS$), затвердевающая при кристаллизации стали в последнюю очередь и располагающаяся, следовательно, по границам зерен железоуглеродистого сплава. При нагреве от $800^\circ C$ и выше (в области температур красного каления) сульфид железа, ослабляя межзеренные связи, охрупчивает сталь и вызывает *красноломкость*. Такая сталь не обрабатывается давлением – получают надрывы и трещины.

Введение марганца приводит к образованию сульфида марганца MnS , который плавится при температуре $1620^{\circ}C$, а при температуре $800 - 1200^{\circ}C$ он пластичен и при обработке давлением вытягивается в продолговатые линзы.

Газы. Водород, азот и кислород содержатся в стали в небольших количествах, зависящих от способа производства. Они могут присутствовать:

- в свободном состоянии,
- в α -твердом растворе (внедрения),
- в соединениях (кислород в оксидах, азот в нитридах).

Водород может находиться в твердом растворе, а также скапливаться в порах и на дислокациях.

Водород охрупчивает сталь; повышенное его содержание приводит к образованию флокенов – мелких внутренних надрывов, образующихся при охлаждении стали, когда растворимость водорода уменьшается и он выделяется из раствора.

Кислород и азот так же как и водород снижают пластичность стали.

Оксиды SiO_2 , MnO , FeO и др. в процессе деформации металла дробятся и располагаются в виде разорванных строчек и пятен (рис 2). Сульфиды (MnS и др.) – пластичные образования. Они располагаются вдоль направления прокатки в виде вытянутых линз (рис. 3). Наличие такой структуры вызывает сильную анизотропию свойств.



Рис. 2. Оксиды

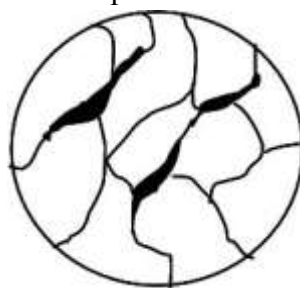


Рис.3. Сульфиды

Неметаллические включения (сульфиды, оксиды, нитриды) являются концентраторами напряжений, снижают пластичность и вязкость металла. Неметаллические включения, сера, газообразные примеси удаляются из металла в процессе переплава.

5.3. Классификация и маркировка сталей

Стали классифицируют по способу производства, содержанию углерода, степени раскисления, качеству, структуре, прочности и назначению.

По способу производства: мартеновские, конверторные и электросталь.

По содержанию углерода: низкоуглеродистые ($< 0,25\% C$), среднеуглеродистые ($0,3 - 0,5\% C$), высокоуглеродистые (до $0,65\% C$) стали.

По степени раскисления стали бывают: спокойные, полуспокойные и кипящие. Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Они содержат повышенное количество кислорода (в закиси железа FeO), который частично взаимодействуя с углеродом при затвердевании, удаляется в виде CO . Выделение пузырей CO создает эффект кипения стали, откуда такое название.

Слиток из спокойной стали имеет усадочную раковину, расположенную в его верхней части (рис 4). В связи с этим металл значительной части слитка (до 20%) не может быть использован и идет в отход. Зато металл оставшейся части слитка плотный, однородный по химическому составу и обладает высокими механическими свойствами. Слиток из кипящей стали имеет большое количество мелких усадочных раковин и газовых пузырей, рассеянных по всему объему. Кипящие стали дешевые, их применяют для изготовления неотчетливых изделий.

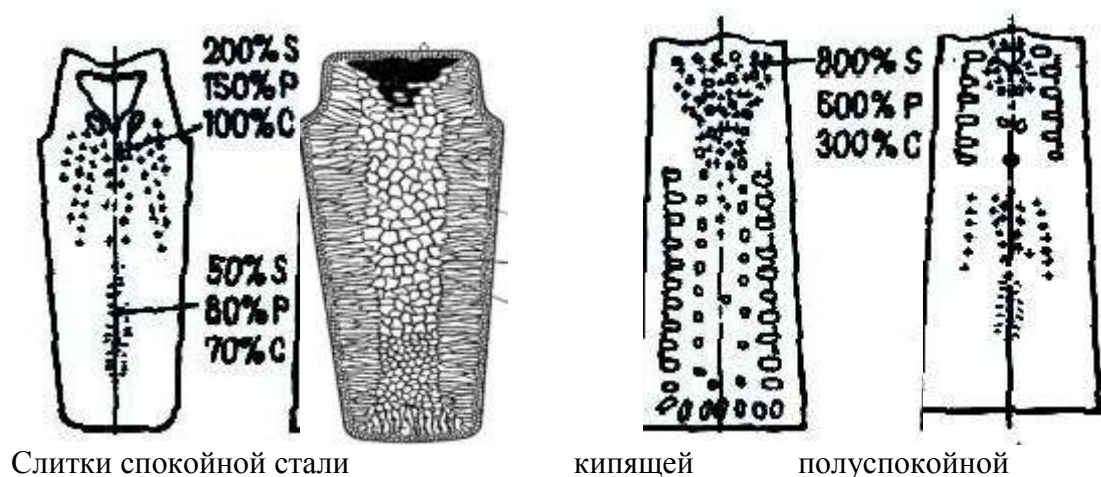


Рис. 4. Слитки сталей различной раскисленности

Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими сталями и раскисляются марганцем и алюминием.

По качеству принято выделять: стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные (легированные).

Таблица 1. Классификация углеродистых сталей по качеству

Группа стали	S, %	P, %
Стали обыкновенного качества	до 0,05	до 0,04
Качественные конструкционные	0,04	0,035
Качественные инструментальные	0,03	0,030
Высококачественные инструментальные	0,02	0,025

Под качеством стали понимают совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Качество определяет содержание газов и вредных примесей, влияющих на однородность химического состава, строение и свойства стали, а также ее технологичность. Газы являются скрытыми, количественно трудно определяемыми примесями, поэтому нормы содержания вредных примесей (фосфора и серы) служат основными показателями для разделения сталей по качеству.

По структуре в равновесном состоянии углеродистые стали делятся на доэвтектоидные (структура - Ф + П), эвтектоидные (перлит пластинчатый или зернистый), заэвтектоидные (П + Ц_{II}). Соответствующие микроstructures представлены на рис. 5.

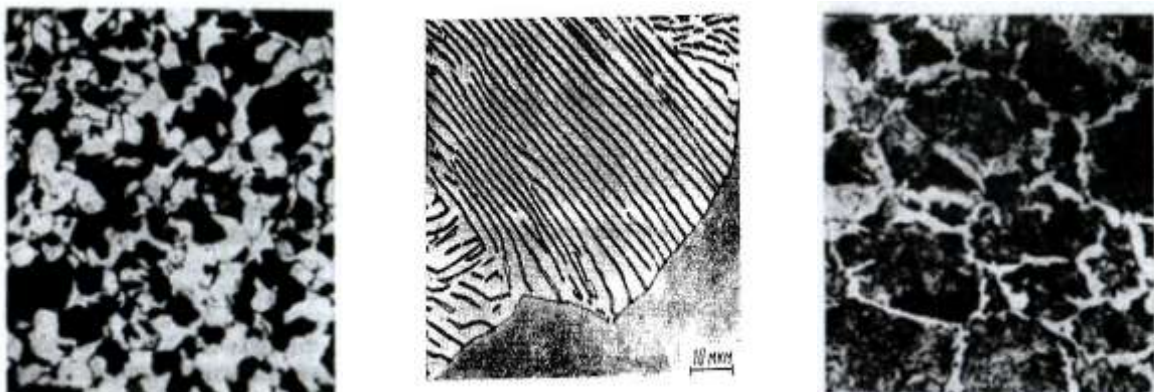


Рис. 5. Доэвтектоидная, эвтектоидная и заэвтектоидная стали

По прочности, оцениваемой временным сопротивлением, стали условно делят на стали нормальной (средней) прочности (до 1000 МПа), повышенной прочности (1000 – 1500 МПа), высокой прочности (более 1500 МПа).

По назначению. Две основные группы: конструкционные и инструментальные.

Углеродистые стали дешевы и удовлетворительно сочетают механические свойства с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением (причем по последним показателям превосходят легированные). Однако они хуже выдерживают термообработку – при закалке требуют охлаждения в воде, что вызывает коробление, деформацию. У них небольшая прокаливаемость (до 12 мм по диаметру).

Сталь углеродистая обыкновенного качества.

Такая сталь выплавляется по нормам массовой технологии, имеет повышенное содержание вредных примесей и газов. Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380 – 94) выпускают в виде проката (балки, прутки, листы, уголки, трубы, швеллеры и т.п.), а также поковок.

Стали маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки – чем выше номер, тем выше прочность, но ниже пластичность стали.

Степень раскисления обозначается добавлением индексов: в спокойных сталях – «сп», полуспокойных – «пс», кипящих – «кп».

Углеродистые качественные стали.

Эти стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества, содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Они имеют гарантированный химический состав и механические свойства. Служат для изготовления ответственных деталей машин, подвергаемых термообработке.

Марки включают в себя сочетание слова «Сталь» и двузначные числа 05, 08, 10, 15, 20, ..., 60, обозначающие среднее *содержание углерода в сотых долях процента* (ГОСТ 1050 – 88). Например, сталь 10 содержит в среднем 0,10% С, сталь 45 – 0,45% С и т.п. В конце марки ставят также индексы, указывающие на степень раскисления. Причем спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие с индексами соответственно «пс» и «кп». Такая маркировка относится к сталям содержащим не более 0,8% марганца, если марганец содержится в интервале 0,8 – 1,2%, то в конце марки добавляется буква «Г», например, Сталь 60Г.

Сталь углеродистая инструментальная.

По ГОСТ 1435 – 90 различают две группы сталей качественная и высококачественная. В качественных сталях содержится до 0,028% S, до 0,030% P, в высококачественных - до 0,018% S, до 0,025% P. Маркируется сталь буквой «У», указывающей на то, что сталь углеродистая и цифрой, показывающей среднее *содержание углерода в десятых долях процента*. Например, У7, У8 и т.д. Для обозначения высококачественной стали в конце марки ставят букву «А», например, У7А, У8А и т.п.

5.4. Состав, структура и свойства чугунов

Чугуны как и стали являются сплавами системы железо-углерод.

Отличия чугуна от стали:

- по составу: более высокое содержание углерода ($C > 2,14\%$, чаще до 4,5%),
- по технологическим свойствам: лучшие литейные качества, малая способность к пластической деформации (хрупкость),
- по стоимости (дешевле).

Из диаграммы железо-углерод видно, что в сплавах углерод связан в цементит. Однако на практике (детали машин, станков) в большинстве случаев применяется чугун с графитом, а не белый – с цементитом.

Рассмотрим процесс графитизации.

Графит – полиморфная модификация углерода. Кристаллическая структура графита – слоистая с ковалентной связью в слоях и с металлической связью между слоями, поэтому графит электропроводен и непрочен.

Цементит по составу ближе к аустениту, чем к графиту, так как аустенит содержит 2,14% С, цементит 6,67% С, а графит 100% С. Поэтому образование цементита из аустенита, а также из жидкости происходит кинетически легче, т.к. работа образования зародыша, как и необходимые диффузионные изменения, меньше в случае кристаллизации цементита, чем при кристаллизации графита.

С другой стороны, известно, что при нагреве цементит распадается на железо и углерод. Отсюда ясно, что термодинамически графит стабильнее.

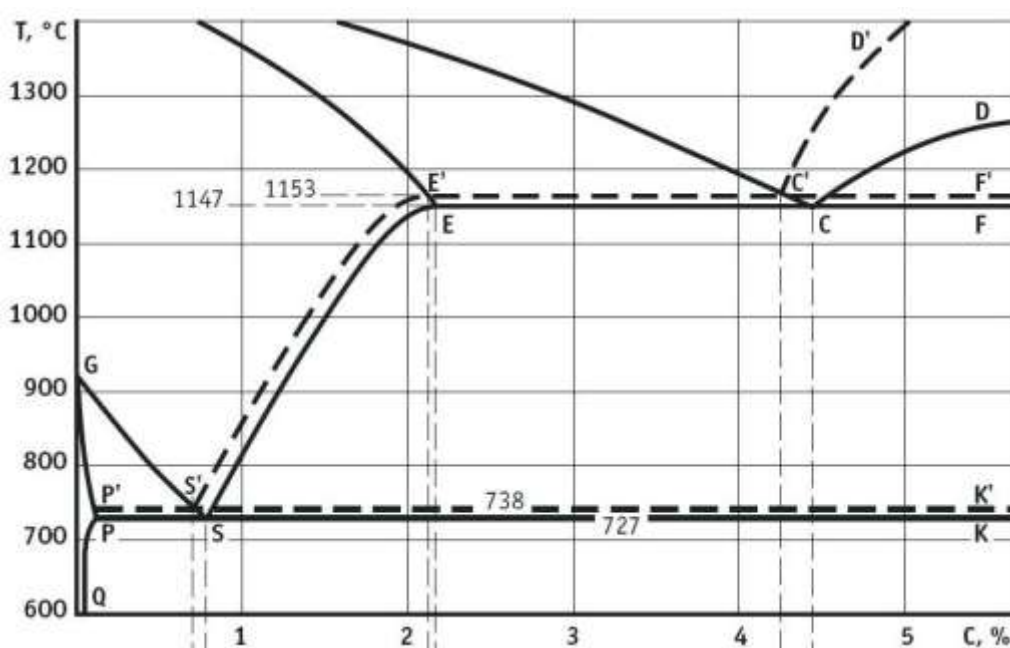


Рис. 6. Диаграммы Fe – Fe₃C и Fe – C

Для образования графита необходимы сильные диффузионные процессы: атомов железа от кристалла графита и атомов углерода к этому кристаллу, поэтому образование графита из жидкости или аустенита – медленно протекающий процесс, для его осуществления требуется малые скорости охлаждения. Однако благодаря наличию примесей в жидкости в реальных условиях процесс графитизации может начаться быстрее. Для облегчения графитизации в сплав вводят специальные модификаторы.

Структура и свойства чугунов.

Белый чугун – фазовый состав: П + Ц, структуры: Л + П + Ц_{II}; Л; Л + Ц_I.

Следовательно, весь углерод находится в форме цементита (графитизация равна нулю).

Белый чугун очень тверд и хрупок, практически не поддается обработке режущим инструментом и потому в машиностроении не используется. Однако примерно 85% получаемых в металлургии чугунов – белые. Они являются передельными, используются для передела в сталь, а также для получения серого, высокопрочного и ковкого чугунов.

Серый чугун в изломе имеет серый цвет, так как в структуре находятся графитные включения, количество и размеры которых имеют широкий диапазон. Металлическая

основа чугуна тоже не одинакова. По строению металлической основы чугуны разделяют на:

- серый перлитный. Перлит с включениями графита, в нем 0,8% углерода находится в связанном состоянии в виде цементита, остальное – в виде графита.
- серый ферритно-перлитный. Структура: Ф + П + включения графита, в нем связано меньше 0,8% углерода.
- серый ферритный, имеет ферритную металлическую основу и весь углерод (допускается $C_{св} < 0,1\%$), имеющийся в сплаве, присутствует в форме графита.



Рис. 7. Серый чугун



Рис. 8. Высокопрочный

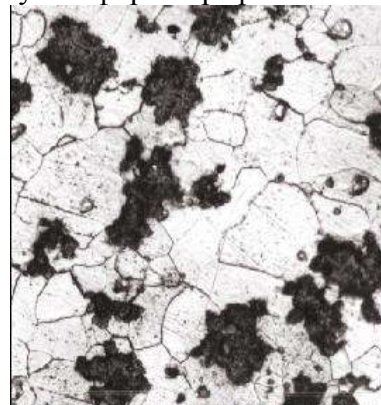


Рис. 9. Ковкий чугун

Таким образом, структура чугуна – стальная основа и графит. Отсюда, чугуны можно рассматривать как сталь, испещренную графитными включениями или пустотами (трещинами). Чем больше таких пустот (графита), тем ниже механические свойства чугуна. При одинаковом их объеме, свойства будут зависеть от их формы и расположения. Самые низкие механические свойства – если графитные включения образуют замкнутый скелет.

Графит в пластинчатой форме играет роль трещин, острых надрезов внутри металла. При растягивающих нагрузках по концам их образуются очаги разрушения. При сжатии свойства чугуна практически такие же, как и у стали того же состава и структуры, что у металлической основы чугуна. Но сопротивления изгибу, кручению (как и разрыву) гораздо ниже.

Графиту можно придать округлые формы. В чугунах, выплавленных с присадкой небольшого ($\approx 1\%$) количества магния (или церия), графит приобретает шаровидную форму, механические свойства чугуна значительно улучшаются, он называется *высокопрочным*.

Белый чугун после отжига – нагреве выше температуры A_1 , выдержке и охлаждении, вследствие неустойчивости цементита, который распадется, получит графит в компактной, равноосной, но не округлой форме. Его называют хлопьевидным (иногда – углеродом отжига), а чугун – *ковким*.

Пластичность чугунов (δ) изменяется от формы графита следующим образом:

пластинчатый – 0,2 – 0,5%;

хлопьевидный – 5 – 10%;

шаровидный – 10 – 15%.

Нижние значения для перлитных чугунов, верхние для ферритных.

Твердость мало зависит от формы графита, но существенно – от структуры металлической основы: ферритная – 150, ферритно-перлитная – 200, перлитная – 250 НВ.

Как уже отмечалось, графитные включения являются ослабляющими элементами, т.е. оказывают отрицательное влияние. Но не всегда. В ряде случаев именно благодаря графиту чугун имеет преимущества перед сталью:

- графит облегчает обрабатываемость резанием, делает стружку ломкой;
- чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами благодаря

- смазывающему действию графита;
- графитные составляющие быстро гасят вибрацию, резонансные колебания;
- чугун почти нечувствителен к поверхностным дефектам, надрезам. Тогда как для высокопрочной стали они недопустимы (являются концентраторами напряжений).

Чугуны обладают также лучшими литейными свойствами, чем сталь. У них ниже температура плавления, лучше жидкотекучесть и заполняемость формы. Указанные преимущества чугуна делают его ценным конструкционным материалом, широко применяемым в деталях машин, если они не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

Режим отжига белого чугуна для получения ковкого показан на рисунке 10.

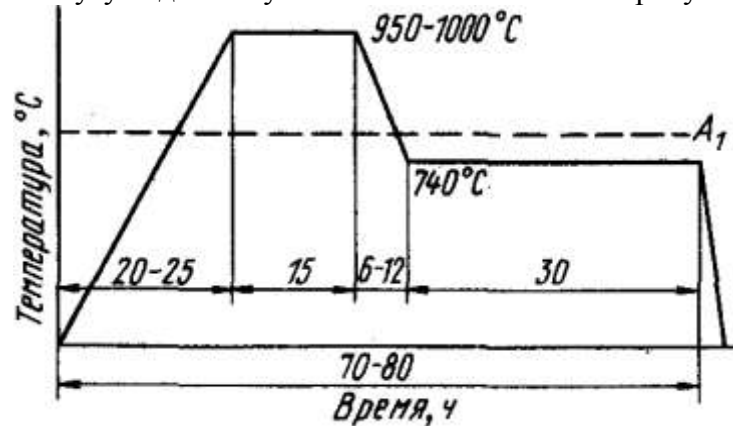


Рис. 10. График отжига для получения ковкого чугуна

При нагреве белого чугуна выше линии PSK ($T = 950 - 1000^{\circ}C$) образуются аустенит. Фазовый состав будет аустенит и цементит; цементит при этих температурах распадается в течение 10-15 ч с образованием хлопьев графита (I стадия графитизации). Если затем охладить чугун ниже PSK (до $740^{\circ}C$) и дать длительную выдержку (что равноценно очень медленному охлаждению от 770 до $700^{\circ}C$), то распадается цементит перлита (II стадия графитизации). При такой обработке весь углерод выделится в свободном состоянии и чугун будет состоять из феррита и включений хлопьевидного углерода отжига. Так получают *ферритный ковкий чугун*.

Если охлаждение (особенно в районе температур немного ниже линии PSK диаграммы железо — углерод) было недостаточно медленным или выдержка на II стадии графитизации была сокращена, то графитизация перлитного цементита может протекать не до конца; в этом случае чугун приобретает структуру перлит + феррит + углерод отжига. Такой чугун называется *феррито-перлитным*.

Если охлаждение ниже критического интервала температур было ускоренным (например, отливки охлаждали на воздухе), то процесс графитизации не охватит цементит перлита, в этом случае чугун приобретает структуру перлит + углерод отжига. Такой чугун называется *перлитным ковким чугуном*.

Для получения ковкого чугуна нужно иметь чисто белый чугун. При выплавке в вагранке даже частичная графитизация и, следовательно, образование пластинчатого графита при последующем охлаждении вызывает отложения графита на этих пластинках и получаемый ковкий чугун будет иметь пониженные свойства - как у серого чугуна.

Примеси в чугуне.

Обычный промышленный чугун содержит те же примеси, что и углеродистая сталь, т. е. марганец, кремний, серу и фосфор, но в большем количестве. Они существенно влияют на условия графитизации и, следовательно, на структуру и свойства чугуна.

Углерод — улучшает литейные свойства, повышает пластичность, но снижает предел прочности и твердость.

Кремний особенно сильно влияет на структуру чугуна, усиливая графитизацию. Содержание кремния в чугунах колеблется в широких пределах: от 0,3—0,5 до 3—5 %. Изменяя содержание кремния, можно получить от малокремнистого белого до высококремнистого ферритного (серого с пластинчатым или высокопрочного с шаровидным графитом). При малых дозах несколько повышает твердость и предел прочности.

Марганец в отличие от кремния препятствует графитизации, или способствует *отбеливанию чугуна*, образуя карбид Mn_3C . Связывает серу, образуя сульфид FeS .

Сера также способствует отбеливанию чугуна, но одновременно ухудшает литейные свойства (в частности, снижает жидкотекучесть), поэтому содержание серы в чугуне лимитируется: верхний предел для мелкого литья 0,08 %, для более крупного, когда можно допустить несколько худшую жидкотекучесть, до 0,1—0,12 % S.

Фосфор практически не влияет на процесс графитизации. Однако фосфор — полезная примесь в чугуне, так как он улучшает жидкотекучесть, но охрупчивает металл. Поэтому чугуны для художественного литья содержат до 1% С, а в конструкционных его до 0,1%.

Легирующие элементы

Cu, Ni и др. не растворяются в цементите и способствуют графитизации;

Cr, W, V, Mo и др. растворяются и препятствуют графитизации.

5.5 Маркировка чугунов

Марка отражает вид чугуна (СЧ, КЧ, ВЧ) и его механические свойства.

Серые чугуны по ГОСТ 1412 – 85 маркируют буквами СЧ и цифрами, обозначающими предел прочности при растяжении (σ_b , кгс/мм²):

СЧ – 10 – ферритный

СЧ 15

СЧ 18 } ферритно-перлитные: крышки, картеры, тормозные барабаны, СЧ 20
поршневые кольца

СЧ 25

СЧ 30 } перлитные: блоки цилиндров, гильзы, маховики.

СЧ 35

Высокопрочный чугун.

Согласно ГОСТ 7293 – 85 отливки изготавливают из чугуна следующих марок:

ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50 – ферритные,

ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100 – перлитные.

Высокопрочный чугун обладает хорошими литейными и технологическими свойствами. Применяется для замены стальных литых и кованных изделий (коленчатый и распределительный валы, детали зубчатых передач).

Ковкие чугуны по ГОСТ 1215 – 79 имеют в марке дополнительно к значению σ_b цифру, характеризующую пластичность (δ , %).

Выпускают чугуны следующих марок

КЧ 30 – 6

КЧ 33 – 8

КЧ 35 – 10

КЧ 37 – 12

} ферритные чугуны

КЧ 45 – 7

КЧ 50 – 5

КЧ 55 – 4

КЧ 60 – 3

КЧ 65 – 3

КЧ 70 – 2

КЧ 80 – 1,5

} перлитные чугуны.

Лекция 5 (2 часа)

Тема: Теория термической обработки стали. (2 часа)

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Образование аустенита и рост его зерна
2. Распад аустенита. Мартенситное и бейнитное превращения

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Образование аустенита и рост его зерна

Превращение перлита в аустенит в полном соответствии с диаграммой состояния железо-углерод может совершаться лишь при очень медленном нагреве. При обычных условиях нагрева превращение запаздывает, т.е. требуется перенагрев.



Рис. 2. Превращения перлита (П) в аустенит (А) при постоянной температуре

На рис. 2 приведены данные, показывающие время превращения перлита в аустенит для стали, содержащей 0,8 % С, при разных температурах. Расположение кривых показывает, что чем выше температура, тем быстрее протекает процесс.

При изотермическом нагреве ($T = \text{const}$) при 780 °С превращение перлита в аустенит завершится за 2 мин, а при 740 °С — за 8 мин.

При непрерывном нагреве. Если нагрев осуществляется со скоростью v_2 , то он соответствует превращению перлита в аустенит в интервале температур точек $a'' - b''$. При медленном нагреве v_1 луч пересекает кривые превращений при меньших температурах. Кривые начала и конца превращения, асимптотически приближаясь к горизонтали A_1 , пересекут ее в бесконечности. Реальные превращения идут выше A_1 и в интервале температур, а не при постоянной температуре для равновесного состояния.

Для получения однородного по составу (гомогенного) аустенита, при нагреве требуется не только перейти через точку окончания перлитно-аустенитного превращения, но и перегреть сталь выше этой точки или дать выдержку для завершения диффузионных процессов внутри аустенитного зерна.

Рост аустенитного зерна.

Начало перлитно-аустенитного превращения сопровождается образованием множества первых зерен аустенита на границах между ферритом и цементитом. Размер этих мелких зерен характеризует так называемую величину *начального зерна* аустенита.

Переход через критическую точку A_{c1} (рис.3) сопровождается резким уменьшением размера зерна. При дальнейшем нагреве возможны два крайних варианта — зерно аустенита:

- почти не увеличивается до $T \approx 1000$ °С, а затем бурно растет;
- вскоре после перехода A_{c1} начинает довольно интенсивно расти.

Склонность аустенитного зерна к росту при температуре близкой к A_{c1} называют наследственной зернистостью. По этой склонности различают два предельных типа стали:

- наследственно мелкозернистая;
- наследственно крупнозернистая.

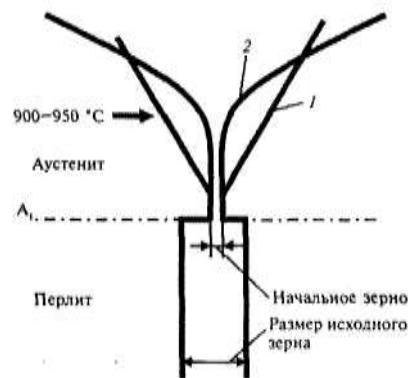


Рис.3. Схема роста зерна различных видов стали:
1 – наследственно крупнозернистой;
2 – наследственно мелкозернистой

Склонность к росту зерна определяется условиями раскисления стали и ее составом. Стали, раскисленные алюминием, наследственно мелкозернистые (т.к. дисперсные частицы AlN, Al_2O_3 тормозят рост зерна аустенита); легирующие элементы, особенно карбидообразующие замедляют собирательную рекристаллизацию.

Термин «наследственное зерно» указывает лишь на то, что при нагреве крупнозернистая сталь приобретает крупное зерно при более низкой температуре, чем сталь мелкозернистая. Наследственно мелкозернистая сталь может иметь более крупное зерно аустенита. Поэтому существует понятие – *действительное зерно*, т.е. существующее в стали при данной температуре.

Размер зерна стали несущественно влияет на твердость, прочность ($HВ, \sigma_B, \delta$), но с ростом зерна снижаются резко:

- ударная вязкость,
- работа распространения трещины.

повышаются:

- порог хладноломкости,
- склонность к закалочным трещинам.

6.2.1. Перегрев и пережог

Продолжительный нагрев доэвтектоидной стали при температурах значительно превышающих A_3 , для заэвтектоидных – A_{cm} приводит к образованию крупного действительного зерна как при данной температуре, так и после охлаждения до $20^\circ C$. Это явление принято называть *перегревом стали*.

Перегретая сталь характеризуется крупнокристаллическим изломом. При охлаждении перегретой стали нередко часть феррита (цементита), благодаря диффузии углерода в условиях высоких температур, обеспечивает рост соответствующих (ферритных или цементитных) зерен в виде правильных, оригинально расположенных фигур, игл – видманштеттовых кристаллов – «узоров».

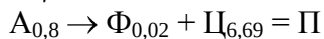
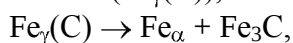
Перегрев может быть исправлен (после охлаждения) нагревом до температур выше A_{c3} для доэвтектоидных сталей, выше A_{c1} для заэвтектоидных сталей.

Нагрев до температур более высоких, чем вызывающие перегрев и к тому же в окислительной атмосфере приводит к *пережогу* стали. Он сопровождается образованием по границам зерен окислов железа, которые придают охлажденному металлу большую хрупкость. Излом пережженной стали – камневидный (тусклый). Пережог происходит при

температурах ниже линии солидус примерно на 200 °С и меньше. Пережог – это неисправимый брак.

6.3. Распад аустенита. Мартенситное и бейнитное превращения

Превращение аустенита в перлит заключается в распаде твердого раствора углерода в γ -железе ($\text{Fe}_\gamma(\text{C})$), на почти чистое α -железо и цементит:



При A_1 (температуре равновесия) свободные энергии аустенита и перлита равны $F_A = F_{\text{П}}$ и превращение невозможно, необходимо некоторое **переохлаждение**. Чем сильнее переохладить аустенит, тем быстрее, очевидно, будет идти превращение. Но механизм превращения диффузионный – перераспределение углерода очень значительное. А скорость диффузии определяется температурой. Со снижением температуры превращение будет замедляться.

Итак, увеличение переохлаждения приводит с одной стороны к увеличению скорости превращения (ΔF увеличивается), а с другой стороны – к ее замедлению (из-за снижения скорости диффузии). Суммарное действие этих факторов дает экстремальную кривую: при $\text{A}_1(727^\circ\text{C})$ и ниже 200°C скорость превращения равна нулю; в зоне 550°C превращение идет наиболее интенсивно.

6.3.1. Механизм перлитного превращения.

Перед распадом углерод диффундирует внутри аустенита и скапливается на границе зерен аустенита с образованием зародышей цементита. Рост их происходит за счет диффузии углерода из прилегающих объемов аустенита (рис. 4), который обедняется углеродом, что способствует превращению его в феррит.

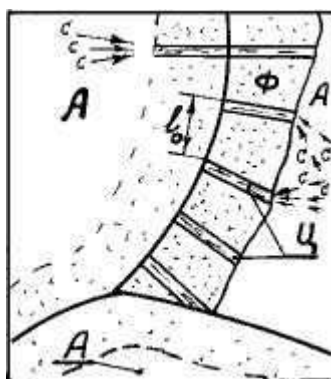


Рис. 4. Механизм перлитного превращения

Цементит, увеличиваясь в объеме, принимает форму пластин, между которыми находятся пластины феррита. Так возникает участок перлита: чередующиеся параллельные пластины феррита и цементита. При дальнейшем росте перлитного зерна пластины удлиняются и к ним присоединяются новые (краевой и боковой рост) – от границы кристалла аустенита по его объему.

Процесс идет до столкновения перлитных зерен и превращения всего аустенита в перлит. Если нанести на диаграмму температура – время точки начала (a_i) и точки конца (b_i) перлитных превращений для различных степеней переохлаждения (различных температур превращения), то получим: сначала большой период инертности, затем все меньшие, но потом снова увеличивающиеся.

В результате будем иметь так называемую **диаграмму изотермического превращения аустенита** (рис. 5).

Чем ниже температура распада аустенита, тем дисперснее образуется ферритно-цементитная смесь (меньше l_0 – усредненная толщина двух соседних пластинок Ц+Ф).

При малых степенях переохлаждения аустенита, при температуре около 700°C получается *перлит* ($l_0 = 0,6-1,0$ мкм), твердость которого НВ 180-200. При температуре 650°C образуется более мелкая ферритно-цементитная смесь, которая получила название *сорбит* ($l_0 \approx 0,3$ мкм), НВ 250-330. При температуре 550°C образуется *троостит* ($l_0 \approx 0,1$ мкм), НВ 330-400.

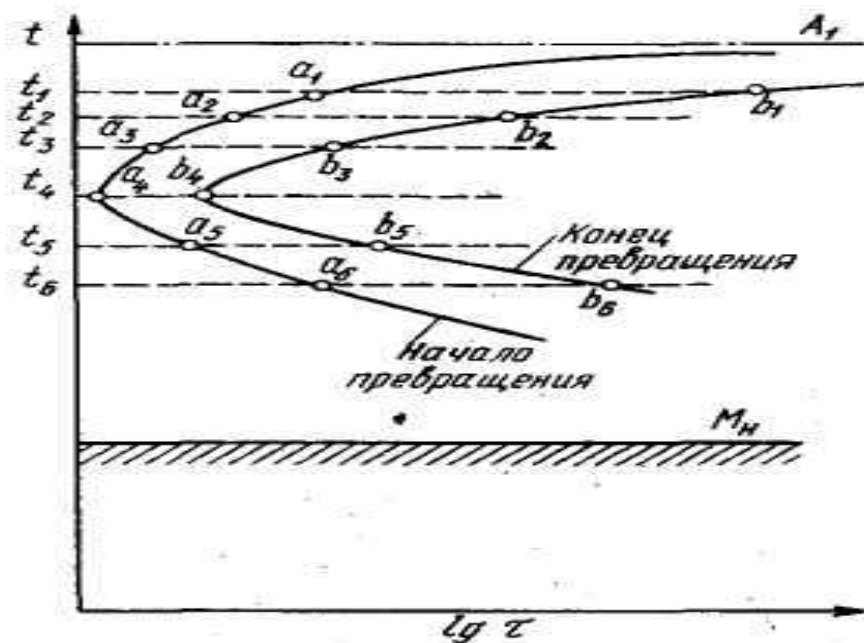


Рис. 5. Диаграмма изотермического распада аустенита

Таким образом, при разных температурах превращений получаются структуры одинакового состава ($\Phi + \Pi$), но разной степени дисперсности, с разными свойствами.

6.3.2. Мартенситное превращение

Если аустенит переохладить до таких температур, когда диффузия атомов углерода практически прекращается, а γ - решетка неустойчива, но в ней растворен углерод, то происходит перестройка решетки без выделения углерода:

$\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{C}_{\text{начальное}})$, т.е. аустенит превращается в мартенсит.

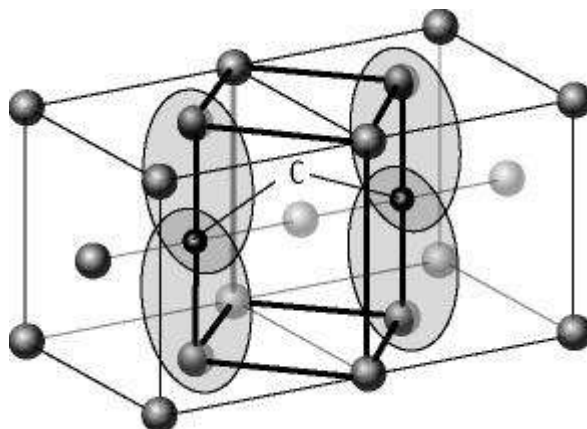


Рис.6. Схема распада ячеек аустенита на мартенсит

Мартенсит в стали – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Концентрация углерода в нем та же, что и у исходного аустенита, т.е. от 0,02 до 2,14%. Атомы железа, расположенные в аустените в виде ГЦК, оказываются в ОЦК (рис. 6); углерод не выделяется и вызывает искажение решетки – тетрагональность (отношение ребер ячейки $c/a > 1$). Ячейка мартенсита объемно-центрированная. При изменении содержания углерода в мартенсите от 0,2 до 1,8% - c/a изменяется от 1,02 до 1,08, это вызывает большую напряженность структуры.

Кроме того, в такой структуре очень большая плотность дислокации и более сильная, чем металлическая – ковалентная связь, возникающая между атомом углерода и двумя соседними атомами железа, что обеспечивает мартенситу высокую твердость и хрупкость. Для мартенсита характерна особая микроструктура. Его кристаллы представляют собой пластины (в плоскости микрошлифа – иглы), расположенные параллельно или пересекающиеся под определенными углами (60° и 120°), т.к. мартенсит образуется по определенным кристаллографическим плоскостям в аустените. Такое ориентированное превращение – сдвиг, смещение какого-то объема с одновременным γ - α - превращением требует напряженного состояния структуры.

Превращение состоит практически в мгновенном (за 0,001 с) образовании порции мартенситных пластин (пластина образуется за $1 \cdot 10^{-7}$ с). Затем наблюдается задержка и при дальнейшем охлаждении превращение возобновляется.

Начавшись в какой-то точке M_n мартенситное превращение заканчивается в M_k с каким-то количеством остаточного аустенита. Причем скорость охлаждения роли не играет. С повышением содержания углерода значения температур для M_n и M_k снижаются в область отрицательных.

Особенности мартенситного превращения:

- бездиффузионность (состав аустенита и мартенсита одинаков);
- перестройка решетки $\gamma \rightarrow \alpha$;
- ориентировочность (мартенсит закономерно ориентирован относительно старой фазы - аустенита);
- сдвиговый характер превращения, рельефность микрошлифа.

6.3.3. Структура мартенсита

В закаленных средне- и высокоуглеродистых сталях наблюдается пластинчатый (игольчатый) мартенсит. Чем мельче зерно аустенита, тем мельче пластины. При очень мелких пластинах игольчатое строение неразлично под микроскопом при обычных увеличениях ($\times 500-600$) и мартенсит называют бесструктурным или скрытокристаллическим (правильно закаленная сталь) (рис.7).

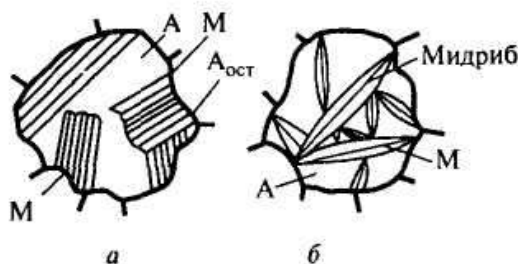


Рис.7. Мартенсит реечный и игольчатый

В закаленных низко- и среднеуглеродистых сталях наблюдается массивный (реечный) мартенсит, кристаллы которого имеют вид параллельных реек, объединенных в пакеты. Зерно аустенита может дать несколько таких пакетов.

Аустенитно-мартенситное превращение сопровождается увеличением объема. Все структуры стали можно расположить по мере увеличения объема в ряд: аустенит, феррит, перлит, сорбит, троостит, мартенсит.

6.3.4. Бейнитное превращение

Переохлажденный аустенит в интервале от 550°C до M_n превращается в бейнит. Превращение характерно сочетанием особенностей как диффузионного – перлитного, так бездиффузионного – мартенситного процессов и поэтому называется промежуточным. Бейнитное превращение протекает в интервале температур, когда практически отсутствует диффузия железа, но диффузия углерода протекает интенсивно. В переохлажденном аустените углерод диффузионно перераспределяется. В результате возникают участки, обогащенные углеродом и обедненные им. Концентрационная неоднородность приводит к возникновению напряжений, а так как для бедных по углероду участков точка M_n лежит выше, то пластическая деформация приводит к γ - α превращению по мартенситной реакции. (На полированном шлифе появляется рельеф). Так как температура высокая, то образовавшийся мартенсит распадается на ферритно-цементитную смесь.

Обогащенные углеродом участки аустенита могут не испытывать превращений, могут выделять цементит, могут частично испытывать мартенситное превращение. Кроме того, в структуре имеется остаточный аустенит.

Верхний бейнит – имеет перлитное строение, похожее на троостит, нижний бейнит – игольчатое строение, твердость его выше ($\approx \text{HB } 500 - 550$ для эвтектоидной стали).

6.4. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении

Термообработка обычно проводится не изотермически, а непрерывным охлаждением. Кривые охлаждения строят в тех же координатах «температура – время», что и в диаграмме изотермического превращения аустенита.

При небольшой скорости охлаждения v_1 образуется перлит, с увеличением скорости $v_2 - v_3$ получают более мелкие ферритно-цементитные смеси: сорбит и троостит

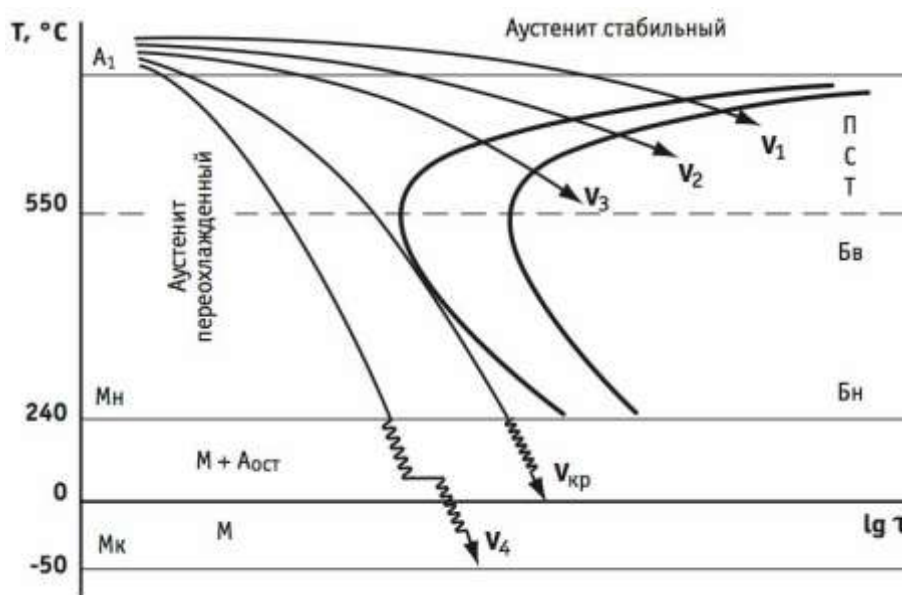


Рис.8. Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении

При скорости несколько большей v_3 аустенит распадается не полностью – часть его переохлаждается до точки M_n , то есть превращается в мартенсит, а часть превратится в троостит.

От скорости v_k (критической) весь аустенит переохлаждается до M_n , ферритно-цементитной смеси не образуется, образуется мартенсит. *Бейнит при непрерывном*

охлаждении углеродистой стали не образуется. Его получают при температуре 300-400 °С изотермически.

Лекция 6 (2 часа)

Тема:Технология термической обработки стали.

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Отжиг I и II рода
2. Закалка: способы и режимы закалки
3. Отпуск стали.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:(

7.1. Отжиг I и II рода: виды, назначение, режимы

Основными видами термической обработки, различно изменяющими структуру и свойства стали в зависимости от требований предъявляемых к отливкам, поковкам, прокату и др. полуфабрикатам или готовой продукции являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Содержание отжига: нагрев стали и медленное охлаждение с целью получения более равновесной структуры.

Отжиг I рода – устраняет химические или физические неоднородности при температуре ниже или выше температур фазовых превращений, которые не определяют цели термообработки.

Рис. 1. Отжиг I рода (температурные интервалы нагрева)

Виды отжига I рода:

- гомогенизация (диффузионный);
- рекристаллизационный отжиг;
- отжиг, уменьшающий напряжения (низкий отжиг).

7.1.1. Гомогенизация (диффузионный отжиг)

Применяется для слитков и крупных отливок *легированной* стали с целью уменьшения дендритной или внутрикристаллитной ликвации. Они повышают склонность стали к хрупкому разрушению, возникновению шиферности (слоистости) и флокенов (пустот), понижению пластичности и вязкости.

Режим : нагрев до 1100–1200 °С (1, рис. 8), выдержка 8-20 часов, медленное охлаждение до 200-250 °С.

Общее время обработки 50 – 100 ч.

7.1.2.Рекристаллизационный отжиг

Нагрев деформированной в холодном состоянии (наклепанной) стали выше температуры рекристаллизации, выдержка и последующее охлаждение. При этом крупные вытянутые зерна распадаются, образуются равноосные.

Температура нагрева малоуглеродистых и низколегированных сталей 600 - 700 °С (2. рис. 8).

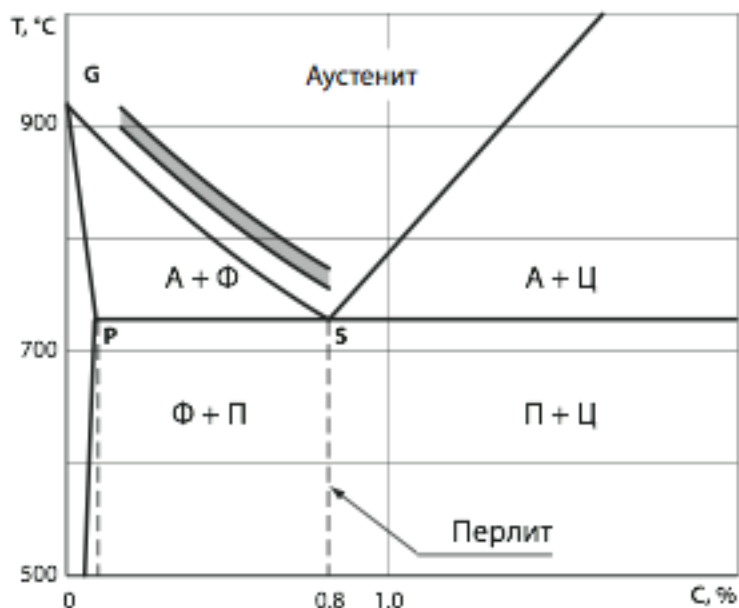
Для среднелегированных – 750-770°С, для высокоуглеродистых и легированных сталей – выше (например, для 12X18H9Т-1100 – 1150°С).

Время нагрева 0,5 – 1,5 ч.

При отжиге кроме рекристаллизации феррита могут протекать процессы коагуляции и

сфероидизации цементита – повышается пластичность стали, облегчается обработка давлением.

7.1.3. Отжиг для снятия остаточных напряжений (низкий отжиг)



Термическая обработка заключается в нагреве стали в интервале 200-700 °С и последующем охлаждении с целью уменьшения внутренних напряжений после технологических операций.

Например: детали прецизионных станков (ходовые винты, червяки, зубчатые колеса) после механической обработки нагревают до 570-600 °С и выдерживают в течение 2-3 ч. Для снятия сварочных напряжений – $T=650-700^{\circ}\text{C}$ (3, рис. 8).

Отжиг II рода – когда фазовые превращения определяют их целевое назначение.

Разновидности отжига II рода:

- полный;
- неполный;
- изотермический; нормализационный (нормализация).
- **7.1.4. Полный отжиг** – для доэвтектоидной стали проводится с целью создания мелкозернистости, понижения твердости НВ, повышения пластичности, снятия внутренних напряжений.

Режим:

- нагрев до $A_{C3} + (20-30)^{\circ}\text{C}$;
- выдержка для полного завершения фазовых превращений в объеме;
- медленное охлаждение.

Рис.2. Полный отжиг

При нагреве исходная крупнозернистая ферритно-перлитная структура превращается в мелкозернистую структуру аустенита («начальное зерно» - действительное зерно). При медленном охлаждении (для углеродистых сталей

$V_{\text{охл}} = 200-250^{\circ}\text{C/ч}$) образуется мелкозернистая (ферритно-перлитная) структура, обеспечивающая высокую пластичность и вязкость.

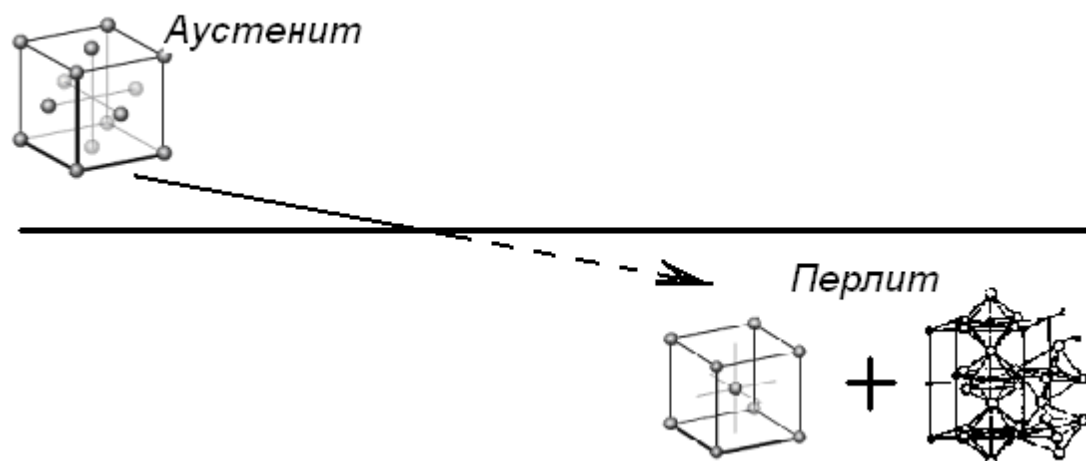


Рис.3.

Распад аустенита при медленном охлаждении

Для заэвтектоидных сталей не применяются, т.к. при охлаждении образуется сетка цементита по границам зерен перлита, ухудшающая механические свойства.

7.1.5. Неполный отжиг.

Этому виду отжига подвергают иногда доэвтектоидную, а в основном, эвтектоидную и заэвтектоидные стали с целью превращения пластинчатого перлита и сетки цементита в структуру зернистого перлита, лучше обрабатываемого на станках.

(Перлит пластинчатый – HB 180-250;
зернистый – HB 160-180).

Режим:

нагрев выше A_{C1} до 740-780 °C.

Если нагреть выше A_{cm} , то цементит растворится в аустените и при последующем охлаждении образуется пластинчатый цементит.

Нагретый сплав чуть выше A_{c1} имеет какое-то количество частиц цементита (меньшее чем было, т.к. Ц_{II} и часть Ц_{II} растворились в аустените), оставшиеся частицы Ц_{II} при последующем охлаждении служат центрами кристаллизации цемента, выделяющегося ниже A_{r1} при охлаждении и принимающего в этом случае зернистую форму.

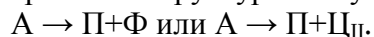
В связи с тем, что при таком отжиге получается зернистая или сфероидальная форма цементита – этот отжиг называется *сфероидизирующим*.

Охлаждение при сфероидизации медленное. Оно должно обеспечить распад аустенита на ферритно-цементитную смесь, сфероидизацию и коагуляцию образовавшихся карбидов при $T = 620-680^\circ\text{C}$. Для облегчения процесса образования зернистого перлита нагрев-охлаждение повторяют несколько раз – *маятниковый (циклический) отжиг*.

Рис. 4. Циклический отжиг

Чаще применяют изотермический отжиг, требующий меньше времени. При этом сталь медленно охлаждают ($30-50^\circ\text{C}/\text{ч}$) до $620-680^\circ\text{C}$ и выдерживают при $T = \text{const}$ от 1 до 3 часов, затем охлаждают на воздухе.

7.1.6. Изотермический отжиг отличается тем, что образование ферритно-перлитной или цементитно-перлитной структуры из аустенита происходит при $T = \text{const}$.



Режим:

- нагрев до $T = A_{c3} + (20-30^\circ\text{C})$
- $T = A_{c1} + (10-40^\circ\text{C})$
- охлаждение до температуры ниже A_{r1} ($680-700^\circ\text{C}$);
- выдержка при заданной температуре до полного распада аустенита;
- охлаждение на воздухе.

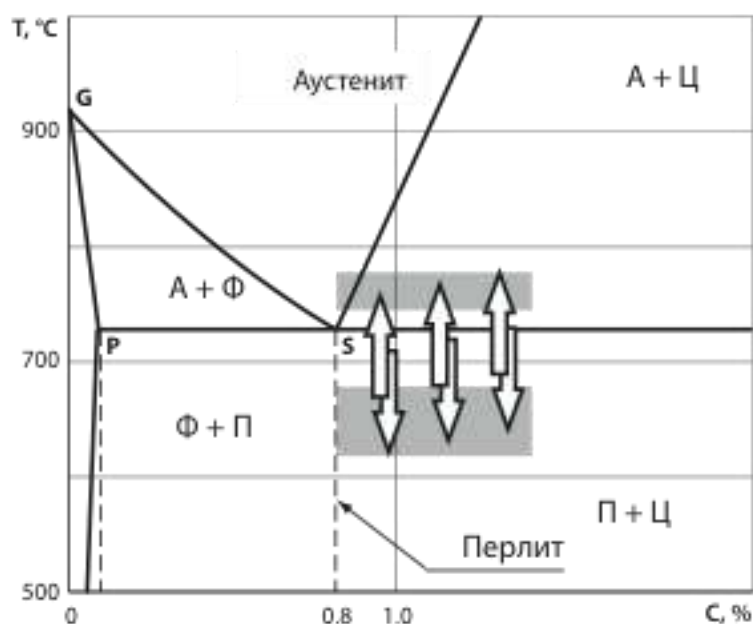


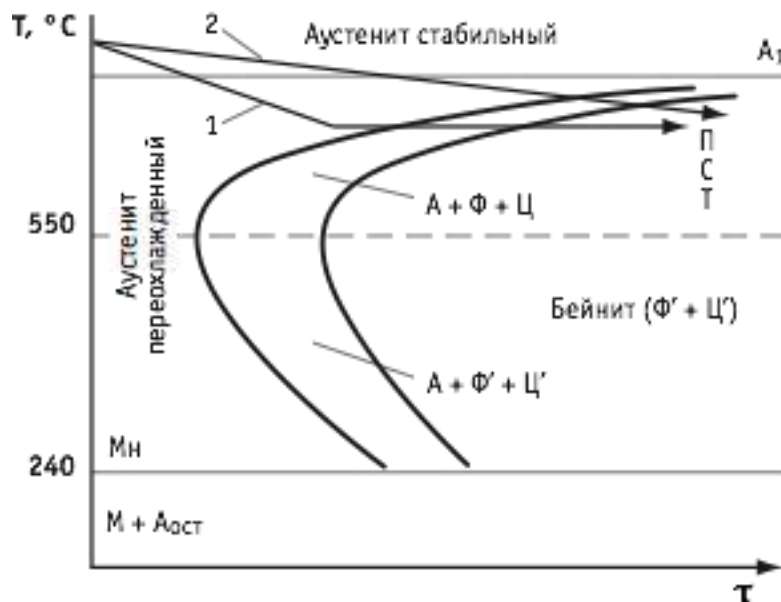
Рис.5. Кривые отжига:

- 1 – изотермического;
- 2 – полного.

Этот вид отжига часто применяют для легированных сталей. При этом значительно сокращается время для снижения твердости изделия (легированные стали требуют очень медленного охлаждения при снижении температуры).

Изотермический отжиг сокращает время по сравнению с полным, улучшает обрабатываемость резанием, чистоту поверхности и снижает деформацию изделий при последующей термической обработке. Применяется для поковок (шестерня, муфта, вал и др.) небольших размеров, т.к. быстрое и равномерное охлаждение больших поковок по сечению до $T = \text{const}$ невозможно.

7.1.7. Нормализационный отжиг



Нагрев до температуры выше A_{c3} или A_{cm} на 50°C с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

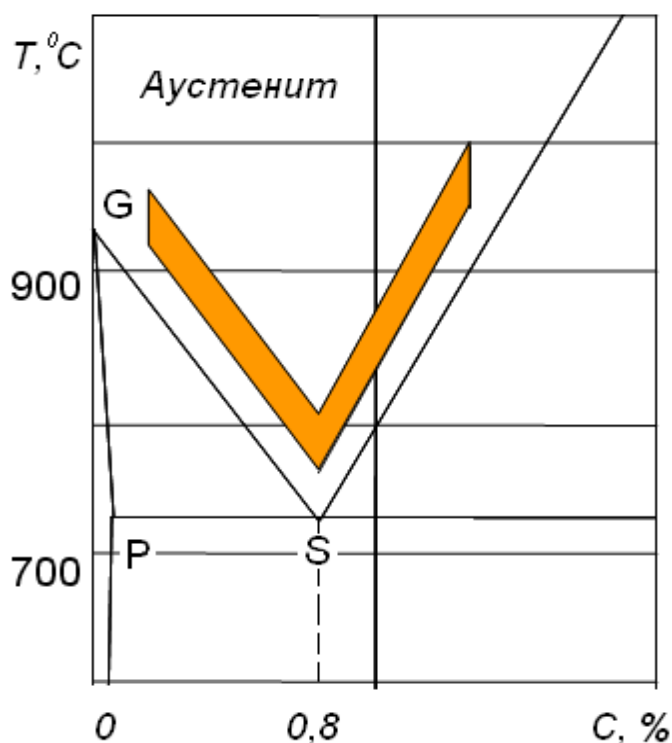


Рис.6.Нормализация (интервал нагрева)

Для среднеуглеродистой стали повышается твердость и прочность. Применяют для ответственных деталей вместо более дорогого улучшения.

Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную при литье, ковке, штамповке. Твердость и прочность средне-высокоуглеродистых сталей больше на 10-15 % по сравнению с отожженной.

Нормализация дешевле отжига.

Заэвтектоидная сталь: при охлаждении на воздухе образуется большое количество центров Fe_3C , что препятствует выделению цементита по границам зерен (сетка не образуется) – получается мелкая смесь феррита и цементита.

7.2. Закалка: режим объемной закалки, закалочные среды, способы закалки, поверхностная закалка

Закалка – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температуры выше критической (A_{c3} – для доэвтектоидной, A_{c1} – для заэвтектоидной) на 30 – 50 °C, выдержке и последующим охлаждением со скоростью больше критической.

В результате закалки получается *неравновесная мартенситная структура*. Поэтому закалка не является окончательной операцией. Сталь после закалки обязательно подвергают отпуску, чтобы уменьшить хрупкость и снизить остаточные напряжения.

Мартенсит – структура наивысшей твердости; после отпуска пластичность стали повышается, а твердость снижается. При одинаковой твердости структуры, полученные после отпуска мартенсита, имеют лучшие механические свойства, чем структуры, полученные после распада аустенита (за исключением нижнего бейнита).

Главные цели закалки наряду с повышением твердости:

- инструментальные стали – повысить прочность и износостойкость,
- конструкционные стали – повысить прочность, пластичность и вязкость (а для некоторых деталей и износостойкость).

7.2.1 Нагрев под закалку

Выбор температуры нагрева для углеродистых сталей по диаграмме железо – цементит. Для доэвтектоидной стали $A_{c3} + (30 - 50\text{ }^{\circ}\text{C})$ – *полная закалка*; для заэвтектоидной стали $A_{c1} + (30 - 50\text{ }^{\circ}\text{C})$ – *неполная закалка*.

При этом в первом случае исходная ферритно-перлитная структура превращается в аустенит, а он при скорости охлаждения большей критической превращается в мартенсит. При меньших температурах нагрева остается феррит, ухудшающий закалочную структуру (ниже твердость, прочность).

Нагрев заэвтектоидной стали до температуры $760 - 790\text{ }^{\circ}\text{C}$ переводит перлит в аустенит и в структуре остается нерастворенной в аустените часть вторичного цементита, который в структуре мартенсита повышает твердость и износостойкость стали.

Кроме того, для многих сталей температура нагрева под закалку значительно выше A_{c1} и A_{c3} (на $150 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$) – для перевода в твердый раствор специальных карбидов и получения требуемой легированности аустенита. При этом нерастворенные частицы карбидов тормозят рост зерна аустенита, что позволяет проводить нагрев без роста зерна. Для сокращения времени операций нагрев стали следует вести быстро, однако не допуская образования дефектов. При быстром нагреве могут образоваться трещины (особенно в деталях сложной конфигурации).

Общая продолжительность нагрева:

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{сп}} + \tau_{\text{ив}},$$

где $\tau_{\text{сп}}$ – время *сквозного прогрева* до заданной температуры;

$\tau_{\text{ив}}$ – продолжительность *изотермической выдержки*.

Эти параметры выбираются по таблицам:

$\tau_{\text{сп}}$ – с учетом скорости прогрева детали заданной формы на 1 мм сечения;

$\tau_{\text{ив}}$ – из условия необходимости завершения фазовых превращений (полного растворения углерода в аустените). Можно принять

$$\tau_{\text{ив}} = (0,15 - 0,25) \tau_{\text{сп}}.$$

Для закалки инструмента в электропечах (сталь углеродистая с содержанием $0,7 - 1,3\%$ C) выдержка рекомендуется $50 - 80$ сек/мм наименьшего сечения, а для легированной стали $70 - 90$ с/мм.

При нагреве в пламенных или электрических печах взаимодействие атмосферы печи с поверхностью металла (особенно при температуре больше $500 - 550\text{ }^{\circ}\text{C}$) вызывает обезуглероживание ($\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$) и окисление стали ($2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$) – образование окалины.

Поэтому часто применяют контролируемую (защитную) газовую среду (аммиак, азот) или вакуум.

7.2.2 Закалочные среды.

При закалке для переохлаждения аустенита до температур начала мартенситного превращения требуется быстрое охлаждение не во всем интервале температур, а только в пределах $650 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, при низкой устойчивости аустенита.

Выше $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость превращения аустенита мала (нельзя только допускать распада аустенита). Ниже $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в углеродистой стали вновь начинается зона относительной устойчивости аустенита, допускающая пониженную скорость охлаждения.

В мартенситном интервале (начиная с $200 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) особенно желательно замедленное охлаждение, чтобы к структурным напряжениям не добавлялись термические.

Механизм действия закалочных сред.

В момент погружения изделия в жидкость вокруг него образуется пленка перегретого пара; охлаждение через слой паровой рубашки относительно медленное – стадия пленочного кипения (I, рис. 7).

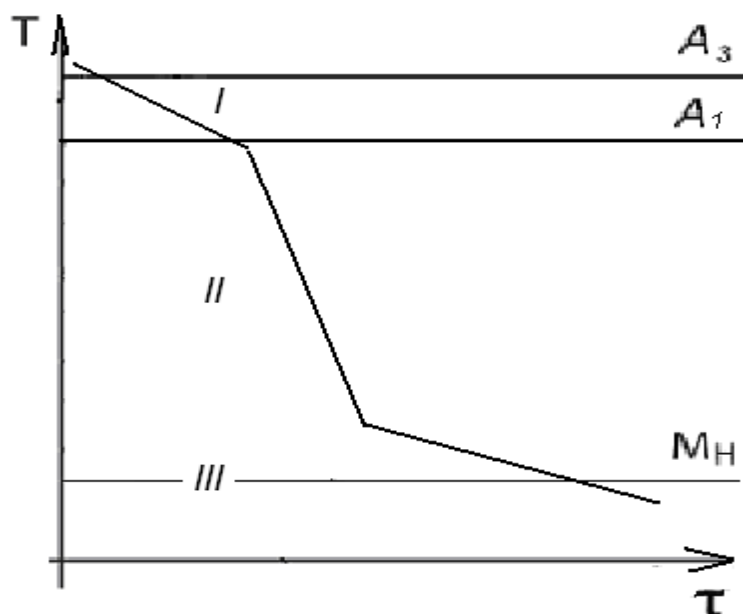


Рис.7. Кривая охлаждения при закалке

При снижении температуры поверхности паровая рубашка разрушается, жидкость начинает кипеть на поверхности детали и охлаждение идет быстро – стадия пузырьчатого кипения (II, рис. 7).

При снижении температуры поверхности металла ниже температуры кипения жидкости (при охлаждении в воде меньше 100°C) кипение прекратится, охлаждение замедлится – стадия конвективного теплообмена.

Закалочная жидкость охлаждает интенсивнее, если широк интервал II стадии (пузырчатого кипения), т.е. выше температура перехода от I стадии ко II и ниже температура границы между II и III стадиями.

Наиболее распространенные закалочные среды: вода, масло, воздух, водные растворы солей, щелочей, кислот, расплавленные соли.

Вода охлаждает гораздо быстрее, чем масло (в 6 раз при $T = 600^{\circ}\text{C}$). Поэтому для охлаждения углеродистых сталей, требующих большую скорость охлаждения применяю воду.

В *масле* охлаждают детали из легированных сталей и высокоуглеродистых при тонких сечениях.

Таблица 1.

Характеристика различных охлаждающих сред

Охлаждающая среда	Температурный интервал пузырькового кипения, °С	Относительная интен- сивность охлаждения в середине интервала пузырькового кипения
Вода, 20 °С	400–100	1
Вода, 40 °С	350–100	0,7
Вода, 80 °С	250–100	0,2
Раствор 10%-го NaCl в воде при 20 °С	650–100	3,0
Раствор 50%-й NaOH в воде при 20 °С	650–100	1,0
Масло минеральное, 20...200 °С	500–250	0,3

Основной недостаток воды – высокая скорость охлаждения в области образования мартенсита, что создает опасность возникновения трещин. Добавление к воде солей, щелочей и кислот значительно увеличивает ее закаливающую способность: почти полностью исключается I стадия, снижается скорость охлаждения в мартенситном интервале.

Масло (минеральное, нефтяное) имеет следующие преимущества:

- небольшую скорость охлаждения в мартенситном интервале (по сравнению с водой при 200 °С – в 28 раз меньше),
- постоянную закаливающую способность в широком интервале температур среды (20 – 150 °С).
- Недостатки масла:
- легкая воспламеняемость,
- пригорание к поверхности детали,
- постепенное повышение вязкости (густеет от высоких температур,
- ухудшается закаливающая способность),
- повышенная стоимость.

На практике часто применяются 8 – 12%-ные водные растворы NaCl и NaOH.

Прокаливаемость стали – способность закаливаться на определенную глубину.

При закалке в зависимости от сечения (например диаметра) и критической скорости охлаждения получается различная структура от края к середине. Так как теплота от внутренних слоев передается к наружным, то охлаждение по сечению будет неравномерным – внутренние слои детали охлаждаются медленнее $V_{вн} \ll V_{пов}$. Там, где скорость охлаждения меньше критической образуется бейнит, троостит, сорбит, перлит. Соответственно и твердость слоев будет различной. Если сердцевина охлаждается со скоростью больше критической, то по всему сечению образуется мартенситная структура. Для различных сплавов критическая скорость охлаждения различна. Чем меньше V_k закали, тем больше прокаливаемость. Легирование стали делает аустенит более устойчивым, снижает V_k и повышает прокаливаемость.

Простая углеродистая сталь принимает закалку на глубину до 5 – 6 мм, следовательно, деталь диаметром 10 мм еще можно закалить полностью, при больших диаметрах

получается неоднородная структура. Деталь будет менее прочной.

Закаливаемость стали – способность получать в результате мартенситного превращения повышенную твердость. Чем больше содержание углерода в стали, тем больше тетрагональность и твердость. Практически закалывать можно стали с содержанием 0,3% углерода и более.

7.2.3 Способы закалки.

Закалка в одном охладителе (рис. 8, кривая 1) —наиболее простой способ. Нагретую до определенных температур деталь погружают в закалочную жидкость, где она остается до полного охлаждения. Этот способ применяют при закалке несложных деталей из углеродистых и легированных сталей.

Для уменьшения внутренних напряжений деталь иногда не сразу погружают в закалочную жидкость, а некоторое время охлаждают на воздухе, «подстуживают». Такой способ закалки называется *закалкой с подстуживанием*.

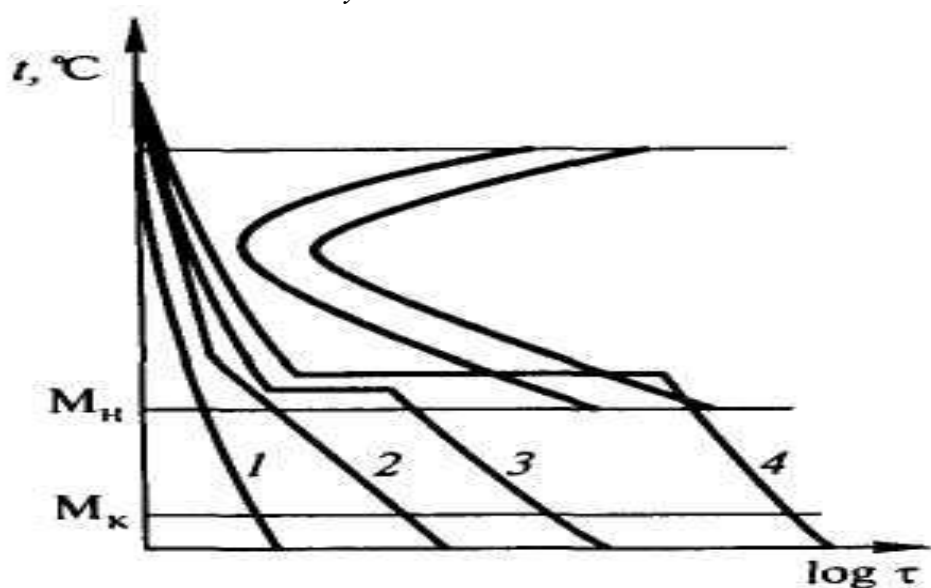


Рис. 8 Кривые охлаждения при различных способах закалки стали

Прерывистая закалка, или закалка в двух средах (рис. 8, кривая 2). Деталь охлаждают сначала в быстро охлаждающей среде, а затем в медленно охлаждающей. Обычно первое охлаждение проводят в воде, а затем деталь переносят в масло, или охлаждают на воздухе. Этот способ применяют при закалке инструмента из высоколегированных сталей. Требуется термист высокой квалификации.

Ступенчатая закалка (рис. 8, кривая 3).

Деталь охлаждается в закалочной среде, имеющей температуру выше мартенситной точки для данной стали. При охлаждении и выдержке в этой среде закаливаемая деталь должна приобрести во всех точках сечения температуру закалочной ванны. Затем следует окончательное, обычно медленное, охлаждение, во время которого и происходит формирование структуры, т. е. превращение аустенита в мартенсит.

При ступенчатой закалке, а также при закалке в двух средах длинномерных и плоских изделий (преимущественно инструмента) проводится *правка* или *рихтовка*, т. е. устранение коробления, вызванного термическими напряжениями при быстром охлаждении. Металлы в момент мартенситного превращения обладают «аномально

высокой пластичностью».

Ступенчатая закалка применяется для углеродистых сталей при диаметре деталей до 10-12 мм, а для деталей из легированных сталей диаметром до 20 – 30 мм. Потому что горячие среды не обеспечивают большой критической скорости охлаждения для более крупных деталей.

Изотермическая закалка (рис. 8, кривая 4). В отличие от ступенчатой при изотермической закалке необходимо выдерживать сталь в закалочной среде столько времени, чтобы успело закончиться изотермическое превращение аустенита. Обычно температура изотермического распада аустенита лежит в интервале 250—350 °С. В результате такой закалки сталь обладает меньшей твердостью, чем при других способах закалки, но обычно повышенной вязкостью. Структура — бейнит. Способ изотермической закалки применяют для деталей, склонных к короблению и образованию трещин.

7.2.4 Обработка стали холодом

Сущность этого способа заключается в том, что при охлаждении стали ниже комнатной температуры, но в интервале не ниже окончания мартенситного превращения, происходит дополнительное более полное превращение остаточного аустенита в мартенсит. Для сталей с содержанием углерода более 0,5 – 0,6% целесообразна обработка холодом при температуре ниже 0 °С. Обработка холодом – часть общего цикла термообработки, проводится немедленно после закалки (пока аустенит не стабилизировался).

Охладители:

1. Сухой лед (смесь твердой углекислоты с ацетоном).
Температура – минус 78 °С).
2. Жидкий азот (-196 °С).
3. Холодильные установки.

7.2.5 Поверхностная закалка – термическая обработка, заключающаяся в нагреве поверхностного слоя детали выше A_{c3} для доэвтектоидной и A_{c1} для заэвтектоидной стали с последующим охлаждением с целью получения мартенсита в указанном слое. Способы нагрева: индукционный ТВЧ, лазерный, пламенно-газовой горелкой.

В результате получается поверхностный слой большой твердости с сохранением вязкой сердцевины детали. Это обеспечивает износостойкость и высокую динамическую прочность деталей: шестерен (зубья закалывают), коленчатых валов (поверхность шеек) и т.д.

7.3. Отпуск стали

Отпуск стали – термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленного изделия ниже A_{c1} для перевода неравновесной структуры в более равновесную.

При этом:

- снижаются (устраняются) внутренние напряжения;
- уменьшается хрупкость закаленной стали;
- получается требуемая структура и механические свойства.

Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск – нагрев до температуры не более 250 °С, выдержка и последующее охлаждение. Здесь скорость охлаждения структуру не изменяет. При этом из раствора выделяется углерод, параметры решетки мартенсита приближаются к единице, углерод

образует метастабильный карбид, отличающийся от цементита. Его обозначают ϵ – карбид, он имеет гексагональную решетку и формулу близкую к Fe_2C .

Таким образом, при низком отпуске получается так называемый *отпущенный мартенсит* (смесь пересыщенного α – раствора неоднородной концентрации и еще не обособившихся частиц карбида).

За счет уменьшения тетрагональности мартенсита частично снимаются внутренние напряжения, твердость почти не снижается (износостойкость высокая); повышается ударная вязкость и пластичность. Низкотемпературный отпуск проводят для режущего и измерительного инструмента.

Средний отпуск – предусматривает нагрев до $350 - 450^\circ\text{C}$ и охлаждение для получения структуры *троостита отпуска*.

Избыточный углерод диффузионно полностью выделяется из α – раствора, при этом снимаются внутренние напряжения. Одновременно с этим карбид обособляется и превращается в укрупненные частицы цементита. В целом образуется мелкодисперсная смесь феррита с цементитом – отпущенный троостит. Твердость его ниже, чем мартенсита отпуска, но значительно повышается упругость. Так отпускают пружины, рессоры, зубила и штампы.

Высокий отпуск – выполняют путем нагрева до $550 \pm 100^\circ\text{C}$. При такой температуре укрупняются и округляются (коагулируют) частицы феррита и цементита. Получается структура *отпущенный сорбит*.

- Твердость ниже, меньше внутренние напряжения, прочность высокая.
- пластичность и вязкость значительно возрастают.

Благодаря такому удачному сочетанию свойств закалку с последующим высоким отпуском называют **улучшением стали**. Этой операции подвергают шатуны, коленчатые валы и другие сложно нагруженные детали

Лекция 7 (2 часа)

Тема: Легированные стали. Цветные металлы и сплавы.

1. 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Теория легирования.
2. Классификация и маркировка легированной стали.
3. Конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Теория легирования.

Легированными называют стали, которые содержат помимо обычных составляющих (C, Si, Mn, S, P) другие (легирующие элементы) либо кремний и марганец в повышенном против обычного количестве ($>0,35$ и $0,8$ соответственно).

Легирование (нем. Legieren – сплавлять) – сплавление стали со специальными элементами для получения особых свойств, что специально делают при производстве, вводя ферросплавы или лигатуры (вспомогательные сплавы).

Для легирования широко применяют такие элементы как: Cr, Ni, Si, Mn, V, W, Mo, Ti, Al, Cu. Сталь может быть легирована одним или несколькими элементами. При суммарном содержании легирующих элементов до $2,5\%$ сталь считается низколегированной, от $2,5$ до 10% – среднелегированной, более 10% – высоколегированной. Более 50% – сплав (не сталь!).

Взаимодействие легирующих элементов с железом.

Металлы образуют железом твердые растворы – т.е. сплавы, сохраняющие при переходе в твердое состояние однородность – один тип атомно-кристаллической решетки. Хотя

химических элементов несколько, зерна имеют однородный состав, представляющих собой твердую фазу (однофазный раствор, в отличие от механической смеси – смеси фаз). Таким образом, металлический легирующий элемент с железом образует комплексную решетку.

В зависимости от соотношения атомных радиусов возможны различные виды растворов: при близких значениях – растворы замещения: неограниченные – если разница до 10%, ограниченные – если разница 10 – 20%;

при разнице свыше 20% образуются растворы внедрения.

В растворах решетка искажается. Атомно-кристаллическая ячейка – куб приобретает неправильную форму из-за разных размеров атомов. Сильнее искажения в растворах внедрения. Искажения приводят к увеличению твердости, прочности.

Взаимодействие легирующих элементов с углеродом.

Большинство из них образуют с углеродом карбиды, т.е. твердые, прочные соединения. Карбиды образуют: Mn, Cr, W, V, Mo, Ti и др. При небольшом содержании карбидообразующие элементы растворяются в цементите с образованием легированного цементита по общей формуле $(Fe, M)_3C$.

Например, $(Fe, Cr)_3C$ – если растворен хром, $(Fe, Mn)_3C$ – если растворен марганец.

При увеличении содержания карбидообразующего элемента образуются самостоятельные карбиды данного элемента с углеродом так называемые специальные карбиды, например, VC, TiC, W₂C.

В стали имеются сложные карбиды $(Cr, Fe)_7C_3$.

Вольфрам и молибден при концентрациях, превышающих предел насыщения цементита образуют двойные карбиды: Fe_3W_3C (Fe_2W_2C), Fe_3Mo_3C (Fe_2Mo_2C).

Карбиды легирующих элементов обладают более высокой твердостью, чем карбид железа Fe_3C .

Вывод I: *при легировании за счет искажения решетки Fe_α в твердом растворе, а также за счет образования карбидов повышается твердость и прочность сплава.*

Разные легирующие по разному влияют на механические свойства феррита (рис. 41).

Так, марганец и кремний значительно повышают твердость, но резко снижают ударную вязкость, молибден и ванадий незначительно повышают твердость и снижают ударную вязкость, хром мало влияет на твердость и ударную вязкость, но упрочняет сталь. Наиболее благоприятное влияние оказывает никель, который, повышая твердость, не снижает ударную вязкость.

Почти все легирующие элементы изменяют температуру полиморфных превращений железа, температуру эвтектоидной и эвтектической реакций, влияют на растворимость углерода в аустените.

По влиянию на температуру A_3 (линия GS) и A_4 легирующие элементы разбивают на две группы (рис. 42).

Первая группа (группа никеля) – элементы, понижающие температуру A_3 и повышающие температуру A_4 (расширяющие γ -область): Ni, Co, Cu, Mn, C, N.

Вторая группа (группа хрома) – элементы, повышающие температуру A_3 и понижающие температуру A_4 (сужающие γ – область): Cr, V, W, Si, Ti, Mo.

В сплавах Fe с Ni, Mn, Co γ -область «открывается», т.е. в определенном интервале температур существует неограниченная растворимость компонентов друг в друге в твердом состоянии.

При этом температура A_3 при определенной концентрации добавки понижается ниже нуля.

Сплавы, имеющие устойчивую ГЦК решетку при температуре 20-25 °С называют *аустенитными* сталями (при концентрации легирующего элемента q или больше получим такую сталь).

Элементы второй группы сужают температурный интервал устойчивости аустенита и, соответственно, расширяют интервал устойчивости Fe_α – феррита.

Все элементы этой группы образуют диаграмму с замкнутой γ -областью. Концентрация соответствует точке («С») не велика и лишь для хрома простирается до 12%.

«Открытая» α -область (неограниченные растворы) имеет место только для Gr и V, остальные элементы образуют с железом промежуточные фазы: образуют ограниченные растворы (двухфазная область α + соединения).

Однофазные легированные стали с ОЦК решеткой, устойчивой при всех температурах вплоть до солидуса называют *ферритными* сталями.

Легирующие элементы влияют на эвтектоидную температуру - критическая точка A_1 ; на положение точки S (содержание C % в эвтектоиде); на положение точки E (максимальная концентрация C % в Fe_γ).

Элементы, сужающие γ -область, повышают критическую точку A_1 ; элементы, расширяющие γ -область, понижают критическую точку A_1 .

Точка S сдвигается влево при любом легированном элементе. Точка E сдвигается влево, особенно в сталях, легируемых элементами, сужающими γ -область. Смещение точек E и S приводит к появлению в стали ледебурита, структуры характерной для чугунов. Однако он ковкий ...

Стали ледебуритного класса – высокоуглеродистые сплавы.

Легирующие элементы оказывают очень большое влияние на изотермический распад аустенита.

Все элементы (кроме Co, он ускоряет) замедляют изотермический распад аустенита и тем самым снижают критическую скорость закалки, это имеет огромное практическое значение, так как дает возможность применять менее интенсивный охладитель.

Для легированных сталей основным охладителем является масло. Чем больше легирующих элементов, тем сильнее укрепляется решетка аустенита (он более устойчив), тем ниже возможная скорость закалки. Можно получить сталь, которая закаливается на мартенсит на воздухе (быстрорежущие стали) – самокалы.

Легированный мартенсит в сталях, закаливаемых в масле, гораздо устойчивее мартенсита углеродистых сталей. Поэтому для него низкий отпуск обеспечивается не при 100 – 200 °C, а при 200 – 300 °C, а иногда и при 600 °C, средний и высокий отпуск требуют еще более высоких температур.

Поэтому легированная сталь красностойка (способна сохранять твердость при высоких температурах). Например, резцы из У10, У12 при $T = 100 - 200$ °C отпускаются, а из легированной стали работают при нагреве до 600 °C.

Снижение критической скорости закалки повышает прокаливаемость. Очевидно замедление скорости охлаждения при закалке обеспечивает закаливаемость стали на большую глубину – прокаливаемость. Чем критическая скорость закалки меньше, тем прокаливаемость больше.

Второй вывод: увеличение прокаливаемости – вторая главная цель легирования.

Но преимущества легированных сталей по сравнению с углеродистыми заключается не только в более высоких механических свойствах, а легированием можно изменять и физико-химические свойства: например, добавление Cr - нержавеющая сталь, Si – жаростойкая, Ni – с высоким электросопротивлением.

Таким образом, третья важная цель – получение особых свойств сталей.

Второй вопрос: «Классификация и маркировка легированных сталей».

Легированные стали классифицируются по четырем признакам:

- по равновесной структуре,
- по структуре после охлаждения на воздухе,
- по составу,
- по назначению.

Классификация по равновесной структуре:

1. Доэвтектоидные стали, содержащие $\Pi + \Phi$,

2. Эвтектоидные – перлитная структура,
3. Заэвтектоидные – имеющие в структуре избыточные (вторичные) карбиды,
4. Аустенитные,
5. Ферритные,
6. Ледебуритные – имеющие первичные карбиды, выделившиеся из жидкой стали.

Классификация по структуре после охлаждения на воздухе.

Учитывая структуру, получаемую после охлаждения на спокойном воздухе образцов небольшой толщины, выделяют три основных класса сталей:

- перлитный,
- мартенситный,
- аустенитный.

Получение стали различной структуры обусловлено тем, что устойчивость аустенита в перлитной области с увеличением содержания легирующих элементов возрастает, а область мартенситного превращения понижается.

Для легированных сталей перлитного класса (как и для углеродистых) кривая охлаждения на воздухе пересекает область перлитного распада и дает ферритно-цементитную смесь: перлит, сорбит, троостит.

У сталей мартенситного класса область перлитного распада сдвинута значительно вправо и скорость охлаждения на воздухе обеспечивает переохлаждение аустенита до начала мартенситного превращения. Дальнейшее увеличение содержания углерода и легирующих элементов наряду со значительным сдвигом вправо области перлитного распада, снижает точку начала мартенситного превращения, переводя ее в область отрицательных температур. В этом случае охлажденная на воздухе сталь сохранит аустенитное состояние.

Классификация по составу.

В зависимости от состава легированные стали называют:

Н – никелевые, Х – хромистые, ХН – хромоникелевые, ХВГ – хромовольфрамомарганцовистые.

Классификация по назначению.

- *конструкционная сталь* – сталь для изготовления деталей машин.
- цементуемые,
- улучшаемые.

Машиностроительные специализированные:

- шарикоподшипниковые,
- пружинные,
- автоматные.
- *инструментальные стали* – стали для изготовления режущего, измерительного прочего инструмента.
- углеродистые,
- легированные,
- штамповые,
- быстрорежущие.

- *стали и сплавы с особыми свойствами* – обладающие какими-то резко выраженными свойствами:

- нержавеющие,
- жаропрочные,
- износостойкие,
- с особыми магнитными свойствами,
- с особыми электрическими свойствами,
- с особыми тепловыми свойствами.

Если в сплаве легирующих элементов более 50%, то сплав не называют сталью.

Маркировка легированных сталей.

В России действует буквенно-цифровая система маркировки по ГОСТ 4543 – 71, определяющая *химический состав* стали.

При этом легирующие элементы обозначаются русскими буквами:

1. Азот (N) – А
2. Вольфрам (W) – В
3. Молибден (Mo) – М
4. Кобальт (Co) – К
5. Никель (Ni) – Н
6. Титан (Ti) – Т
7. Хром (Cr) – Х
8. Цирконий (Zr) – Ц
9. Кремний (Si) – С
10. Фосфор (P) – П
11. Ванадий (V) – Ф
12. Марганец (Mn) – Г
13. Медь (Cu) – Д
14. Бор (B) – Р
15. Алюминий (Al) – Ю
16. Ниобий (Nb) – Б

Первые цифры в марке стали обозначают среднее содержание углерода в долях процента: в *сотых* – для конструкционных сталей, в *десятых* – для инструментальных.

Если цифры нет (марки начинается с буквы), то углерода = 1%.

Цифры после букв указывают на содержание данного легирующего элемента в %, а если его до 1-1,5%, то цифра не ставится.

Примеры.

Конструкционные стали:

12Г2 – марганцовистая: ~ 0,12% С, ~ 2% Мп,

08Х17Т – хромтитановая,

40Х – хромистая,

30ХГС – хромокремнемарганцевая.

Инструментальные стали.

Х – хромистая: ~ 1% С и ~ 1% Cr.

9ХФ – хромванадиевая: ~ 0,9% С,

Сравни У9

13ХФ ~ 1,3 %С

У13

В конструкционных сталях в конце ставится буква «А» если она высококачественная, например, 35 ХМЮА.

Инструментальные легированные стали и с особыми свойствами всегда высококачественные и индекс А не ставится.

В некоторых марках стали в начале обозначения ставят буквы, указывающие на их применение:

А – автоматные (А20),

Ш – шарикоподшипниковые (ШХ 15),

Э – электротехнические,

Р – быстрорежущая (Р18 - ~ 18% W).

Третий вопрос: «Конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами».

Листовая сталь для холодной штамповки. Преимущественно применяется тонколистовая сталь 08кп (С ~ 0,05 – 0,11%, Si ≤ 0,03%). И углерод и кремний снижают способность к вытяжке, поэтому допускается их малое содержание.

Цементуемые (низкоуглеродистые) стали.

- углеродистые (сталь 10, 15, 20) применяется для деталей небольших размеров, работающих на износ при малых нагрузках (втулки, валики, оси, шпильки и др.). Термообработка: цементация, закалка в воде, низкий отпуск.

- легированные применяется для тяжело нагруженных деталей. Детали небольших и средних размеров, работающих на износ при повышенных нагрузках (втулки, валики, оси, поршневые пальцы): 20Х, 15ХФ, 12ХН2. Детали средних и больших размеров (зубчатые колеса, ролики, поршневые пальцы) 12ХН3А, 18ХГТ, 18Х2Н4.

Улучшаемые (среднеуглеродистые) стали (С ~ 0,35 – 0,45%, легирующих элементов до 3-5% в легированных сталях).

Эти стали часто улучшают (закалка + высокий отпуск), в структуре сорбит отпущенный.

- углеродистые (стали 35, 40, 45) – для деталей повышенной прочности (штуцеры, пальцы рессор),

- легированные:

- хромистые (40Х, 45Х) коленчатые валы, шестерни. Закалка в масле, высокий отпуск;

- хромомарганцевые (30ХГСА, 35ХГСА - хромонсиль), не содержат дефицитных элементов.

Если они не удовлетворяют, то применяют стали:

- хромоникелевые (40ХН, 45ХН), которые имеют высокую прочность (от хрома) и пластичность (от никеля), а также хорошую сопротивляемость ударным нагрузкам.

- хромоникельмолибденовые (40ХН2МА, 38ХН3МА), которые имеют высокую усталостную прочность, очень хорошую прокаливаемость.

Пружинно – рессорные стали.

Основное требование – высокий предел упругости, который достигается средним отпуском ($T \sim 300 - 400^{\circ}\text{C}$) закаленных сталей определенного состава: стали 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г – для работы при температуре до 100°C ;

55С2, 60С2, 70С3А – для изделий сечением до 18мм;

50ХФА, 50ХГФА – для работы при температуре до 300°C ;

60С2ХА прокаливаемость сечения до 50 мм, 60С2Н2А – прокаливаемость до 80 мм – для особо ответственных пружин и рессор.

Шарикоподшипниковые стали.

Основные требования: устойчивость к усталостному изнашиванию (из-за циклических контактных напряжений) и истиранию. Высокое содержание углерода и хром обеспечивают получение после закалки высокой равномерной твердости, устойчивости против истирания.

Основная шарикоподшипниковая сталь ШХ 15.

Термическая обработка:

1. Отжиг сфероидизирующий на мелкозернистый перлит,

2. Закалка от $830 - 840^{\circ}\text{C}$ в масле,

3. Отпуск при температуре $150 - 160^{\circ}\text{C}$ в течение 1 – 2 часов.

Структура: мелкоиглочатый мартенсит отпуска с равномерно распределенными карбидами (HRC 62 – 65).

Высокомарганцовистая износостойкая сталь Г13Л (сталь Годфильда).

Состав: С ~ 1,0 – 1,4 %, Мп ~ 11 – 14%.

Сталь аустенитного класса относительно низкой твердостью (200 – 250 НВ). При работе деталей происходит интенсивное упрочнение (наклеп) - повышается износостойкость, но сохраняется высокая вязкость и пластичность.

Изделия: гусеничные траки, детали землечерпалок и ковшей, трамвайные стрелки, которые получают литьем, затем шлифуют.

Термическая обработка: закалка от 1100°C в воде. При этом задерживается выделение карбидов и образуется чисто аустенитная структура. При работе на износ с ударами (давлением) происходит наклеп аустенита двойникованием. Двойники препятствуют

движению дислокаций – упрочняют и снимают внедрение напряжений – предотвращают образование трещин.

Инструментальные стали.

Стали для измерительных инструментов.

Основные требования: высокая твердость, износостойкость, стабильность размеров. Широко применяются доэвтектодные низколегированные стали X, XГ, 50, 55 (закаливаемых ТВЧ), листовые стали 15, 20 15X (подвергаются цементации).

Термообработка проводится так, чтобы затруднить процесс старения, т.е. обеспечить стабилизацию напряженного состояния, стабилизацию мартенсита и остаточного аустенита. Чтобы уменьшить (исключить) частичный распад мартенсита, обрабатывают холодом (при $T = -50 \dots -80^{\circ}\text{C}$). Чтобы уменьшить количество остаточного аустенита закаливают с более низкой температурой.

Штамповые стали.

Основные требования к штампам холодной штамповки: высокая твердость, прочность, износостойкость, иногда вязкость.

Применяются стали инструментальные:

- углеродистые У10, У11, У12 для штампов небольших размеров ($D = 25 - 30$ мм), простой формы и легких условий работы;
- низколегированные X, ХВГ, 9Хс, ХВСГ для штампов больших размеров ($D = 75 - 100$ мм), более сложной формы, более тяжелой работы.
- высоколегированные Х12Ф4М, Х6ВФ для штампов, подвергающимся большим ударным нагрузкам.

Требования к штампам горячего деформирования: прочность, износостойкость, обладать вязкостью и прокаливаемостью, окалиностойкостью (жаростойкость), и разгаростойкостью (устойчивость образованию поверхностных трещин).

Разгаростойкость обеспечивается снижением содержания углерода в стали, что повышает пластичность, вязкость, теплопроводность. Поэтому применяют среднеуглеродистые легированные стали 5ХНМ, которые после закалки подвергают отпуску при $550 - 680^{\circ}\text{C}$ на структуру троостита или троостосорбита.

Стали для режущего инструмента.

Основные требования для сохранения режущей кромки: высокая твердость, износостойкость, теплостойкость (красностойкость), прочность на изгиб, вязкость – удельная работа разрушения при ударном изгибе.

Режущий инструмент изготавливают из углеродистых, легированных, быстрорежущих сталей и специальных сплавов.

Углеродистые стали: заэвтектоидные марки У9, У10, У11, У12, У13.

Основная структура – зернистый перлит (сетка Fe_3C не допускается) получается после отжига (неполного).

Для повышения твердости – закалка в воде с $770-810^{\circ}\text{C}$ (прокаливаемость – до диаметра 10-12 мм; структура: мартенсит и цементит; HRC 60-64).

Отпуск – в зависимости от назначения инструмента, при температурах $\sim 160-210^{\circ}\text{C}$. Режим работы не должен обеспечивать нагрев $> 200^{\circ}\text{C}$, так как теплостойкость до 240°C .

Легированные стали:

- имеют большую прокаливаемость,
- меньший размер зерна,
- меньшую деформацию (охлаждение в масле),
- большую прочность,
- лучшие режущие свойства.

Марки сталей указаны в таблице 8.

Быстрорежущие стали предназначены для режущего инструмента, работающего в тяжелых условиях. Это сложнолегированные стали, износостойкие, высокотеплостойкие (до $620 - 640^{\circ}\text{C}$). Высокую теплостойкость придают ванадий и кобальт. Марки Р12, Р18 и т.д.

Четвертый вопрос: «Порошковые твердые сплавы».

Спеченные твердые сплавы – материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой (кобальт).

Изготовление методом порошковой металлургии: порошки карбидов смешивают порошком кобальта, прессуют и спекают при 1400 – 1550 °С. При спекании кобальт растворяет часть карбидов, плавится и связывает оставшиеся карбиды в плотный (пористость ≤ 2%) материал, состоящий на 80 – 95% из карбидных частиц.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которые напаяют (обычно медью) на резцы, сверла, фрезы и др. инструменты. Они сочетают высокую твердость HRC 74 – 76 и износостойкость с высокой теплостойкостью (800 – 1000 °С).

В зависимости от состава карбидной основы спеченные твердые сплавы бывают трех групп.

- *вольфрамовая группа* системы WC – Co маркируется ВК цифрой, указывающей на процентное содержание кобальта: ВК 3, ВК8 – резцы для чугуна, цветных металлов, керамики (кобальта до 8% и остальное WC), ВК20, ВК 25.

- *титановольфрамовая группа* сплавы системы TiC – WC – Co: Т30К4, Т15К6 (TiC ~ 15%, Co ~ 6%, остальное WC).

- *титанотанталовольфрамовая группа* сплавы системы TiC – TaC – WC – Co: ТТ7К12, ТТ8К6 более прочные сплавы, меньше выкрашиваются, предназначены для наиболее тяжелых условий работы: черновое точение стальных слитков, поковок, отливок).

Лекция 8 . (2 часа)

Тема: Цветные металлы и сплавы. Электротехнические материалы

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Цветные металлы и их применение
2. Медь и её сплавы
3. Алюминий и его сплавы
4. Электротехнические материалы.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Цветные металлы их применение.

Цветные металлы: Cu, Al, Mg, Ti, Pb, Zn, Sn обладают ценными свойствами, поэтому широко применяются в промышленности, но из-за дороговизны, когда возможно заменяются другими материалами, например, пластмассами.

Сплавы легких металлов Al, Mg, Ti могут в 2-3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз сократить расходы на ремонт.

Цветные металлы применяются:

- в чистом виде,
- в виде сплавов,
- для покрытий других материалов.

Способы покрытия: диффузионный, гальванический, горячий (нанесение тонкого слоя легкоплавких металлов, например, лужение оловом, оцинкование железа и т.д.), термомеханическое покрытие (получение биметаллов совместной горячей прокаткой, например, сталь защищают медью, алюминием - наиболее надежный способ защиты от коррозии).

Относительная стоимость металлов:

Fe – 1

Pb – 2,5

Zn – 3

Al – 6
 Cu – 7,5
 Mg – 8
 Ni – 17
 Ti – 90
 W – 120
 Ag – 500
 Au – 11000
 Pt – 27000

2. Медь и ее сплавы.

Медь используется человеком очень давно – после каменного века, так как встречается в самородном виде. В земной коре ее немного около 1%, но в рудах содержится до 5%. Человек научился обрабатывать самородную медь, а затем бронзу отсюда истоки металлургии,ковки и литья.

По свойствам медь близка к серебру и золоту – полублагородный металл.

Цвет – красновато-розовый, плотность $\gamma = 8,9 \text{ г/см}^3$, пластичный, коррозионностойкий, электро- и теплопроводный, предел прочности $\sigma_b = 220 \text{ МПа}$, твердость НВ 35 (железо имеет НВ 80), пластичность $\delta = 50 - 60\%$. Кристаллическая решетка ГЦК, мономорфна (не меняет формы).

Технологические свойства: хорошо прокатывается (ленты, листы, проволока), хорошо паяется, сваривается.

Марки чистой меди и ее назначение.

Марка	МЭ	МОО	МО		
Cu, %	99,995	99,99	99,95	для проводников тока	
Марка	М1	М2	М3	М4	для деформируемых
Cu, %	99,9	99,7	99,5	99,0	сплавов
Наличие примесей снижает пластичность, коррозионностойкость, электро- и теплопроводность.					

Применяются также медные сплавы: латуни и бронзы. Сплавы меди с цинком (Cu – Zn) называются латунями, сплавы меди с любым другим металлом – бронзами.

Цинк растворяется в меди и повышает ее прочность, но латуни хорошо обрабатываются резанием. Однородный α -твердый раствор замещения при 20° – концентрация цинка до 39%, при 902° – концентрация цинка до 32% (рис. 47, а). Латунь однофазная – деформируемый сплав. Однофазные латуни при 30% цинка имеют максимальную пластичность ($\delta = 60\%$).

Находят применение также латуни из смеси $\alpha + \beta$ кристаллов - двухфазная латунь (литейный сплав) – при содержании цинка от 39% до 45%.

В интервале 46 – 51 % цинка в меди образуется β -твердый раствор на базе электронного соединения CuZn (соединение относительно малой пластичности при 46% цинка $\delta = 7\%$, $\sigma_b = 40 \text{ МПа}$).

Медноцинковые латуни в соответствии с ГОСТ 17711 – 80 выпускают марок: Л96, Л90 (томпак) Л85, Л80, Л75, Л70 (патронные), Л68 ... Л59. В марке указано процентное содержание меди, цинк остальное. Томпак (франц. – медь) – имеет цвет золота, используется для ювелирных работ. Это простые (двойные) сплавы.

Многокомпонентные (специальные) сплавы применяются в зависимости от назначения. Вводятся компоненты, которые обозначаются следующими буквами:

А – алюминий,
 Б – бериллий,
 К – кремний,
 Мц – марганец,

Н – никель,
 Х – хром,
 О – олово,
 С – свинец,
 Ф – фосфор,
 Ц – цинк,
 Ж – железо.

Например: ЛА 77-2 – алюминиевый упрочняющий (77% Cu, 2% Al, остальное Zn), ЛО 70 – 1 – оловянистая латунь.

В таблице 9 указаны марки, механические свойства и назначение некоторых многокомпонентных компонентов.

В марках литейных латуней указывается содержание цинка и количество каждого легирующего элемента непосредственно за соответствующей буквой, например, ЛЦ40Мц3А.

Бронзы.

Применяют бронзы: алюминиевые, оловянистые (оловянные), бериллиевые (самые прочные), никелевые, свинцовистые, кремнистые.

Бронзы прочнее, устойчивее против коррозии, чем чистая медь, поэтому еще в древности из них изготавливали оружие, инструмент, сосуды, украшения. Они имеют хорошие литейные свойства – очень малая усадка (< 1% для оловянистой бронзы, у чугунов и латуней ≈ 1%, у сталей > 2%), поэтому очень сложные отливки как и художественное литье изготавливают из бронз.

Маркировка включает в себя буквы Бр, условное обозначение компонентов и их количество в % (содержание меди не указывается):

деформируемые БрОЦ 4-3 (Sn ≈ 4%, Zn ≈ 3%, остальное медь – оловянная бронза), БрБ 2 (Be ≈ 2% - бериллиевая бронза);

литейные БрОЦС – оловянная, БРС30 – свинцовистая.

Олово растворяется в меди до 14%.

В литой бронзе включения твердого эвтектоида обеспечивает высокую стойкость против истирания. Поэтому бронза с 10% олова – лучший антифрикционный материал (БрОСН – 10 – 2 – 3).

Кроме того в бронзу вводят: цинк – для удешевления, заменителями олова являются также Al, Fe, Mn (дешевле, но бронзы хуже); свинец – для улучшения обрабатываемости резанием, фосфор – для раскисления.

Назначение некоторых бронз представлено в таблице П5 (стр. 45), например, свинцовистая бронза БРС30 – высококачественный материал (30% Pb).

Медно-никелевые сплавы (Cu – Ni).

МНЦ 20-20 (Ni и Zn по 20%, остальное медь)

МНЦ 15-20 (Ni + Co ≈ 15%, Zn 20%)

МН 20

МН 19 (Ni + Co ≈ 15%)

МНЖМц (Ni 30%, Fe 0.8%, Mn 1%)

Нейзильбер (похожий на серебро)

Мельхиор – столовые приборы, медицинский инструмент

Монель–металл (68% Ni, 28% Cu, Mn+Fe = 4%) обладает высокой коррозионной стойкостью, прочностью, хорошо обрабатывается; применяется для изготовления монет, изделий для медицины, химической, нефтяной, судостроительной промышленности.

3. Алюминий и его сплавы.

Алюминий относится к группе материалов с малой плотностью, которые широко применяются в авиации, ракетной и космической технике, в автомобилестроении и транспортном машиностроении.

Алюминий – металл серебристо-белого цвета. В России в прошлые века его называли глиний, так как он входит в состав глины. Предположение о наличии металла в глине высказали в 1808 г. англичанин Дэви, он и назвал его алюминием, а получил впервые датчанин Эрстед, 1825 г.

Небольшая плотность $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$, низкая температура плавления $T_{\text{пл}}=660^\circ\text{C}$, высокая пластичность и малая прочность: отожженный прокатанный алюминий высокой чистоты имеет следующие свойства $\sigma_b = 58 \text{ МПа}$, $\text{НВ } 25$, $\delta = 40\%$.

Алюминий как и медь имеет ГЦК решетку, не имеет аллотропических модификаций (мономорфен), обладает высокой тепло- и электропроводностью (65% от электропроводности меди). При равных значениях электропроводности провод из алюминия легче медного.

Чистый алюминий применяется в быту (посуда), цистерны молочные, рефлекторы и т.д.

Постоянные примеси (Fe, Si, Mn, Ti, Cu, Zn) понижают физико-химические характеристики и пластичность алюминия.

Маркировка алюминия:

Группа	Особой	Высокой	Технической чистоты
Алюминий, %	99,999	99,995...99,95	99,85...99,0
Марка	A999	A995 A99 A97 A95	A85 A8 A7 A6 A5 A6

То есть в марке указывается число стоящее после запятой – тысячные, сотые, десятые проценты содержания алюминия.

Алюминий выпускается в виде чушек, слитков, из которых получают: листы, профили, прутки, проволоку.

Классификация алюминиевых сплавов.

- по технологии изготовления: деформируемые, литейные, спеченные;

- по способности к термической обработке: упрочняемые, неупрочняемые.

Алюминий можно сильно упрочнить легированием за счет образования твердых растворов и интерметаллидов. Дело в том, что многие элементы с алюминием образуют твердые растворы ограниченной переменной растворимости и промежуточные фазы. Это дает возможность подвергать сплавы упрочняющей термообработке. Она состоит из закалки на пересыщенный твердый раствор и старения.

Наибольшей пластичностью (соответственно наименьшей прочностью) обладают сплавы с содержанием компонента меньше предела растворимости при высокой температуре. Следовательно, такой сплав хорошо обрабатывается давлением при горячей обработке. Наличие эвтектики резко уменьшает пластичность. Уже при небольшом содержании эвтектики такая обработка неосуществима.

Наилучшая жидкотекучесть у чистых металлов и эвтектике. Вместе с тем в литейных сплавах эвтектики должно быть $< 15\text{-}20\%$, так как ухудшаются механические и технологические свойства.

К **деформируемым** сплавам относятся:

Дуралюмины: Al – Cu – Mg – Mn. Марки: Д1, Д16, Д 19.

Высокопрочные сплавы (В): Al – Cu – Mg – Zn.

Жаропрочные: Al – Cu – Mg – Si с добавками Fe, Ni, Ti, Zn.

Литейные сплавы:

Силумины: Al – Si,

Повышенной прочности: Al – Mg.

Термическая обработка дуралюминия (сплава Al – Cu).

Введение в сплав других легирующих элементов вместо меди или дополнительно не вносит принципиальных изменений в структурные превращения.

Максимальная растворимость меди составляет 5,7% при 548°C . Любой сплав с содержанием меди более 0,2% после нагрева и быстрого охлаждения можно перевести в однофазный пересыщенный раствор. В таком неустойчивом растворе происходят изменения, приводящие к выделению соединения CuAl_2 и снижению содержания меди до

0,2% - количества, соответствующего равновесной системе. Этот процесс называется старением.

Процесс, происходящий при комнатной температуре, называется естественным старением, при повышенной температуре – искусственным.

Вывод: Термическая обработка алюминиевых сплавов состоит из закалки и старения.

Кривая упрочнения при естественном старении сплава (Al + 4% Cu) показывает, что сразу после закалки предел прочности несколько выше, чем в отожженном состоянии (250 МПа против 200).

Вначале наблюдается весьма слабое повышение прочности. Это период (2-3 ч) имеет важное технологическое значение (в это период можно проводить гибку, отбортовку закаленных деталей, расклепку заклепок). Затем способность пластически деформироваться резко уменьшается – эти операции становятся неосуществимыми. Прочность (при 20 °С) становится максимальной через 4-5 суток.

С повышением температуры процесс старения ускоряется, однако максимальный предел прочности получается тем ниже, чем выше температура, а при $T > 150$ °С наблюдаются разупрочненные сплавы.

При закалке цветных сплавов как и при закалке стали получается нестабильный пересыщенный твердый раствор с включениями другой фазы (химические соединения или элементы). Различие состоит в том, что твердый раствор при закалке стали имеет твердость максимальную, а твердые растворы цветных сплавов – минимальную.

В процессе естественного старения происходят подготовительные процессы к выделению 2-го компонента – интерметаллоида.

I стадия: в пересыщенном твердом растворе атомы меди (расположенные в случайных местах) собираются в определенных местах кристаллической решетки в зоны повышенной концентрации – в кристалле возникают зоны Гинье-Престона (доскообразные пластины толщиной до 1 нм и диаметром до 10 нм).

В этих зонах параметр решетки иной, чем в местах обедненных медью. Это создает большие напряжения в кристалле – пластическую деформацию, которая дробит блоки мозаики, что приводит к повышению твердости сплава.

II стадия: дальнейшее развитие процесса старения заключается в увеличении зон Гинье-Престона (в 3-4 раза увеличиваются линейные размеры) и повышении содержания меди в них до стехиометрического соотношения. Этот процесс называется зонным старением.

Повышение температуры приводит к выделению промежуточной, а затем и окончательной стабильной фазы (CuAl_2), кроме того зоны Гинье-Престона рассасываются и прочность получается ниже.

В простых сплавах Al-Cu с 3-5% меди (или в таких же сплавах с небольшим содержанием магния Mg – дюралюмин) процесс зонного старения протекает при комнатных температурах и приводит к максимальному упрочнению.

Дюралюминий – наиболее распространенный из алюминиевых сплавов, применяемых в деформированном виде и упрочняемых при термической обработке. Дюралюминий – первый промышленный сплав на основе алюминия. Название расшифровывается как «твердый сплав». (dur – твердый *франц.*)

Например Al $\sigma_{\text{в}} = 58$ МПа, дюралюминий $\sigma_{\text{в}} > 350$ МПа.

Состав дюралюминия: Cu, Mg, Mn, Si, Fe.

Дюралюминий имеет незначительную коррозионную стойкость. Поэтому часто его плакируют чистым алюминием – покрывают поверхность термомеханическим способом при прокатке, прессовании. Толщина слоя – 4-8% от S листа, $d_{\text{проволоки}}$.

Литейные алюминиевые сплавы.

В качестве литейных алюминиевых сплавов применяются сплавы с Cu, Zn, Mg, но наибольшее распространение получили силумины. Силумины – сплавы с большим содержанием кремния.

Высококремнистые сплавы слабо упрочняются в результате закалки и старения. Механические свойства можно повысить модифицированием (рис. 53). Сплавы Al – Si имеют эвтектическую концентрацию 11,6%. Силумины с 12 — 13% кремния будут заэвтектическими. Его структура (рис. 54,а): грубая игольчатая эвтектика Al + Si и крупные иглы Si. Модифицирование сплава натрием ($\approx 1\%$) сдвигает эвтектическую концентрацию до 14%. Тогда силумин с 12-13% кремния станет доэвтектическим. Структура его измельчается, так как снижается эвтектическая температура, и будет состоять из мелкозернистой эвтектики (темное поле) и первичных кристаллов Al (белые зерна на рис. 54, а). Механические свойства повышаются.

Маркировка сплавов: АЛ... - алюминиевый, литейный, порядковый номер в ГОСТе.

АЛ 2 – нормальный силумин (10 – 13% Si, $\approx 1\%$, Na).

АЛ 8 – магналий (до 11,5% Mg) – высокопрочный сплав.

АЛ 11 – цинковистый силумин (10-14% Zn, Si $\approx 7\%$, Mg $\approx 0.2\%$) с повышенными литейными свойствами – для сложных отливок.

4. Антифрикционные сплавы.

Антифрикционные сплавы предназначены для изготовления деталей трущихся поверхностей машин и механизмов (подшипник – вал или ось).

Требования к материалу:

- минимальный износ вала;
- минимальный собственный износ;
- способность удерживать смазку;
- низкий коэффициент трения.

Этот комплекс свойств могут обеспечивать сплавы, состоящие из относительно мягкой основы, в которой распределена вторая достаточно твердая фаза. Пластичная, вязкая основа сильнее изнашивается, а вал в основном лежит на твердых опорных включениях, в изнашивающих местах пластической основы удерживается смазка.

Если основа слишком мягкая - материал вкладыша будет выдавливаться валом, наволакиваться. Количество твердых включений не должно быть слишком велико, так как подшипник будет плохо прирабатываться.

Для подшипников применимы многофазные сплавы: баббиты, медные, цинковые, алюминиевые сплавы, антифрикционные чугуны, металлокерамические подшипниковые сплавы.

Баббиты – антифрикционные сплавы на основе олова (Sn) или свинца (Pb). Температура плавления $T_{пл} = 350 - 450^{\circ}\text{C}$, имеют хорошую прирабатываемость.

Лучшими антифрикционными свойствами обладают баббиты Б83 (Sn $\approx 83\%$), Б89, которые применяются только в особо ответственных узлах, в машинах большой мощности.

Олово слишком мягко, чтобы получить нужный сплав, в него вводят упрочняющие элементы – сурьму (Sb) и медь (Cu).

Сурьма до 7,5% растворяется в олове и дает более прочный α -твердый раствор, (мягкая основа темного цвета). При большей концентрации образуется химическое соединение SbSn с высокой твердостью (светлые зерна).

Медь почти не растворяется в олове и дает химическое соединение Cu_6Sn_5 .

Свинцовооловянистые баббиты.

	Sn	Sb	Cu	Pb, остальное
Б16	16%	16	2	66
Б6	6%	15	3	2% Cd 74
БТ	10%	15	1	0,2% Te 74
БН	10%	14	2	1% Ni 72

Теллур повышает пластичность, кадмий никель, мышьяк – твердость прочность основы.

Свинцовооловянистые баббиты имеют более высокий коэффициент трения, менее износостойки и хрупки по сравнению с Б83. БТ и БН применяются для подшипников ДВС, в том числе тракторов и автомобилей, Б16 – в электродвигателях, паровых турбин; Б6 – для нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков.

Антифрикционные бронзы и чугуны.

Из сплавов на основе меди наилучшими антифрикционными свойствами обладают свинцовистые бронзы БрС30 (и оловянистая, содержащая до 10% Sn).

Свинец растворяется в меди при температуре больше 950°C , при охлаждении сплава кристаллизуется медь в виде дендритов и при температуре меньше 326°C затвердевает свинец – мягкие поля. Поскольку и прочность и твердость такой бронзы невысоки ее используют в качестве наплавов вкладышей (на стальных лентах или трубах).

Биметаллические подшипники с таким материалом дешевы, легко заменяемы.

Антифрикционные чугуны высокоизносостойки, но имеют повышенный коэффициент трения. Применяются в тихоходных узлах трения. В серых чугунах роль мягкой составляющей выполняют включения графита.

Для работы при значительных давлениях и малых скоростях скольжения используют серые чугуны СЧ 15, СЧ 20 и легированные антифрикционные чугуны.

мягкие темные поля. Поскольку и прочность и твердость такой бронзы невысоки, ее используют в качестве наплавов вкладышей (на стальных лентах или трубах).

Биметаллические подшипники с таким материалом дешевы, легко заменяемы.

Бронза ОСН 10-2-3 обладает высокой стойкостью против истирания благодаря включениям твердого эвтектоида.

Антифрикционные чугуны высокоизносостойки, но имеют повышенный коэффициент трения. Применяются в тихоходных узлах трения. В серых чугунах роль мягкой составляющей выполняют включения графита.

Для работы при значительных давлениях и малых скоростях скольжения используют серые чугуны СЧ15, СЧ20 и легированные антифрикционные чугуны.

Спеченные антифрикционные материалы

Металлокерамические на железной, медной или бронзовой, на алюминиевой основе с графитной добавкой (1-4%) не содержат дефицитных металлов (Sn, Sb, Pb), могут работать в условиях сухого трения при больших скоростях и температуре выше 350°C .

Электротехнические материалы

К электротехническим материалам относят проводники, магнитные, электроизоляционные, полупроводниковые материалы, обеспечивающие работу электротехнических установок. К ним относят также некоторые изделия: провода, изоляторы, конденсаторы и другие.

Проводники - чистые металлы и сплавы с низким сопротивлением (в пределах соответственно $0,015-0,105 \text{ мкОм}^{\text{м}}$ и $0,3 - 1,8 \text{ мкОм}^{\text{м}}$).

Серебро - обладает наименьшим электросопротивлением. Применение (контакты, фольга, монтажные провода и другие изделия) ограниченное из-за очень высокой стоимости.

Медь: провода, кабели, шины, контакты. Дорогой металл.

Алюминий имеет электропроводимость в полтора раза ниже, чем медь, но он гораздо легче. Поэтому широко распространен.

Свинец: пластины аккумуляторов, вставки предохранителей, защитные оболочки кабелей.

Сталь используют как несущий элемент сталеалюминиевых проводов, защитных оболочек кабелей, как заземляющие элементы и детали конструкций.

Вольфрам - тяжелый, тугоплавкий металл с высоким электросопротивлением. Служит для изготовления спиралей электроламп, для неплавящихся электродов, высоко нагруженных контактов.

Материалы с высоким электросопротивлением.

Сплавы для электронагревателей:

Нихром Х20Н80;
Фехраль Х13Ю4(состав: Сг-13, Al - 4%, остальное - железо); Хромаль Х23Ю5.
Реостатные сплавы:
Константан МНМц 40 - 1,5 (Ni -40, Мп -1,5 остальное - медь); Копель МНМц 43-0,5;
Манганин МНМц 3-12.
Сплавы для термпар Алюмель (Al-2%, остальное Ni);
Хромель (Сг-10%, остальное Ni);
Копель;
Платина;
Платина с 10% родия.

Лекция 9 . (2 часа)

Тема: Порошковые, композиционные и неметаллические материалы

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Порошковые сплавы: получение, состав, назначение.
2. Композиционные материалы.
3. Пластмассы и резины.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

10.1. Порошковые сплавы

10.1.1. Общая характеристика

Порошки - частицы материалов размером от 0,1 до 1 мм.

Из них прессованием и спеканием получают изделия, не имеющие ликвации, текстуры, усадочных дефектов, трещин.

Материалы: один металл, металлы, металлы с неметаллическими материалами.

Изделия: обычного состава (дешевые),
особого состава, структуры и свойств.

10.1.2. Получение порошков

Способы получения порошков на металлургических заводах. Восстановлением металлов из оксидов и солей, которые получают из руд. Восстановители (сажа, газы, кокс) позволяют получать порошки любых металлов.

Распылением струи металла сжатым воздухом, азотом или аргоном над поверхностью воды.

Механическим дроблением:

- на шаровых мельницах дробят стружку, мелкие отрезки;
- на вихревой мельнице. В корпусе вращаются навстречу два пропеллера с частотой 3000 мин⁻¹ что позволяет дробить кусочки проволоки путем соударений.

Электролитическим осаждением.

При электролизе из раствора получают на катоде осадок: рыхлый или плотный (счищают и измельчают).

10.1.3. Технология изготовления порошковых изделий

- Сортировка, очистка, отжиг порошков.
- Дозировка порошков и получение шихты.
- Перемешивание.
- Прессование в пресс-формах холодное (P=30-1000МПа) или горячее.
- Прессование выдавливанием (мундштучное) для получения длинномеров.

Прокатка. Продукция: многослойные изделия, лист, ленты (толщиной от 0,02 до 3 мм и шириной до 300мм), а также различного профиля прутки и проволока (диаметром от 0,25 мм).

- Шликерное литье. Это литье смесью порошка с жидкостью (вода, парафин расплавленный и др.), которая удаляется из формы после завершения операции.

Изготавливают небольшие изделия сложной формы.

10.1.4. Спекание

Спекают порошковые «прессовки», получаемые в пресс-формах для повышения прочности.

Режимы спекания.

- Спекание твердых фаз при $T=(0,7-0,9) T_{пл.}$ легкоплавкого компонента;
- Спекание за счет жидкой «связки» при $T > T_{пл.}$ указанного компонента.

Оборудование. Электрические печи с T_p от 1100 до 2500 °С.

Атмосфера. Восстановительная (H, CO) или нейтральная (N, Ar).

10.1.5. Классификация порошковых материалов по назначению **Конструкционные** для изготовления втулок, муфт, шестерен и других малонагруженных деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов с пористостью до 1,0-2,0%.

Пористые для изготовления фильтров и некоторых других изделий. Порошки из бронзы, титана, железа, нихрома и т.д. Пористость до 50-60%. Фильтры для очистки газов и воздуха от пыли, жидкостей - от твердых частиц.

Антифрикционные - для подшипников скольжения.

Композиции: медный, алюминиевый, железный порошок, пропитанный маслом, с добавками графита (1-4%) или сульфида молибдена. Фторопластовые и др.

Фрикционные. Композиции из железного, медного порошка с добавками свинца, никеля, а также асбеста, кварца и других материалов (с высоким коэффициентом трения). Для тормозных устройств машин, самолетов.

Термостойкие для жаропрочных деталей.

Инструментальные - для изготовления пластинок: из твердых материалов (с алмазом, эльбором и др.); минералокерамических (на основе оксида алюминия).

Электротехнические - для магнитов, электроконтактов (смеси W, Mo, с Cu или Ag), электрощеток (композиции графита с медью или серебром).

10.2. Композиционные материалы

Композиционные материалы (композиты) - материалы со сплошной металлической или неметаллической основой (матрицей) и усиливающими (армирующими) элементами с резко отличающимися свойствами. При этом они не должны между собой взаимодействовать химически, но иметь близкие по значению коэффициенты теплового расширения.

Композиты значительно превосходят металлические и полимерные материалы по удельной прочности и жесткости, сопротивлению усталости, жаропрочности и другим свойствам.

По способу получения различают искусственные и естественные композиты.

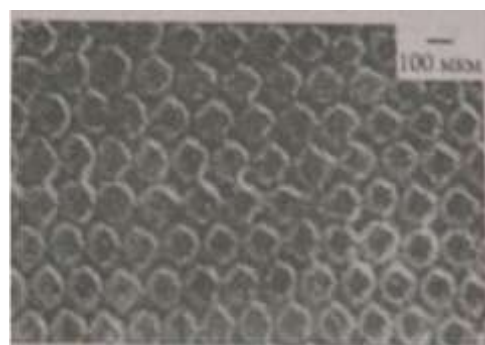
10.2.1. Естественные композиты

Естественные композиты (или НКЭ-сплавы) - материалы, получаемые направленной кристаллизацией сплавов эвтектического или близкого к нему состава.

При определенных условиях охлаждения расплава получают материал с ориентированной структурой (рис. 1) и лучшими свойствами. А именно, в твердом растворе (матрице) образуются кристаллы более прочной фазы (волокна или пластины карбидов, интерметаллидов или др. соединений).

а) б)

Рис. 1 Материалы с ориентированной структурой: а- НКЭ - сплав; б - монокристалл ЖС36



Пример. Сплав $Al+Al_3Ni$ однородной структуры имеет σ_B около 90МПа.

При кристаллизации этого сплава со скоростью 6 см/ч частицы Al_3Ni образуют «усы» (объем которых составляет 11%). Это обеспечивает повышение прочности до 330МПа.

10.2.2. Искусственные композиты

Искусственные композиты - получаемые промышленным способом материалы с комбинированной структурой.

Структура: матрица из металла, сплава, полимера;

армирующие наполнители: дисперсные, волокнистые или слоистые.

Укладка наполнителей:

- линейная (волокна, кристаллы...);
- плоская (маты, фольга, волокна.);
- трехмерная (равномерное по объему распределение наполнителя). Дисперсно-упрочненные композиты.

Матрица из металла (Al, Ni, Co, Be, Mg) или сплава (Ni - Cr; Co-Zn). Наполнители - дисперсные частицы (микроскопические - 0,01 - 0,1 мкм, или мелкие - 1-50мкм) тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов.

Пример.

Спеченные алюминиевые пудры (САП), упрочняемые оксидными частицами (при 8% частиц имеют $\sigma_B = 300$ МПа, а при 15% $\sigma_B = 400$ МПа). По прочности они сопоставимы с алюминиевым сплавом Д20 ($\sigma_B = 420$ МПа), но последний разупрочняется при нагреве, а САП могут работать при T до 300-500 °С. Из них изготавливают лопатки компрессов, вентиляторов и турбин; поршневые штоки и т.п. Очень стойкие в агрессивных средах композиты, получаемые спеканием металлических и керамических порошков называют **керметами**.

Керметы. Металлическая основа их порошки Ni, Co, Fe, Cr, W, Mo, Nb. Наполнители: высокоогнеупорные бориды TiB_2 , VB_2 ; силициды: VSi_2 , $TiSi_2$; окислы Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2 ; нитриды; карбиды. Изделия: металлорежущий инструмент, детали авиационных двигателей, турбин и другие, работающие при высоких температурах, повышенных нагрузках, в агрессивных средах.

Волокнистые композиционные материалы.

Матрица: полимерная (чаще других), металлическая, углеродная.

Волокна: стеклянные, органические (полиамиды, углерод), металлические, из нитевидных кристаллов («усов»).

Формы армирующих компонентов: волокна, жгуты, ткани.

Волокно должно иметь более высокий, чем у матрицы модуль упругости, равномерно распределяться по объему композита. Способ укладки волокон (рис. 2), а также расположение их относительно действующего усилия (рис. 3) являются также важными факторами.

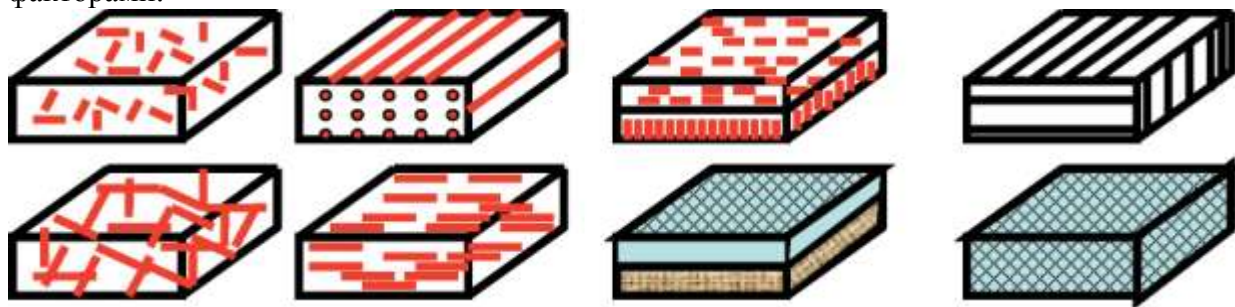


Рис 2 Распределение волокон в КМ:

а- хаотичное ;б- одномерное; в - двухмерное; г - пространственное

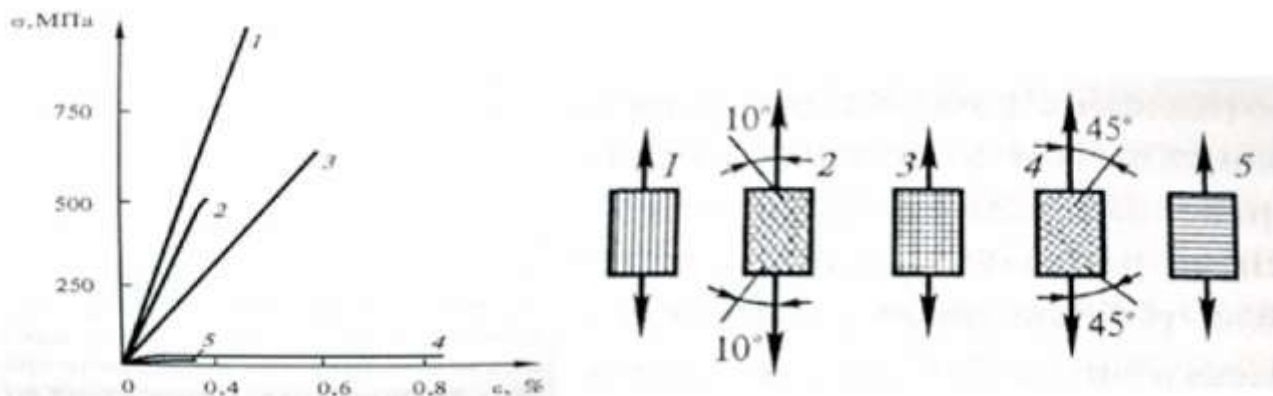


Рис 3. Зависимости прочности композита от схемы расположения волокон

Вместе с тем, предел прочности композита определяется и объемной долей волокна V^s . Для однонаправленной схемы укладки волокна и действующей вдоль него нагрузке прочность композита до некоторого критического значения $V^\wedge$ снижается, т.к. определяется пределом прочности матрицы O_B^M (рис. 4) - из-за быстрого нагружения и разрушения волокон. При увеличении объемной доли V^e от $V^\wedge$ до 0,8-0,9 прочность композита растет как суммарная прочность волокон и матрицы $a_s^k = a^e \cdot V^B + a^{TM}(1 - V^B)$. Но затем волокна разрушаются и разрушается матрица /7/.

Волокнистые композиты получают твердофазным, жидкогазопарофазным способами, а также методами осаждения металлических покрытий на волокна и кристаллы.

При *твердофазном* способе листы, фольгу, проволоку прессуют и спекают. Например, горячим прессованием пакета, состоящего из чередующихся слоев фольги алюминиевого сплава АД1 и одинаково направленных волокон бора (до 50% по объему) получают композит ВКА - 1

с пределом прочности O_B до 1200 МПа, - вдвое превышающем O_B высокопрочных сплавов алюминия.

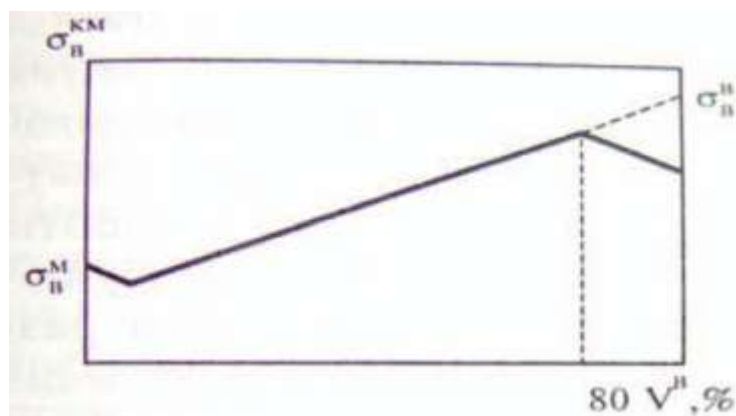


Рис. 4. Зависимость прочности композита от объемной доли волокна

Армирование сплава АД1 стальной проволокой ВНС-9 ($V^B = 25-30\%$) повышает предел прочности композита O_B до 1450 (1750) МПа.

Некоторые показатели широко используемых армирующих материалов представлены в таблице 1/9/.

При жидкофазном способе наполнители пропитывают расплавом за счет вакуума или избыточного газового давления. Так, композит с углеродным волокном получают заливкой (пропиткой) волокнистого каркаса расплавом силумина АЛ2. Этот композит имеет прочность O_B до 1000 МПа и теплостойкость до 500 °С.

Композиты с углеродной матрицей производят карбонизацией и осаждением углерода из газовой фазы.

В индукционной печи при температуре 900-1100 °С в вакууме происходит пиролиз (разложение) углеводородного газа (метана и др.) и последующее осаждение его на волокна композита, что обеспечивает постепенное формирование матрицы.

Таблица 1. Свойства некоторых армирующих материалов

Материал	Температура расплавления, °С	Плотность, г/см ³	Предел прочности О _в , МПа
Волокно:			
борное	2040	2,63	2500-3500
углеродное	3000	1,70	1960-2960
оксид алюминия	2050	3,96	2100-2600
Проволока:			
бериллиевая	1284	1,8	15760
вольфрамовая	3400	19,3	2070
стальная	1300	7,8	2560
Нитевидные кристаллы:			
нитрид алюминия	2400	3,3	15000
карбид кремния	2650	3,21	37000
нитрид кремния	1900	3,18	15000

Для получения более термостабильного материала проводят дополнительную графитизацию путем выдержки при 3000 °С. Композит с волокнами углерода в углеродной матрице выдерживает температуру до 2000°С.

Поразительные перспективы открывают **нанотехнологии**

в совершенствовании имеющихся и создании новых материалов.

Считают возможным создание в близком будущем электрических магистральных кабелей на углеродных нанотрубках, способных проводить ток высокого напряжения лучше медных проводов и весить в пять -шесть раз меньше.

Планируется (учрежден нанотехнологический комплекс в Санкт- Петербурге) создание композиционных материалов за счет поверхностного

(объемного) модифицирования наночастицами металла, керамики, полимеров для получения высоких магнитных, каталитических характеристик, термо- и химически стойких, с высокой прочностью и пластичностью, эффективно экранирующих и поглощающих электромагнитные волны.

Нанотехнологические направления по конструкционным материалам:

- металломатричные композиции на основе легких металлов (Al, Ti, Mg);
- сверхпрочные стали;
- сверхтвердые нанокомпозиты;
- жаропрочные наноматериалы;
- сварочные материалы, модифицированные нанокомпозитами.

10.3. Пластмассы и резины

10.3.1. Пластмассы (пластики)

Пластмассы и другие неметаллические материалы (стекло, резины, клей, краски и т.д.) широко применяют в различных отраслях техники.

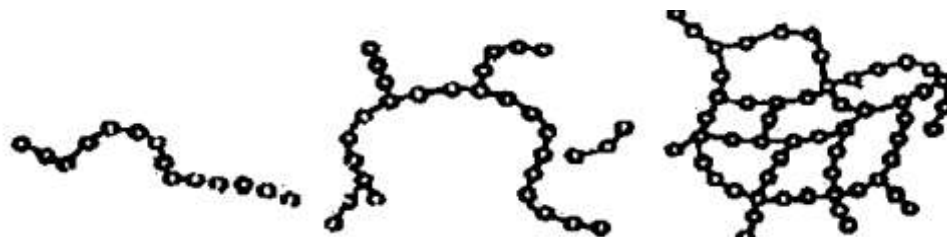
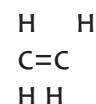


Рис.5. Форма макромолекул

Длина цепочки мономеров определяет агрегатное состояние вещества.

Газ этилен: химическая формула C_2H_4 ,

структурная формула (6 молекул)



Многие научные проблемы по неметаллическим материалам были решены нашими соотечественниками. Так **Бутлеров А.М.** разработал структурную теорию химического строения органических соединений (Суть: порядок связей атомов в молекулах определяет свойства вещества).

Петров Г.С. заложил основы промышленного производства пластмасс. В 1913 г. была получена первая отечественная пластмасса - карболит.



Блестящие исследования академика **С.В. Лебедева** обеспечили получение синтетического каучука (1932г.)

Пластмассы- материалы на основе полимеров, способные при нагревании формоваться под давлением в изделия заданной формы.

Полимер - вещество, состоящее из макромолекул, включающих большое число повторяющихся элементарных звеньев (мономеров).

По структуре макромолекулы бывают:

линейные (лестничные),

разветвленные, сетчатые (рис. 5). От формы молекулы, плотности упаковки, зависят свойства полимера.

Жидкий полиэтилен



с-с

н н 20

цепочка из 20 звеньев **Твердый полиэтилен:** цепочка из 1500-2000 звеньев

Таким образом, полиэтилен это продукт полимеризации газа этилена, у которого разрушена двойная связь между атомами углерода.

Фторопласты - пластики на основе политетрафторэтилена $(-CF_2-CF_2-)_n$. Эти макромолекулы имеют форму зигзагообразной спирали с высокой энергией связи между

атомами С и F, что обеспечивает повышенную термостойкость пластика. Например, "фторопласт-4" - диэлектрик, работающий длительно при Т до 250 °С.

Наряду с рассмотренными широко используются: оргстекло полипропилен - $(\text{CH}_2-\text{CHCH}_3)_n$; полистирол - $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5)_n$ и другие По влиянию температуры на свойства пластмасс выделяют две группы:

- *термопласты*, имеющие линейные или разветвленные макромолекулы и способные многократно размягчаться при нагревании;
- *реактопласты* (термореактивные пластики), имеющие исходную линейную структуру, превращающуюся при введении отвердителя необратимо в сетчатую.

Смолы - связующие для реактопластов:

- эпоксидная (теплостойкость 200 °С);
- феноло-формальдегидная (до 260 °С);
- кремнийорганическая (260-370 °С).

По составу пластики бывают *простые и сложные*. Последние содержат до 40-70% наполнителя.

Группы пластиков по виду наполнителя представлены в табл. 2/13/.

Таблица 2. Классификация пластмасс по виду наполнителя

Структура наполнителя	Вид наполнителя по происхождению	Вид пластмасс
Без наполнителя	-	Ненаполненные (простые) пластмассы. Состоят из полимера и добавок. Например, фторопласт - 4, полиэтилен
Порошкообразный	Органические и неорганические вещества	Пресс-порошки и литьевые пластмассы
Волокнистый	Органические волокна	Волокииты
	Асбестовые волокна	Асбоволокниты
	Стекланные волокна	Стекловолокониты
Листовой	Бумага	Гетинаксы
	Хлопчатобумажная ткань	Текстолиты
	Асбестовая ткань	Асботекстолиты
	Стеклоткань	Стеклотекстолиты
	Древесный шпон	Древесно-слоистые пластики (ДСП)
Газообразный	Воздух, СОг	Пенопласты
		Поропласты

Гетинакс - сложный пластик, получаемый горячим прессованием нескольких слоев бумаги, пропитанной феноло-формальдегидной смолой. Применение: детали электрических машин, радиоаппаратов; декоративный листовой материал.

В сложные пластики также вводят:

пластификаторы - повышающие пластичность, обрабатываемость, морозостойкость;
стабилизаторы - вещества, укрепляющие структуру молекул;

красители;
отвердители.

10.3.2. Резины.

10.3.2.1. Общие сведения

Резины - продукт химической переработки каучуков - особой группой полимеров - эластомеров, имеющих зигзагообразные (спиралевидные) макромолекулы с витками и петлями и образующих редкосетчатую структуру. Такие макромолекулы под нагрузкой сначала распрямляются, а уж затем вытягиваются. Поэтому упругая деформация резин достигает 7001000%.

Наряду с эластичностью резины несжимаемы, газо- и водонепроницаемы, стойки к истиранию и имеют низкую плотность.

Резины получают вулканизацией каучуков в смеси с вулканизатором (сера, селен) и другими добавками - нагревом до 130-150 °С.

При введении серы до 5% образуется редкая сетка и получается мягкая, эластичная резина. С увеличением содержания серы сетка густеет, а материал твердеет и при 30% S получается эбонит.

Макромолекулы каучука наряду с одинарными связями в цепочках углерода имеют некоторое количество связей двойных. Сера, вступая в реакцию, разрывает их и, встраиваясь в структуру, образует поперечные атомные связи.

10.3.2.2. Состав и свойства резины

Основу резин, как отмечено выше, составляют каучук и вулканизатор, дополнительно в них вводят различные ингредиенты:

- наполнители:
 - активные (сажа, окись цинка и другие), в частности, упрочняющие материал;
 - инертные (мел, тальк, регенерат - измельченная старая резина);
- пластификаторы - вещества, повышающие эластичность и морозостойкость, облегчающие переработку;
- противостарители (антиоксиданты), тормозящие окисление макромолекул каучука и их разрыв;
- красители - несущие декоративную функцию и снижающие световое старение.

Каучуки.

Натуральный (НК) - мягкий эластичный материал, обеспечивающий резинам высокую прочность и эластичность, высокие электроизоляционные свойства. Изделия: шины, ремни, транспортерные ленты, детали вакуумной техники.

Бутадиеновый (СКБ) - получают полимеризацией углеводорода бутадиена. Он имеет пониженную прочность при растяжении, растворим в неорганических растворителях, но хорошо совмещается с натуральным и бутадиен-стирольным каучуками и придает резинам повышенную износостойкость, эластичность и морозостойкость. Изделия: шины, резинотехнические изделия, обувь и др.

Бутадиен-стирольные каучуки (СКС, СКМС). Резины на их основе эластичны, износостойки, имеют удовлетворительную морозо- и теплостойкость. Используются в шинной, обувной, кабельной промышленности. СКС-10 морозостоек (до -77°С).

Изопреновые каучуки (СКИ). Так, СКИ-3 по составу и свойствам близок к НК. Для изготовления напорных рукавов, транспортерных лент, шин, амортизаторов.

Бутадиен-нитрильный каучук (СКН) получают совместной полимеризацией бутадиена и нитрила акриловой кислоты. Он стоек в бензине и нефтепродуктах (превосходит найрит, а по теплостойкости - НК), но у него низкие электроизоляционные свойства. Резины для топливных и масляных шлангов, прокладок и уплотнителей.

Синтетический теплостойкий каучук (СКТ) благодаря наличию прочной силоксановой связи (-Si-O-) в основной цепи макромолекул придает резинам повышенную

теплостойкость, диэлектрические свойства. Изделия: изоляция электрокабелей, герметизирующие прокладки.

Полиуретановый каучук (СКУ) - обеспечивает резинам высокую прочность, сопротивление износу, эластичность, маслбензостойкость. Изделия: автомобильные шины, транспортные ленты и др.

Таблица 3. Физико-механические свойства резин /7/

Назначение	Каучук	Плотность, кг/м ³	Ов, МПа	Температура, °С	
				рабочая	хрупкости
Общее	НК	920	30	80-130	-40--62
	СКБ	920	15	80-130	-42--68
	СКС	920	25	80-130	-40--62
	СКИ	920	30	130	-58
Специальное: -бензомасло стойкие	Найрит	1225	25	80-130	-34
	СКН	960	до 30	80-130	-48
	Тиокол	1350	3,5	60 - 130	-40
- теплостойкие	СКТ	1850	До 80	250-325	-74
-химически стойкие	Бутил - каучук	920	до 24	до 130	-30 - -70
- износостойкие	СКУ	-	до 60	130	-21 - -50

10.3.2.3. Технология изготовления резины и резиновых изделий /6/.

1. *Пластикация* (размягчение) каучука, разрезанного на куски, путем пропускания его через червячную машину при температуре 40-50 °С (рис.6)

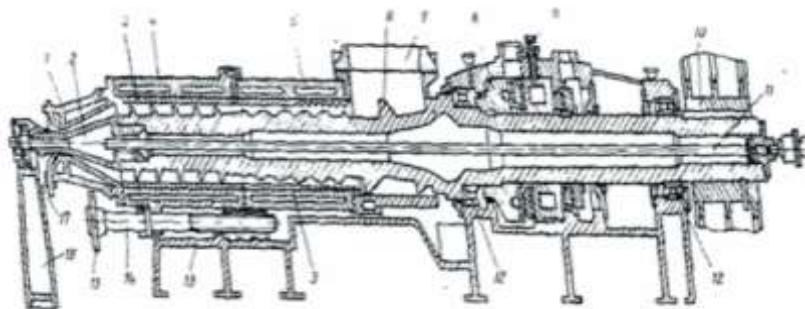
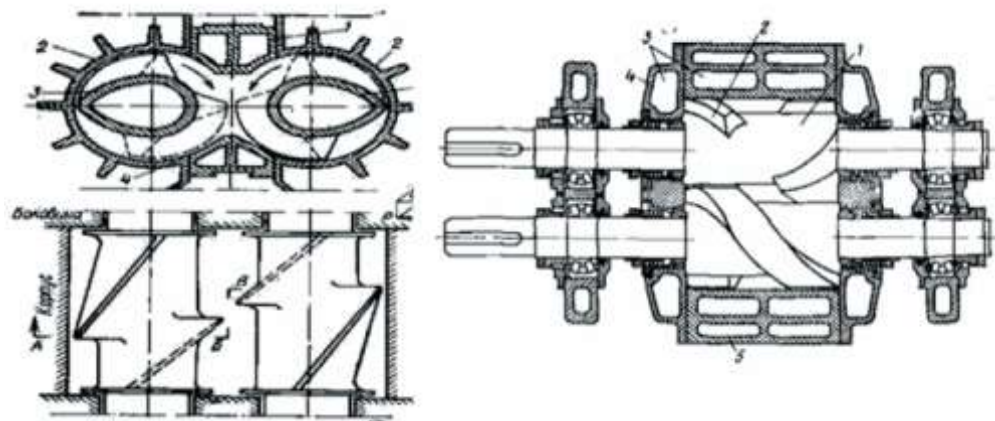


Рис. 6. Червячный пластикатор

2. *Приготовление смеси* каучука с порошкообразными ингредиентами в специальных смесителях (рис.7)

Вводят сначала противостарители, а последними - вулканизаторы. Получают пластичную и малоупругую массу.



На каландрах выстилают также промазку тканей и нанесение массы на каландрах - трех- или четырехвалковых машинах (рис. 8). покрытия на прокат. Ветчарно-фелерной температуры, которая усиливается и поддерживается за счет подводимых в полные валки (длиной до 2,5 м и диаметром до 0,8 м) пара и холодной воды. Получают листовую сырую резиновую смесь с гладкой поверхностью и постоянной толщины.

4. Получение полуфабрикатов и деталей.

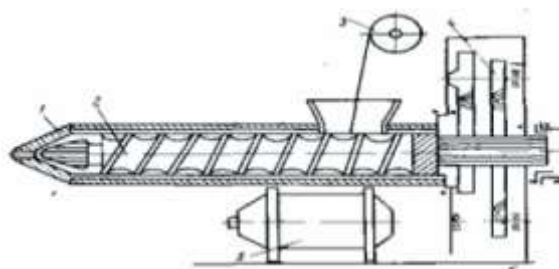
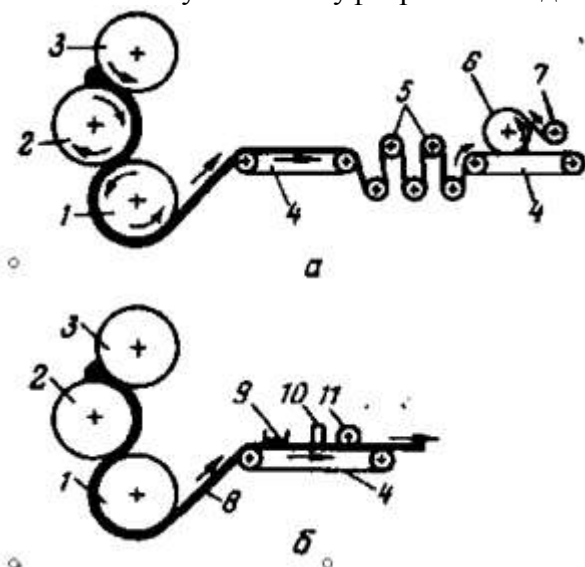


Рис. 10. Схема литьевого агрегата

Вырубкой или формованием из листов нужной толщины получают заготовки. Детали изготавливают прессованием (рис. 9) или литьем (рис.10)

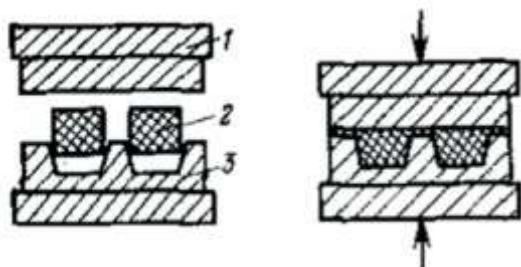


Рис. 9. Схемы прессования

5. Вулканизация

Готовые детали проходят завершающую операцию в вулканизаторах (специальных камерах) при температуре 120-150 °С в атмосфере насыщенного водяного пара.

При этом образуется сетчатая структура и получается менее пластичная, но более прочная и стойкая резина.

Многие изделия получают в металлических формах давлением при повышенной температуре, т.е. на стадии вулканизации.

Автомобильные шины.

Из полученной на экструдере трубы вырезают заготовку нужной длины, собирают и формуют на барабане. Вулканизируют в стальных рифленых формах.

Процесс изготовления автопокрышек (шин) отражен на рис.11 - 14.

Рис. 13.
Вулканизация
Покрышки

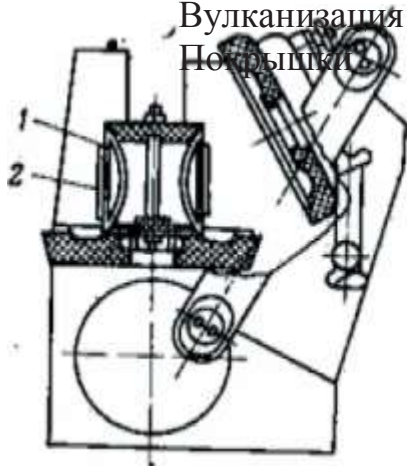


Рис. 12. Формование покрышки

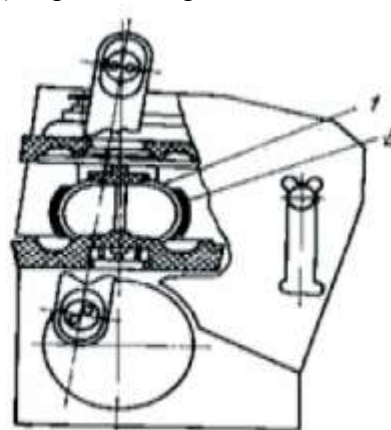


Рис. 11. Форматор-вулканизатор с не вулканизированной покрышкой

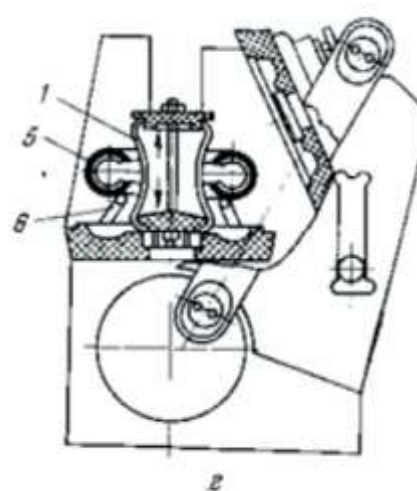
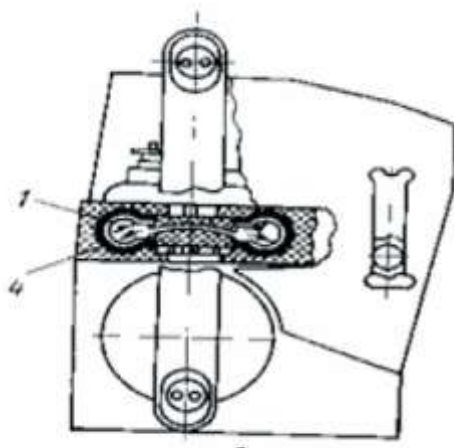


Рис. 14. Извлечение

готовой покрышки

6. *Экструзия* - процесс формования из резиновой смеси труб, шлангов, камер пневмошин, протекторов шин на *экструдерах* - машинах с цилиндрическим нагревающим стальным корпусом, шнеком, загрузочным устройством. Невулканизированная смесь шнеком продвигается через сменный формующий инструмент. При этом получается нужная заготовка, (к примеру шина) которая дорабатывается и вулканизируется.

Лекция 10. (2 часа)

Тема: Основы литейного производства

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Введение
2. Общие сведения о литейном производстве.
3. Литье в песчано - глинистые формы

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Введение.

«Технология» - от греч. *technē* – искусство, мастерство и *logos* – учение.

Технология конструкционных материалов (ТКМ) – комплексная дисциплина о способах получения, переработки обработки конструкционных материалов.

Она включает две части:

1. Горячая обработка металлов (ГОМ).
2. Обработка металлов резанием (ОМР).

В свою очередь горячая обработка металлов состоит из трех разделов:

1. Основы литейного производства.
2. Обработка металлов давлением.
3. Сварка металлов.

2. Общие сведения о литейном производстве.

Литейным называется машиностроительное производство, обеспечивающее получение отливок.

Отливки – литое изделие (деталь или заготовка), получаемое путем заливки расплава в литейную форму.

Литые изделия применяют во всех отраслях машиностроения и приборостроения. К примеру, в тракторостроении масса литых деталей составляет около 60%.

Преимущества литья:

- простота технологии и сравнительно небольшие затраты средств;
- возможность получения изделий сложной формы, например, блок-картер двигателей внутреннего сгорания;
- широкий диапазон размеров получаемых отливок (от долей мм до десятков метров) со стенками толщиной от 3-5 до 1000 мм.

Первые литые изделия были получены в III – II тысячелетиях до н.э. сначала из бронзы, затем из чугуна. Имеются свидетельства древнейшего литья на Урале.

В России работали замечательные мастера – литейщики: Андрей Чохов отлил чугунную «Царь-пушку» массой 39 т в 1585 году. Михаил и Иван Моторины изготовили бронзовый 200 – тонный царь-колокол. Мировую известность имеет чугунное художественное литье Каслинского завода Челябинской области.

3. Литье в песчано-глинистые формы.

Для получения отливок применяют более 50 способов литья. Самый древний способ – литье в песчано-глинистые формы («в землю»). Его считают самым простым, но он требует большой предварительной работы. Сущность способа раскрывают рис. 1 и 2 (63 и 64 «Фр»).

Воздействуя литейной технологической оснасткой на формовочную смесь, стержни и материалы получают форму, в которую заливают расплав. После его затвердевания и охлаждения до требуемой температуры производят выбивку форм (извлечение отливки из формы). Выбитая из формы отливка подвергается обрубке (отделению литниковой системы, прибылей т.п.) и очистке, затем, если необходимо – термообработке. Перед сдачей в механический цех все отливки проходят необходимый контроль.

Литейная технологическая оснастка – набор приспособлений для изготовления литейных форм.

Состав оснастки:

1. Модельный комплект.
2. Опоки.
3. Формовочный инструмент.

Модельный комплект в себя включает:

- модель литейную,
- стержневые ящики,
- модель литниковой системы (стояк, литник, питатели),
- выпоры,
- шаблоны (формовочные, сборочные, контрольные).

Опоки: верхняя, нижняя (парные).

Формовочный инструмент: совок, сито, трамбовки, гладилки, ложки, ланцеты, крючки, душники.

Модель (литейная) – приспособление для получения рабочей полости литейной формы.

Модель образует при формовке полость, соответствующую наружной конфигурации отливки. Отверстия и полости внутри отливок получают с помощью стержней. В таких случаях модель имеет специальные выступы – знаки, образующие в форме *отпечатки* – выемки для установки стержней.

Материал модели:

- дерево – при единичном и мелкосерийном производстве;
- пластмасса;
- металл.

Размеры модели больше размеров отливки на значение *линейной усадки* отливки (для чугуна 0,8 – 1,2%, для сталей до 2%). Размеры модели включают дополнительно *припуски на обработку* – слой металла, удаляемый в процессе механической обработки отливки с ее обрабатываемых поверхностей.

Для облегчения извлечения модели при формовке на вертикальные плоскости модели назначают *литейные уклоны* (0,5 – 3°). Чтобы исключить коробление отливки при ее охлаждении предусматривают *ребра*.

Для образования в литейной форме вспомогательных полостей - совокупности каналов для заполнения рабочей полости металлом, которую называют *литниковой системой*, служит набор моделей:

- стояк (модель стояка) – конусный стержень;
- шлакоуловитель – брусок трапециевидного или другого сечения;
- литники – брусочки различного сечения;
- выпоры – конусные стержни.

Опоки – прочные металлические рамы коробчатой формы для изготовления из формовочной смеси литейных полуформ.

Материал опок: серый чугун, сталь, алюминиевые сплавы.

По конструкции опоки бывают сварные, сборные, цельнолитые. Опоки имеют проушины с центрирующими отверстиями.

Формовочный инструмент.

Трамбовки: пневматическая (рис. 65, а), и ручные (рис. 65, б, в) с конусными и плоскими наконечниками.

Душник – спица (игла) (рис. 65, в).

Подъемники (рис. 65, г) служат для извлечения моделей из формы.

Гладилки, ложки, крючки, ланцеты (рис. 65, д, ж, з, и) предназначены для исправления (отделки) формы.

Формовка и формовочные смеси.

Формовка – процесс изготовления литейных форм.

По степени механизации различают формовку: ручную и машинную.

Ручная формовка применяется для получения мелких и средних отливок при единичном производстве, выпуске мелких партий, а также при литье крупных отливок в специальных облицованных бетоном ямах – кессонах.

Формовка в парных опоках по разъемной модели наиболее распространена. Литейную форму состоящую из двух полуформ изготавливают в такой последовательности: на модельную плиту устанавливают нижнюю половину модели, модели питателей и опоку, в которую засыпают формовочную смесь и уплотняют. Опоку поворачивают на 180^0 , устанавливают верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка и выпоров. По центрирующим штырям устанавливают верхнюю опоку, засыпают формовочную смесь и уплотняют. После извлечения модели стояка и выпоров форму раскрывают. Из полуформ извлекают модели литейные, и модели питателей шлакоуловителей, если необходимо в нижнюю полуформу устанавливают стержень и накрывают нижнюю полуформу верхней. После заливки расплавленного металла и его затвердевания литейную форму разрушают и извлекают отливку.

Механическая формовка – основной промышленный способ изготовления литейных форм.

Оборудование. Машины и автоматы с пневматическим, гидравлическим и комбинированным приводом.

При формовке на машинах формы изготавливают в парных опоках с использованием односторонних металлических модельных плит. Машинная формовка механизует установку опок на машину, засыпку формовочной смеси в опоку, уплотнение смеси, удаление моделей из формы, транспортирование и сборку форм. При машинной формовке формовочную смесь уплотняют прессованием, встряхиванием, пескометом, вакуумной формовкой и др.

Формовочные смеси.

Виды формовочных смесей.

По составу: единая – для заполнения всего объема опоки; в машинном производстве; облицовочная – для прилегающего к модели слоя толщиной до 40 мм, содержит 50 – 90% свежих материалов;

наполнительная – применяется совместно с облицовочной, в основном это обратная смесь (уже использованная).

По состоянию форм перед заливкой расплавом:

смесь для сырых,

для сухих форм (высушиваемых).

По виду литейного материала:

для серого чугуна,

для стали,

для цветных металлов и сплавов.

Состав песчано-глинистых формовочных смесей.

Основные компоненты: песок (примерно от 50% более), глина (10 – 15%)

Песок – огнеупорный наполнительный материал. По составу главным образом кварцевый.

При литье крупных стальных отливок и т.п. применяют в основном для облицовочных смесей: циркон, рутил (TiO_2), хромит, магнезит, шамот.

Формовочные глины (каолиновая, битонитовая и др.). Это основной связующий материал.

При изготовлении сырых форм для мелких и средних отливок вводят 10 – 12% глины.

Влажность смеси 4 – 5%. В сухие формы для крупных и толстостенных отливок вводят до

15% глины. При этом влажность смеси составляет 6 – 8%, но форму затем сушат при температуре от 300 до 450 °С несколько часов.

Связующие материалы. Повышенное содержание глины ухудшает газопроницаемость и пригораемость смеси. Поэтому используют специальные материалы. Их доля 1,5 – 3%.

Органические связующие: льняное масло, олифа-оксоль, природные смолы (канифоль др.); неорганические связующие: жидкое стекло, цемент, синтетические смолы.

Противопригарные добавки (5 – 12% в смеси).

- каменноугольный порошок, древесный уголь, графит – чугунное литье;
- кварц пылевидный, циркон, оксид магния – стальное литье;
- мазут – бронза.

Применяют в виде припылов или краски, наносимых на поверхность рабочей полости формы.

Добавки для повышения газопроницаемости стенок формы.

Обычно выгорающие материалы: торф, древесные опилки (мука) и др.

Стержни часто изготавливают из кварцевого песка с добавлением жидкого стекла. Их сушат при температуре порядка 150 – 300 °С.

Специальные формовочные и стержневые смеси.

Эти смеси отличаются пластичностью или текучестью в процессе изготовления формы, а на завершающем этапе они твердеют. Самотвердеющие и побочные им смеси позволяют исключить ручной труд, избавить литейные цехи от вибраций, шума и пыли, сократить время сушки форм и стержней до 30 – 40 мин, повысить чистоту поверхности отливок.

Лекция 11 (2 часа)

Тема: Литейные сплавы. Специальные способы литья

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Механические и литейные свойства сплавов.
2. Проектирование литниковой системы.
3. Специальные способы литья.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:(

1. Механические литейные свойства сплавов.

Традиционные сплавы – чугун и бронза, которые не обладают достаточной пластичностью для обработки давлением. Но отливки получают и из деформируемых сплавов, например, из стали. Возможность использования сплава для литья определяется его литейными свойствами. Однако, при проектировании деталей и конструкций в первую очередь учитывают основные показатели механических свойств материалов:

σ_b - предел прочности при растяжении,

δ – относительное удлинение.

Сравнительные данные по этим показателям для ряда литейных сплавов приведены на рис. 11. Кроме того, нужно иметь в виду конструктивные особенности деталей, характер их нагружения. На рис. 12 /10/ представлены три варианта исполнения кронштейна: консоль, консоль усилением сверху и снизу. Характер нагружения в каждом случае различный. Отсюда, возможность использования различных по прочности материалов или разных сечений элементов конструкции.

Литейные свойства сплавов.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла заполнять литейную форму. Зависит от химического состава температуры расплава.

Определяют жидкотекучесть по технологической пробе и оценивают по длине заполненного при опыте канала. Пример результатов определения жидкотекучести по спиральной пробе для алюминиевых сплавов: АЛ 2 – 800 мм, АЛ 7 – 280 мм при температуре заливки 700 °С.

Усадка – уменьшение объема литейных размеров отливки при ее затвердевании и охлаждении до комнатной температуры.

Линейная усадка определяется выражением:

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{\ell_{\text{ф}} - \ell_0}{\ell_{\text{ф}}} \cdot 100, \%$$

где $\ell_{\text{ф}}$, ℓ_0 – длина формы и отливки.

Аналогично оценивается и объемная усадка. Усадка вызывает затруднения в производстве отливок. При затормаживании усадки (стержнями, выступами формы) в отливке возникают напряжения. Возможны коробления образование трещин.

Ликвация – химическая и структурная неоднородность сплава в различных частях отливки.

Дендритная ликвация – различия химического состава в объеме зерна: оси первого порядка образуют тугоплавкие компоненты, последующие оси кристаллизуются из жидкости иного состава, междендритные пространства имеют максимум примесей и состоят из легкоплавких компонентов сплава.

Зональная ликвация наблюдается в объеме отливки. По мере кристаллизации от стенок к центру и вверх жидкий расплав будет все более насыщаться примесями.

Газонасыщение – склонность к поглощению газов.

Газы из атмосферы; газы, возникающие при взаимодействии расплава с материалом литейной формы. Ответственные отливки получают литьем в вакууме, в среде инертных газов.

Отбел – склонность чугуна к выделению структурно свободных карбидов сверх необходимого для образования перлитной структуры.

Температура плавления.

Условно выделяют две группы металлов и сплавов: легкоплавкие - температура плавления до 1600 °С; тугоплавкие – выше 1600 °С.

2. Проектирование литниковой системы.

Правильная «конструкция» литниковой системы должна обеспечивать:

- непрерывное, спокойное и плавное заполнение формы расплавом;
- отделение шлака и других неметаллических включений;
- направленное затвердевание отливки;
- удобство формовки;
- легкое отделение от отливки.

В зависимости от условий (размеры, формы, отливки и др.) применяют различного вида литниковые системы (рис. 67).

Верхняя литниковая система наиболее проста. Ее применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струей сплава, разбрызгивание окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в теле отливки.

Нижняя (или сифонную) литниковую систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом. Вместе с тем эта система более сложна.

Ярусная литниковая система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх, и ее применяют для крупных отливок, недостатки ярусной литниковой системы – ложность в изготовлении и значительный расход расплава. Ее разновидность – вертикально-щелевая системы – предназначена главным образом для цветных сплавов.

Проектирование литниковой системы заключается в расчете площадей поперечного сечения ее элементов. Сначала рассчитывают площадь сечения питателя. В частности, по зависимости

$$F_{\text{п}} = C\sqrt{M_0},$$

где C – коэффициент, $C = 0,5 - 0,8$; M_0 – масса отливки.

Затем находят площади сечения шлакоуловителя $F_{ш}$ и стояка $F_{ст}$ (в нижней части), руководствуясь данными таблицы 14 (стр. 34). Размеры соответствующих элементов системы определяют по таблицам. Сечение выпора можно принять $(0,6 - 0,85)F_{ст}$.

Объем литниковой чаши определяют из 2 – 6 – кратного расхода металла за секунду. При этом масса металла – сумма масс отливки и литниковой системы:

$$M = M_0 + M_{лс}, \text{ кг.}$$

$$\text{Время заливки } \tau = \sqrt{1,24 \cdot M}, \text{ с}$$

Размеры литниковой чаши можно принять по рисунку...

Для заливки мелких форм в уплотненной смеси вырезают не чашу, а воронку.

При литье средних, крупных и тяжелых чугунных отливок в литниковой чаше выполняют перегородки, нижней и боковой уступы для торможения струи расплава.

Иногда в стыке чаши со стояком устанавливают фильтр (из стекла, ткани, керамический и другие).

3. Специальные способы литья

К специальным относят способы, отличающиеся от технологии литья в разовые пес-чано-глинистые формы.

3.1. Литье в кокиль.

Кокиль - металлическая форма для получения отливок путем свободного залива расплава.

По сравнению с традиционным способом формовочные материалы и формовки не требуются; производительность труда повышается в 3-4 раза; отливка имеет чистую поверхность и точные размеры, структура мелкозернистая благодаря интенсивному теплоотводу.

Материал кокилей:

мелких и средних - чугуны от СЧ 15 до СЧ 30;

крупных - стали 15Л, 15ХМЛ;

водоохлаждаемых - алюминий и медь.

Конструкция кокилей: неразъемные (вытряхные) - на рисунке; с вертикальной, горизонтальной или сложной поверхностью разъема.

3.2. Литье под давлением.

Для металлов с пониженной жидкотекучестью, (например, для стали) расплав под давлением сжатого воздуха или поршня заполняет стальную пресс-форму, быстро затвердевает, форма раскрывается и отливка выталкивается.

Литьем под давлением изготавливают отливки массой до 50 кг преимущественно из цветных металлов и сплавов.

Поршневые машины:

- с горячей камерой прессования, находящейся в расплаве;

- с холодной камерой, в которую расплав заливают ковшом, а затем поршнем - в форму.

3.3. Литье в оболочковые формы.

Способ основан на способности синтетических смол необратимо затвердевать при нагреве.

Состав смеси: мелкозернистый кварцевый песок, порошкообразный пульвербакелит (смола) - 6-7%. Оболочковая (корковая) форма изготавливается следующим образом:

- нагревают под модельную плиту с половинками модели до 200- 250 °С;

- покрывают модель разделительным составом (силиконовая жидкость и др.) и засыпают смесью. Смесь прогревается за 20 - 30 с на глубину 8-15 мм, смола расплавляется и образуются полутвердые оболочки;

помещают плиту с оболочками в печь для окончательного затвердевания смолы при температуре 300 - 350 °С за 1 - 2 мин;

- снимают оболочки и склеивают (соединяют скобами);

- форму устанавливают в контейнер или укладывают на песок и заливают расплав.

Получаемые отливки имеют средние значения чистоты поверхности и точности размеров.

Масса их ограничивается 100 - 200 кг, так как смола быстро выгорает и оболочка ослабляется.

3.4. Литье по выплавляемым моделям (в керамические формы).

Этот способ применяют с древних времен для получения скульптур и украшений, а с 40-х годов XX века в промышленности. Сущность:

- в пресс-форме изготавливают МОДЕЛЬ из легкоплавкого материала (стеарин, парафин);
- оболочковую форму толщиной до 8 мм получают многократным (3 – 8 раз) погружением модели в жидкую огнеупорную суспензию с последующим покрытием (посыпанием) слоя песка и сушкой;
- выплавляют модель из формы горячим (150°C) воздухом, водой, паром (газифицируемые и легкорастворимые составы не удаляют, они газифицируются при заливке расплава);
- оболочковую форму прокаливают в печи при температуре $900 - 1000^{\circ}\text{C}$ и она превращается в керамическую;
- форму для крупных отливок помещают в опоку и засыпают песком;
- заливают металл;
- выбивают отливку на вибрационных решетках, при этом оболочка легко отслаивается и разрушается.

Получают очень мелкие (до 30 кг, иногда больше) отливки высокой чистоты поверхности и точных размеров.

3.5. Центробежное литье.

Центробежное литье – технологический процесс, заключающийся в подаче расплава во вращающуюся цилиндрическую изложницу с горизонтальной или вертикальной осью вращения, при этом формирование отливки, кристаллизация и охлаждение металла происходит в поле центробежных сил.

Получают отливки из чугуна, стали, различных сплавов: втулки, кольца трубы, гильзы двигателей внутреннего сгорания. Чистота поверхности и точность размеров имеют промежуточные значения между показателями литья «в землю» и в кокиль.

Центробежным литьем получают также биметаллические изделия из композиций: сталь – бронза, чугун – бронза, сталь – чугун и др.

Преимущества центробежного литья:

- высокая производительность;
- возможность автоматизации;
- экономное расходование сырья (90 – 95%);
- высокая плотность и мелкозернистость структуры.

Недостатки центробежного литья:

- склонность расплава к расслоению;
- наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренней поверхности отливки;
- возможность появления трещин и газовых пузырей.

В промышленности находят применение и другие способы литья: непрерывное, полунепрерывное, намораживанием и др.

Лекция 12 (2 часа)

Тема: Теоретические основы обработки металлов давлением

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Основы теории пластической деформации
2. Схемы напряженного состояния металла.
3. Способы обработки металлов давлением.
4. Нагрев металла и нагревательные устройства.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Общие сведения.

Обработка металлов давлением (ОМД) – технологические процессы получения изделий за счет пластического деформирования заготовки или ее отдельных частей.

Достоинства ОМД:

- экономное использование металла;
- высокая производительность труда;
- повышение физико-механических свойств материала за счет улучшения его структуры.

Возможность изготовления деталей размером от мм до нескольких метров. Давлением обрабатывают тугоплавкие материалы (до 90% выплавленной стали), а также цветные металлы и сплавы.

Изделия: крышки, картеры, кузова легковых автомобилей, кабины, лонжероны, трубки, шатуны и клапаны ДВС, а также прокат, проволока, метизы и др.

Виды ОМД: прокатка, волочение, прессование, ковка, штамповка.

2. Основы теории пластической деформации.

Обработка металлов давлением возможна благодаря *пластичности металлов* способности их изменять размеры и форму под действием внешних сил без разрушения целостности материала.

Внешнее воздействие приводит к отклонению атомов от равновесного положения, что вызывает появление внутренних сил (напряжений), определяющих сопротивление металла его деформированию.

Металл, находящийся в напряженном состоянии, испытывает нормальные и касательные напряжения (рис. 68).

В различных плоскостях нормальные напряжения:

$$\sigma_1 = P/F_1 = \sigma_{\max}, \tau = 0.$$

$$\sigma_\alpha = P/F_\alpha, \text{ при } \alpha = 45^\circ, \tau_{\max} = \sigma_1/2.$$

Нормальные напряжения вызывают упругую деформацию тела и при больших значениях приводят к разрушению тела путем отрыва.

Касательные напряжения вначале вызывают упругую, затем пластическую деформацию, а также разрушение образца срезом.

При ОМД основной вид деформации тел – пластическая деформация.

Основной механизм пластической деформации – скольжение групп атомов в зернах, причем характер скольжения – дислокационное скольжение.

Пластичность непостоянна. Она зависит от:

- химического состава металла или сплава,
- структуры,
- температуры,
- степени и скорости деформации,
- схемы напряженного состояния.

Основные законы пластической деформации:

Закон постоянства объема:

Объем тела до (V_0) и после (V_1) пластической деформации принимается неизменным: $V_0 = V_1 = \text{Const}$.

Закон позволяет определить размеры заготовок, размеры и форму тла при ОМД.

Закон наименьшего сопротивления.

Изменение формы тела может происходить в направлении трех главных осей, а каждая точка стремится переместиться в направлении наименьшего сопротивления ее перемещению.

Правило наименьшего периметра при осаживании.

При осаживании образца любого поперечного сечения он получает в сечении круг (рис. 69). Это правило иллюстрирует закон наименьшего сопротивления.

3. Схемы напряженного состояния металла.

В каждой точке напряженного тела действуют нормальное и касательное напряжения. В большинстве случаев материал подвержен растяжению или сжатию по двум или трем направлениям, т.е. находится в *сложном напряженном состоянии*.

В теории упругости показано, что в каждой точке напряженного тела можно выделить элементарный кубик, гранями которого служат *главные площадки* – площадки, по которым касательные напряжения не действуют ($\tau = 0$), а действуют только нормальные главные напряжения σ .

Если растягивать образец, то одна главная площадка элементарного кубика будет перпендикулярна к оси образца, а две другие параллельны. В этом случае из трех главных напряжений только одно не равно нулю и направлено параллельно растягивающей силе P . Такое напряженное состояние называется *линейным* (обозначается буквой Л – рис. 70).

Если напряжения действуют по двум главным площадкам – материал испытывает *плоское напряженное состояние* (буква П).

Если все три главных напряжения не равны нулю, то имеет место *объемное напряженное состояние* (буква О).

Схема всестороннего неравномерного сжатия O_1 характеризует прессование, ковку, прокатку. Волочение и листовая штамповка характеризуются схемой O_2 – двустороннего сжатия с односторонним растяжением.

Характер деформирования металла описывают схемы главных деформаций (рис. 71).

Схема главной деформации с одной деформацией растяжения и двумя деформациями сжатиями (D_1) характерна для прессования и волочения. Схема с двумя деформациями растяжениями (D_2) – для прокатки,ковки, при листовой штамповке.

Схемы главных деформаций дают представление о характере формирования волокна и ориентации зерен в процессе ОМД. В реальных процессах возможен переход от одной схемы к другой. Так как схем напряженного состояния 9, а схем деформаций 3, то одна и та же схема деформации может быть осуществлена при различных схемах напряженного состояния.

Влияние различных схем напряженного состояния при одной и той же схеме деформации раскрывает эксперимент Губкина С.И.

Медный образец диаметром 10 мм помещают в матрицу (рис. 72) и подвергают волочению через отверстие диаметром 8 мм при $P = 10,2$ кН. Прессование потребовало усилие $P = 35,3$ кН. Схема главной деформации одна D_1 – две деформации сжатия и одна растяжения, но для волочения схема напряженного состояния O_2 , а для прессования O_1 .

Таким образом, для практики важно выбирать соответствующий метод обработки металла давлением.

Для теории: пластичность металла – не свойство его, а состояние, определяемое рядом факторов и в том числе способом деформирования.

4. Нагрев металла.

Перед обработкой давлением заготовки из металла с низкой пластичностью нагревают. Обработку ведут в интервале температур:

T_n – начала обработки, T_k – конца обработки.

Температурный интервал для стали выбирают по диаграмме состояния в зависимости от $T_{пл}$ и $T_{рекр}$. Для углеродистых сталей $T_n < T_{пл}$ на $100 - 200$ °С, или $T_n = (0,85 - 0,95)T_{пл}$; $T_k > T_p$ на $50 - 100$ °С, или $T_k \approx 0,7T_{пл}$.

При прокатке углеродистых сталей $\Delta T = T_n - T_k = 250 - 300$ °С, при прокатке легированных сталей $\Delta T = 150 - 200$ °С.

Общие требования при нагреве заготовок:

- равномерное распределение температуры по сечению и длине;
- минимальное обезуглероживание;
- минимальное образование окалины.

Холодные заготовки нагреваются неравномерно: сначала нагреваются наружные слои, они расширяются, а внутренние тормозят этот процесс; появляются напряжения: в

наружных слоях – напряжения сжатия, во внутренних – напряжения растяжения. Могут образоваться трещины.

Поэтому крупные холодные слитки нагревают до температуры 700 – 800 °С медленно. При этом в наружных слоях происходят $\alpha - \gamma$ превращения. Дается выдержка для обеспечения протекания этого процесса по всему сечению. Затем, при повышенной пластичности металла, нагрев ведут с максимально высокой скоростью.

Легированные стали имеют пониженную теплопроводность; в литом состоянии ниже, чем в деформированном. Теплоемкость их выше – нагрев медленней.

Нагревательные устройства.

Горны – небольшие нагреватели, работающие на твердом топливе. Используются при ручной ковке мелких заготовок.

Пламенные печи работают на газе и мазуте.

Электрические печи.

По назначению: печи прокатного производства, кузнечные.

По принципу действия: камерные и методические (см. прил., рис.П2).

Камерные печи имеют одинаковую температуру по всему рабочему пространству, методические – несколько зон с температурой, повышающейся от окна загрузки к окну выгрузки. В таких печах (длиной от 8 до 20 м) поток горячих газов движется навстречу потоку заготовок, которые прогреваются постепенно и равномерно.

В обычных пламенных печах атмосфера окислительная из-за избытка воздуха – много окалины. При нагреве углеродистой стали слой окалины может достигать 1 – 2% от массы заготовки, а толщина обезуглероженного слоя – 1,5 - 2,0 мм. При неполном сжигании топлива, когда расход воздуха снижается до 50% от расчетной потребности, и подогреве воздуха до 800 – 1000 °С – протекает безокислительный процесс. При этом в атмосфере печи появляются газы – восстановители: СО и Н₂. Практикуется нагрев в нейтральной атмосфере.

Электрические печи и установки.

Электрические печи сопротивления со спиралями из нихромовой ленты обеспечивают температуру до 1000 °С. Применяются для нагрева небольших заготовок из черных и цветных металлов.

В электронагревательных устройствах теплота выделяется непосредственно в заготовке. Установки индукционного нагрева имеют индуктор (из витков медной трубки) и генератор повышенной или промышленной частоты. Разогрев заготовки вихревыми токами. При 50 Гц глубина прогрева может составлять до 1/3 толщины заготовки; выше частота – тоньше слой.

Установки для контактного нагрева сопротивлением – для нагрева длинных заготовок постоянного сечения $d = 15 - 75$ мм.

Скорость нагрева в электронагревательных устройствах в 8 – 10 раз выше, а угар металла в 4 – 5 раз меньше, чем при печном нагреве. Отсутствие окалины на заготовке уменьшает износ инструмента (штампов, например), повышает качество поковок (чистота поверхности, точность размеров). Отсутствие печных газов и излучения улучшает санитарно-гигиенические условия труда.

Лекция 13(2 часа)

Тема:Производственные процессы ОМД

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Прокатное производство
2. Волочение металла
3. Прессование металла
4. Ковка.
5. Горячая объемная штамповка.
6. Холодная штамповка.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Основы прокатного производства.

1.1. Сущность процесса прокатки.

Прокатка - процесс, при котором слиток или заготовка захватывается вращающимися валками и обжимается ими до меньшего сечения.

Процесс захвата обеспечивается трением, возникающим по контактным поверхностям валков с заготовкой. При этом (рис.73) со стороны каждого валка на металл действуют две силы нормальная N и тангенциальная (сила трения) T , горизонтальная составляющая которой T_x втягивает заготовку в зазор.

Из механики известно, что сила трения $T = N \cdot f$, где f – коэффициент трения.

Для осуществления процесса прокатки необходимо определенное соотношение этих сил. Спроектировав силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками:

$$2T_x > 2N_x,$$

$$T \cdot \cos\alpha > N \cdot \sin\alpha,$$

$$N \cdot f \cdot \cos\alpha > N \cdot \sin\alpha,$$

$$f > \operatorname{tg}\alpha,$$

где α – угол захвата заготовки.

Таким образом, для осуществления захвата заготовки валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и металлом заготовки был больше тангенса угла захвата. $\alpha_{\max} = 24 - 30^\circ$ для блюмов и крупных заготовок, $\alpha = 2 - 10^\circ$ при холодной прокатке листов.

Процесс деформирования металла характеризуется *зоной деформации* (заштрихованная площадь ААВВА, умноженная на ширину захвата b), *степенью деформации* и другими показателями.

Для оценки степени деформации металла используют абсолютное (Δh) или относительное ($\epsilon = \Delta h/h_0$) обжатие, а также следующие показатели:

$$\text{Коэффициент обжатия } \gamma = \frac{h_1}{h_0} < 1,$$

$$\text{Коэффициент уширения } \beta = \frac{b_1}{b_0} \geq 1,$$

$$\text{Вытяжка } \lambda = \frac{\ell_1}{\ell_0} = \frac{F_0}{F_1}. \text{ Обычно при прокатке вытяжка за проход } \lambda = 1,1 - 1,6, \lambda_{\max} = 3.$$

При прокатке наблюдается всестороннее неравномерное сжатие - схемы главных напряжений O_1 . Схемы главных деформаций:

D_2 – с двумя деформациями растяжения – типичная схема;

D_1 – с одной деформацией растяжения – когда не меняется ширина заготовки;

D_3 – при прокатке широких полос.

1.2. Продукция прокатного производства.

Прокат – готовые изделия или заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, резанием и т.д.

Сортамент стального проката – совокупность профилей проката (поперечных сечений) и их размеров.

◇ Листовая сталь:

- толстолистовая (h от 4 до 160 мм),

- тонколистовая (h до 4 мм)

По назначению: автотракторная, трансформаторная, кровельное железо, жесть и др.

◇ Сортная сталь:

- простой геометрической формы (шестигранник, круг, овал, квадрат, треугольник),

- фасонный прокат (уголок, швеллер, двутавр, рельс и др.);

◇ Трубы:

- бесшовные ($D = 30 - 650$ мм),
- сварные ($D = 5 - 2500$ мм, стенка $0,5 - 16$ мм).

◇ Специальные виды проката: кольца, вагонные колеса, шары, периодические профили.

1.3. Оборудование прокатного производства.

Основа оборудования – прокатные станы. На схеме (рис. 74, д) показаны рабочая клеть с валками 1, шпиндели 2, шестеренная клеть 3, муфта 4 и электродвигатель 5.

Классификация станов: по числу валков, по назначению, (для получения полупродукта, готовой продукции, станы специального назначения).

Полупродукт получают из слитков на мощных обжимных станах:

блумы – заготовки квадратного сечения (стороны квадрата $150 - 450$ мм);

слябы – заготовки прямоугольного сечения высотой $75 - 600$ мм и шириной от $400 - 2500$ мм. Из них получают листовой прокат.

Валки для прокатки листов имеют гладкую цилиндрическую поверхность. Для производства сложных профилей применяют калиброванные или сортовые валки.

Калибр – это просвет, образованный углублениями обоих валков совместно с зазором. Калибр называется закрытым, когда линия разъема валков находится вне пределов калибра.

При прокатке фасонных изделий заготовка проходит ряд калибров, постепенно приближающих ее сечение к заданному.

1.4. виды прокатки.

◇ *Продольная* – заготовка перемещается перпендикулярно к осям валков, которые вращаются в противоположных направлениях. Это основной вид прокатки.

◇ *Поперечная* – валки с параллельными осями вращаются в одном направлении. Заготовка вращается и перемещается вдоль оси валков. Радиус заготовки за пол-оборота ее уменьшается на Δr , возникающие при этом напряжения в наружных слоях направлены тангенциально, а в середине заготовки – радиально. Это может вызвать появление отверстия. Так получают зубчатые колеса, звездочки.

◇ *Поперечно-винтовая (косая)* – валки вращаются в одном направлении, а оси их расположены под некоторым углом. Металл в центре заготовки разрыхляется, что обеспечивает получение бесшовных труб. Оправка, установленная в зоне образования отверстия, выравнивает поверхность и придает отверстию правильную форму.

2. Волочение, прессование, ковка и штамповка.

2.1. *Волочение* металла – процесс протягивания прокатанных или прессованных заготовок через отверстие в волоке.

При этом поперечное сечение заготовки уменьшается, длина увеличивается. Заготовка не нагревается, поэтому вытяжка за проход составляет $\lambda = 1,25 - 1,45$.

Продукция из стали и цветных металлов:

- проволока диаметром от $0,002$ до 10 мм,
- профили: круг, овал, сегмент и др.,
- калиброванные прутки диаметром от 3 до 150 мм,
- холоднотянутые трубы диаметром до 200 мм длиной до 8 м.

Инструмент для волочения – волока:

с одним глазком – фильера, с несколькими – волочильная доска.

Материал для волок: инструментальные стали, твердые сплавы, технические алмазы.

Конструкция волок: цельные, составные, роликовые.

При волочении материал испытывает двустороннее сжатие с односторонним растяжением (схема O_2) и деформируется по схеме D_1 – с одной деформацией растяжения.

Оборудование – волочильные станы: цепной, гидравлический, барабанный.

2.2. Прессование металла.

Прессование – процесс выдавливания металла из замкнутой полости, контейнера через отверстие. Прессованием получают: фасонные профили, прутки, трубы.

Заготовки – литые или прокатанные, нагретые или холодные. Металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию (схема O_1) и потому получает высокую пластичность. Коэффициент вытяжки $\lambda = F_0/F_1 = 8 - 50$. Возможно использование труднодеформируемых сталей и сплавов на гидравлических прессах с усилием до 250 МН (25000 т).

Инструмент для прессования изготавливают из высококачественных инструментальных сталей жаропрочных сплавов: 4ХН4В, 5ХНМ, 38ХМЮА и др.

Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных. Недостатки: неравномерность механических свойств изделий по сечению и длине, значительные потери на отходы.

2.3. Ковка.

Ковка – процесс, при котором за счет многократного динамического воздействия на молоте или статического воздействия на прессе из нагретой заготовки получают поковку заданной формы и размеров.

Мелкие поковки массой до 500 кг и средние (50 – 400 кг) в единичном и мелкосерийном производстве экономически выгоднее получать ковкой с применением универсального инструмента. Ковка эффективна в ремонтном производстве и незаменима при изготовлении крупных поковок. Ковкой и штамповкой получают и очень мелкие детали часов, швейных машин.

При ковке металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию (схема O_1) и деформируется с одной деформацией сжатия и двумя деформациями растяжения (схема D_2). Степень деформации (уков или уковка) для прокатанных заготовок $U = 1,1 - 1,5$, для стальных слитков $U = 3 - 5$.

Видыковки: ручная и машинная.

Кузнечный инструмент.

Основные операцииковки: осадка, высадка, протяжка (вытяжка), раскатка колец, протяжка цилиндра на оправке, гибка, скручивание, рубка (отрубка).

Пробивка отверстий с одной стороны за один или несколько ударов в *тонких заготовках* пробойником или прошивном диаметром до 30 мм.

Прошивка – получение полостей в поковках сложной формы и отверстий в толстых заготовках (полым прошивном или сплошным прошивном диаметром до 400 мм).

Оборудование:

Пневматические молоты с массой падающих частей (мощностью N) до 1000 кг для мелких поковок.

Паровоздушные молоты для изготовления поковок средней массы имеют мощность N от 1 до 8 т.

Гидравлические ковочные прессы дляковки слитков массой до 500 т работают с усилием до 200 МН.

2.4. Штамповка.

2.4.1. Горячая объемная штамповка

Штамп – рабочий инструмент, состоящий обычно из двух частей, образующих в собранном виде полость – ручей (рис. 76).

Заготовка для объемно штамповки имеет соизмеримые размеры (лист имеет один размер резко отличающийся).

Объемная штамповка характеризуется теми же схемами напряженного состояния и главных деформаций, что и ковка – O_1 и D_2 . Рабочее усилие значительно больше, чем при ковке, производительность выше в 50 – 100 раз.

Кроме того, штамповка обеспечивает высокое качество поверхности, большую однородность металла, но необходим дорогой специальный штамп.

2.4.2. Холодная штамповка

Холодная объемная штамповка.

Виды: выдавливание, высадка, формовка.

Выдавливание – процесс, схожий с прессованием, но заготовка – прокат, а не слиток и получают детали или полуфабрикат, а не профили как при прессовании.

Холодная формовка применяется для изготовления сложных по форме небольших деталей высотой до 25 мм с площадью до 5000 мм².

Холодная листовая штамповка.

Такой обработкой получают из листа, полосы или ленты изделия в автомобильной, часовой промышленности и т.п.

Материалы: Низкоуглеродистая сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, алюминий его сплавы, магниевые сплавы, титан, кожа, оргстекло, текстолит и др.

Толщина стенок изделия приблизительно такая же как и у заготовки. Материал испытывает два сжимающих и одно напряжение растяжения (схема О₂), а деформируется по двухосной схеме D₃.

Лекция 14 (2 часа)

Тема: Теоретические основы сварки металлов

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Сварка как процесс. Классификация видов сварки.
2. Сварочная дуга и ее характеристики.
3. Перенос электродного металла к изделию.
4. Сварочная ванна.
5. Кристаллизация и формирование металла шва

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Общие сведения о сварке. Виды сварки металлов

Сваркой называют технологический процесс получения неразъемного соединения за счет обеспечения атомно-молекулярных связей на кромках соединяемых элементов.

Различают два принципиально разных способа сварки: за счет плавления кромок и за счет пластичного деформирования (давления) с нагревом или без него (холодная сварка пластичных металлов)

Термодинамика описывает сварку как процесс получения монолитного соединения заготовок за счет термодинамически необратимого превращения энергии и вещества в стыке (Рис. 46) .

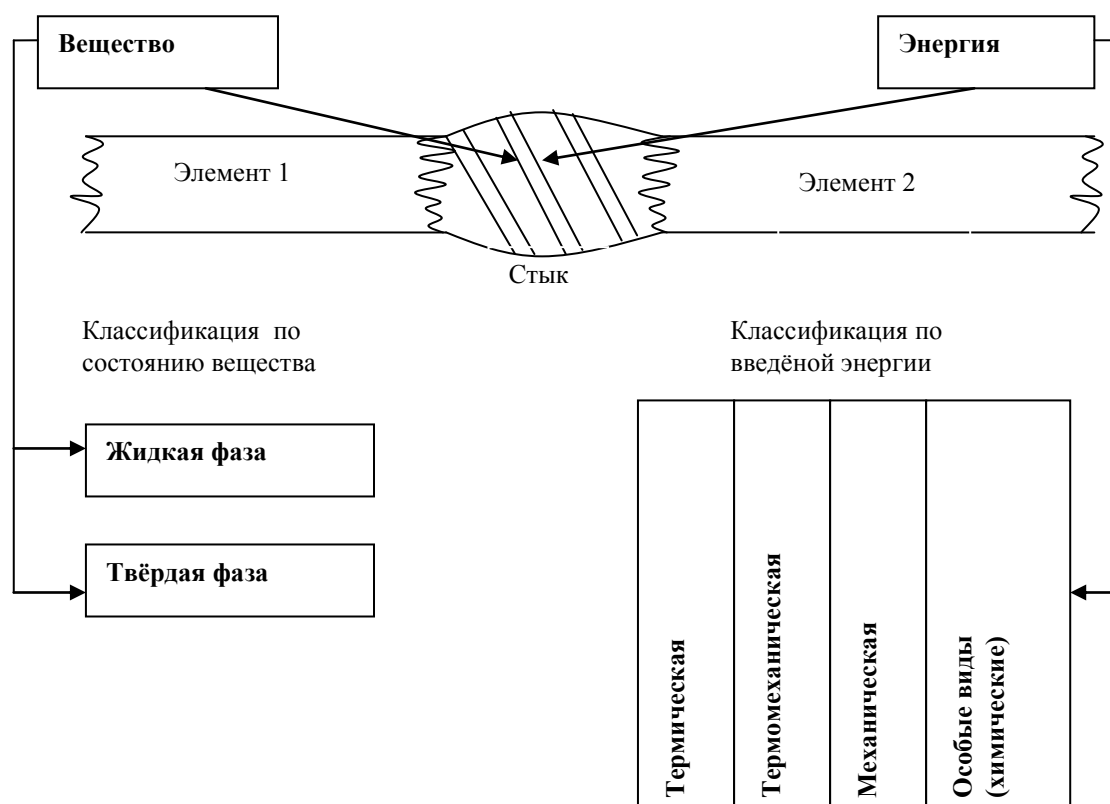


Рис.46. Схема к термодинамическому определению процессов сварки

Монолитность сварных соединений достигается обеспечением физико-химических и атомно-молекулярных связей между элементарными частицами соединенных тел. При этом вначале происходит физический контакт - сближение веществ, затем химическое взаимодействие и последняя стадия - диффузионные процессы.

До сварки на свободных поверхностях соединяемых элементов атомы не уравновешены (в отличие от подповерхностных атомов). Поэтому потенциальная энергия поверхностных слоев повышена, что принципиально способствует получению соединения. Однако получение соединения на практике осложняют два фактора:

- неровности поверхностей, ведущие к точечному контактированию их;
- загрязнения на поверхностях из-за адсорбирования атомов внешней среды (в первую очередь газовых молекул).

В связи с этим для активации поверхностей необходим подвод энергии, которая может сблизить атомы соединяемых элементов на расстояния, близкие к межатомным.

Можно ли сварить два элемента без введения в стык вещества?

Да, можно за счет, например, оплавления соединяемых кромок.

Можно ли соединить эти элементы без введения энергии?

Можно но, это будет не сварка, а склеивание, пайка, цементирование или другие процессы преобразования введенного вещества.

Область применения сварки чрезвычайно широка. Сваривают однородные и разнородные металлы и сплавы, металлы с неметаллами (керамикой, стеклом, графитом...), пластмассы, смолы и так далее.

Сварка широко применяется в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве — везде, где получают металлические изделия (от мелких до гигантских сварных конструкций), а также при ремонте, исправлении дефектов литья и т.д. Сварка осуществляется и под водой, и в космосе.

Сварка - высокопроизводительный, экономичный, в значительной степени механизированный и потому перспективный технологический процесс.

Наиболее распространена электродуговая сварка. Мысль о возможности применения “электрических искр” для плавления металлов впервые высказал соратник Ломоносова М.В. академик Рихман Г.Р. в 1753 году. Явление электрической дуги открыл профессор В.В. Петров в 1802 году, используя построенный им мощный (из 2100 парных пластин Cu и Zn) «столб Вольта». Александр Вольта и другие исследователи работали со «столбами» из десятков – полутора сотен элементов. Только в 1877 году профессор Э. Томсон (США) запатентовал способ стыковой сварки сопротивлением. Дуговая сварка разработана нашим соотечественниками:

- в 1882 году Н.Н. Бенардос предложил “электрогефест” – сварку и резку металлов угольным электродом;

- в 1888г. выдающийся русский инженер Николай Гаврилович Славянов разработал сварку металлическим электродом, применил флюс, электрический генератор.

В дальнейшем процесс и оборудование совершенствовались нашими и зарубежными учеными и инженерами. Огромный вклад внесли институт электрической сварки имени Патона Е.О., МВТУ имени Баумана и другие. В 1932 году в Ленинграде был построен самый мощный в Европе завод электросварочного оборудования “Металлист”.

Классификация видов сварки осуществляется по следующим признакам.

1. Физические: форма вводимой энергии,
наличие давления,
вид энергетического инструмента.
2. Технические: способ защиты металла в зоне сварки,
степень механизации,
непрерывность процесса.
3. Технологические: род тока,
полярность,
род горючего газа.

8.2. СВАРОЧНАЯ ДУГА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

8.2.1. ДУГА КАК ЯВЛЕНИЕ

СВАРОЧНАЯ ДУГА - МОЩНЫЙ УСТОЙЧИВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ В СРЕДЕ ИОНИЗИРОВАННЫХ ГАЗОВ И ПАРОВ.

СВАРОЧНАЯ ДУГА (ДУГОВОЙ РАЗРЯД) – ОДИН ИЗ ВИДОВ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ:

ТЕМНЫЙ РАЗРЯД - НАИМЕНЕЕ РАЗВИТАЯ СТАДИЯ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ В СОСУДАХ С НИЗКО ИОНИЗИРОВАННЫМ ГАЗОМ ПРИ МАЛЫХ ТОКАХ;

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД - УСТОЙЧИВЫЙ ПРИ ПОНИЖЕННОМ (НО БОЛЕЕ ВЫСОКОМ) ДАВЛЕНИИ ГАЗА В НЕСКОЛЬКО МИЛЛИМЕТРОВ РТУТНОГО СТОЛБА И ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА (0,1-1,0) А/СМ.КВ. ПРИ $U=200-300В$. ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В ЛАМПАХ ДНЕВНОГО СВЕТА И ГАЗОСВЕТНЫХ ТРУБКАХ;

КОРОННЫЙ РАЗРЯД - ВОЗНИКАЕТ В ОЧЕНЬ НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ - НА ПРОВОДАХ ЛЭП.

ИСКРОВОЙ РАЗРЯД - НЕСТАЦИОНАРНЫЙ, СОПРОВОЖДАЕТСЯ “ТРЕСКОМ”.

8.2.2. Зажигание дуги

Дуга возбуждается после кратковременного касания электродов (электродом изделия). При этом дуговой промежуток становится электропроводящим.

До соприкосновения электродов воздушный промежуток не проводит ток и для его пробоя необходимо напряжение в несколько тысяч вольт, тогда как для поддержания горячей дуги нужно несколько десятков вольт.

Соприкосновение электродов происходит по микронеровностям, которые мгновенно нагреваются электрическим током и испаряются. Испаряется и покрытие электрода и возникает термоэлектронная эмиссия-испускание электронов нагретым металлом. Последующий отрыв электродов на расстояние 2-5 мм, приводит к появлению электрического поля, под действием которого с катода дополнительно вырываются электроны - возникает автоэлектронная эмиссия.

Сталкиваясь с молекулой и атомом газа и испарившегося материала, электроны превращают их в положительные и отрицательные ионы, последние при их движении усиливают ионизацию дугового пространства, в котором образуется токопроводящий канал. Через него потечет ток, т. е. загорится дуга. При достаточной ионизации электрический разряд будет устойчивым.

Если дуга горит между электродом и изделием, её называют дугой прямого действия (рис.47 а, б). Если через изделие ток не проходит, - дуга

косвенного действия (рис.47 в)

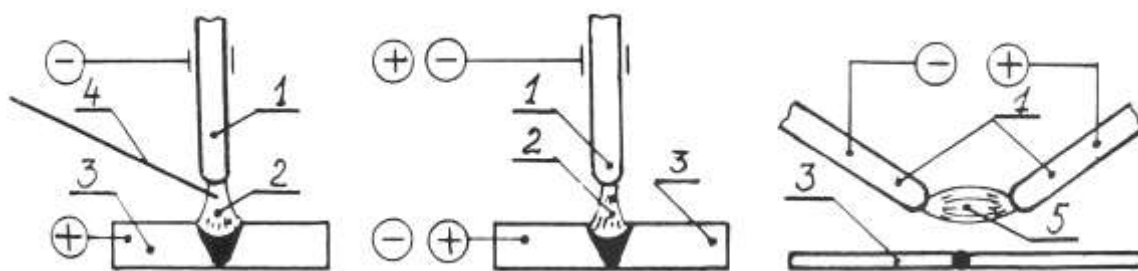


Рис. 47. Виды сварочной дуги :

а-сварка не плавящимся электродом на прямой полярности;

б-сварка плавящимся электродом;

в-сварка дугой(5), косвенного действия;

8.2.3. Строение дуги.

Дуга представляет собой ярко светящийся плазменный шнур. Он при горизонтальном положении электродов под действием потока нагреваемого газа принимает форму дуги - отсюда названия: объект-дуга, процесс дуговой.

Светящийся электропроводящий канал называется столбом дуги. Участки дуги у электродов, в которых температура снижается до температуры металла - приэлектродные области. Их протяженность составляет тысячные доли миллиметра. В катодной области скапливаются положительно заряженные ионы, а в анодной - электроны и отрицательно заряженные ионы. Ток в дуге обусловлен в основном упорядоченным движением свободных электронов.

Температура плазмы при атмосферном давлении и силе тока в несколько ампер составляет 5000 К. При больших значениях параметров - до 12000 К, а при обдувании мощным потоком газов достигает 50000 К.

При таких температурах молекулы химических соединений диссоциируют, все вещества испаряются. Частицы газа движутся с огромными скоростями, плазменный шнур пронизывают потоки квантов электромагнитного излучения и фотонов. Повышенная температура газа (от 10000 С) приводит к неупругим соударениям частиц, вызывающим термическую ионизацию.

8.2.4. Характеристики дуги

Мощность, выделяющаяся в столбе дуги, Вт. (энергия в 1 с)

$$Q_{ст} = E \cdot \ell_d \cdot J, \quad Q_{ст} = U' \cdot J,$$

где E - напряжённость поля в столбе дуги, В/мм;

ℓ_d - длина дуги, мм;

J, U' - ток и напряжение, в А и В.

Полная тепловая мощность дуги.

$$Q = K \cdot J \cdot U', \text{ Дж/с}$$

где K - коэффициент несинусоидальности напряжения и тока,
для постоянного тока $K = 1$, для переменного $K = 0,70 - 0,97$

Часть полной мощности, расходуемая на нагрев и расплавление металла, называется эффективной

$$q = \eta Q,$$

где η - термический КПД дуги.

Значения КПД η :

электроды с тонким покрытием	- 0,5 - 0,6;
электроды с толстым покрытием	- 0,7 - 0,8;
сварка под флюсом	- 0,8 - 0,9;
электронно-лучевая сварка	- до 0,95;
газовая сварка	- 0,3 - 0,5.

Основные параметры сварочной дуги: J, U', ℓ .

При сварке дугой прямого действия:

$I = 1-3000 \text{ (5000) A}$

$U = 10 - 50 \text{ В}$

диаметр пятна нагрева от 1 мм до нескольких см.

$\ell = 2 - 6 \text{ мм}$ для металлических (15 - 20 для угольных) электродов.

Графическая зависимость напряжения дуги от силы тока при постоянной длине дуги называется статической характеристикой дуги (рис.49).

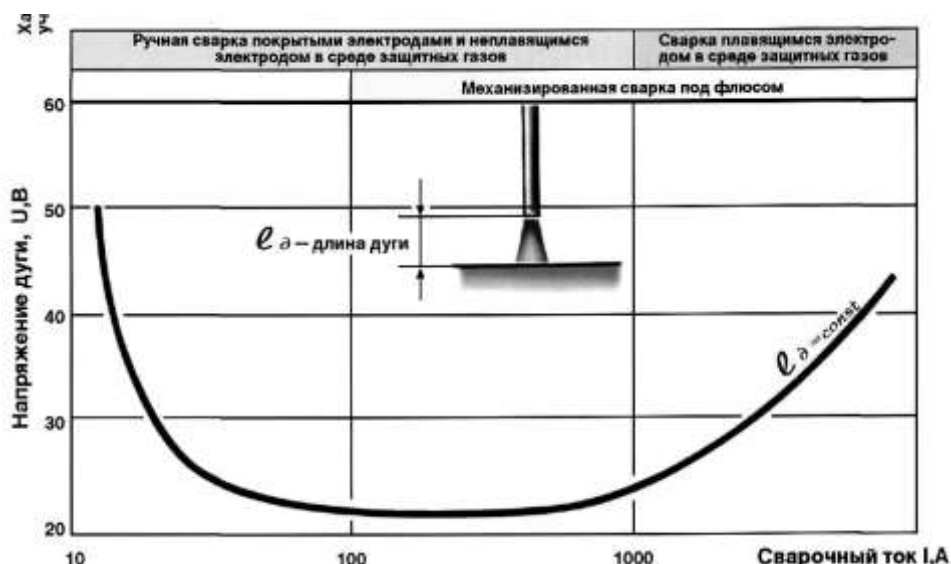


Рис. 49. Статическая характеристика дуги

Характеристика дуги имеет три участка: падающий, жесткий и возрастающий.

На первом участке, когда ток мал, велики перепады температур в электродных областях (и падения напряжения), столб дуги относительно “холодный” и поэтому требуется высокое напряжение. С увеличением тока увеличивается объем разогретого газа и степень ионизации, проводимость дуги возрастает, и напряжение на ней падает.

На втором участке - жесткая характеристика - область средних токов (примерно от 80 А). С увеличением силы тока пропорционально увеличивается сечение столба, площади катодного и анодного пятен. Плотность тока постоянна и постоянно напряжение дуги.

Третий участок - возрастающая характеристика. Область больших токов (приблизительно от 1000 А). Катодное пятно перекрывает весь торец электрода и с ростом тока при постоянной проводимости дуги возрастает плотность тока, что требует увеличения напряжения.

При постоянной силе тока напряжение дуги практически линейно зависит от её длины (ℓ_d)

$$U_d = a + E \cdot \ell_d$$

где a - сумма падений напряжений в анодной и катодной областях, для стальных электродов $a = 8 - 30 \text{ В}$.

E - напряжение столба дуги, $E = 1 - 5 \text{ В/мм}$.

8.2.5. Питание дуги переменным током

Закономерности возникновения и существования дуги переменного тока в основном такие же, как и на постоянном токе. Но при питании током 50 Гц анод и катод 100 раз в секунду меняются местами, и дуга гаснет, столб дуги охлаждается.

Повторное зажигание дуги требует повышение напряжения.

Для повышения устойчивости горения, облегчения зажигания дуги в покрытия электродов обязательно вводят элементы, снижающие потенциал ионизации дугового газа (Na, K).

Благоприятствуют процессу повышение силы и частоты тока, уменьшение длины дуги. Применяют специальные импульсные генераторы; включают последовательно в сварочную цепь трансформатора дроссель (индуктивное сопротивление), обеспечивающий сдвиг по фазе напряжения дуги относительно напряжения источника.

8.3. Плавление и перенос электродного металла

Нагрев электрода теплом электрической дуги (на длине до 5-10 мм от торца) и теплом электросопротивления (по всей длине) приводит к местному плавлению металла и возникновению на торце электрода капли. Перенос ее в ванну зависит от соотношения действующих сил и влияет на процессы взаимодействия металлической, шлаковой и газовой фаз, а также на устойчивость горения дуги. Металл всегда (при любом способе сварки, положении шва и т.д.) переходит с электрода на изделие: через газовую среду в виде капель диаметром от 6-7 до тысячных долей миллиметра, а также в виде паров.

Различают следующие виды переноса: крупно- и мелкокапельный с коротким замыканием дугового промежутка, капельный без короткого замыкания, струйный и в виде паров.

Рассмотрим действующие на металлическую каплю силы.

Сила тяжести при сварки в нижнем положении способствует, в вертикальном и потолочном положениях затрудняет отрыв капли от электрода. Оказывает существенное влияние лишь при малых сварочных токах.

Сила поверхностного натяжения по характеру молекулярная и проявляется при искривленной поверхности жидкости, как давление, направленное к центру кривизны. Причина - стремление системы к минимуму свободной энергии. Поэтому в свободном падении капля принимает форму шара - тела с наименьшей поверхностью.

В процессе формирования капли сила поверхностного натяжения удерживает ее на торце электрода, при замыкании капель дугового промежутка металл ванны втягивает каплю в свой объем.

Поверхностное натяжение железа снижают кислород, сера, иногда - углерод.

Электромагнитная сила. Вокруг проводника с током (столба дуги) образуется магнитное поле и радиально направленные сжимающие силы (пинч-эффект). В проводнике с непостоянным сечением появляется еще и осевая составляющая. Обычно дуга от электрода к изделию расширяется, тогда в том же направлении будет действовать и осевая сила.

Кроме того, у электрода (из-за меньшего сечения) всегда больше плотность тока и напряженность электрического поля. Это так же способствует переносу частиц к изделию. Поэтому говорят об электрической силе давления дуги, создающей поток газа (плазмы), воздействующий на летящие частицы и на ванну.

Реактивное давление паров, возникает в результате испарения материалов в зоне дуги. Оно направленно нормально к поверхности испарения и, вероятно, значительной роли при РДС не играет.

Внутреннее газовое давление в каплях нарастает с повышением температуры на пути от электрода к изделию. Иногда расширяющиеся газы могут разорвать каплю и разбрызгать металл.

Массу (размеры) каплей, переходящих с электрода в ванну, определяет соотношение действующих сил, а частоту перехода - скорость плавления электрода. На рисунке 50 представлен процесс отрыва свободно висящей капли. Примерно так происходит капельный перенос металла при большом дуговом промежутке. В противном случае происходит короткое замыкание: капля растекается по поверхности ванны (рис.51,г), образуется перешеек, его быстро сужающееся сечение перегревается и разрушается (рис.51,д). С увеличением силы тока капли измельчаются, и увеличивается скорость плавления электрода.

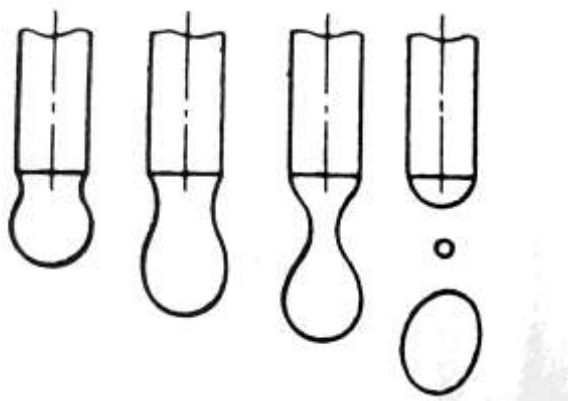


Рис. 50. Схема отрыва свободно висящей капли в поле тяжести

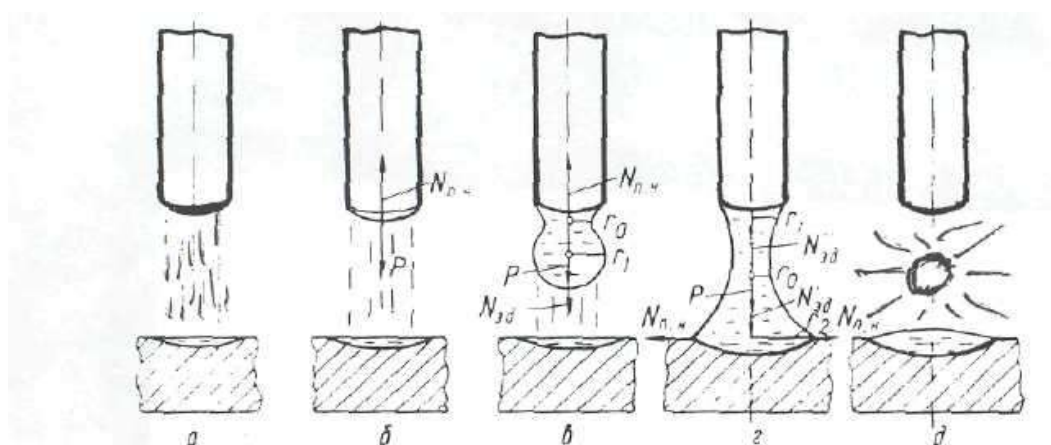


Рис. 51. перенос капли с коротким замыканием

В некотором интервале силы тока происходит резкий переход от крупнокапельного к мелкокапельному переносу. Дальнейший рост тока мало влияет на размер капель. Они летят одна за другой с большой скоростью подобно сплошной струе. Такой перенос называют струйным. Переход от мелкокапельного к струйному происходит скачкообразно (при сварке в аргоне, в углекислом газе проволокой диаметром 1,6 или 1,2 мм. при токе 250-300 А. При этом конец электрода заостряется и опорное пятно дуги охватывает его конусную поверхность (рис. 52)

С увеличением толщины кислого рутилового покрытия электродов повышается содержание кислорода в каплях и это способствует их измельчению.

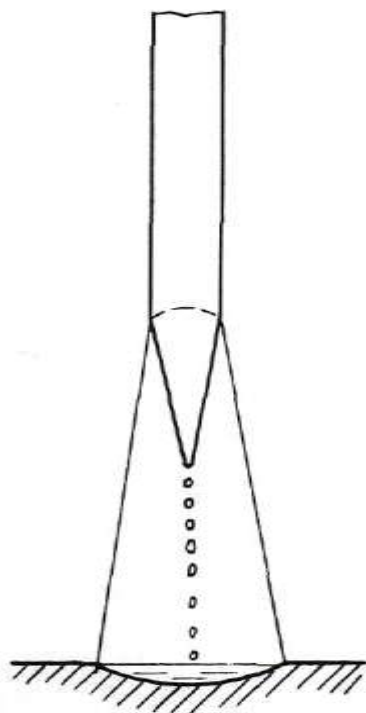


Рис. 52. Струйный перенос металла

У электродов с основным покрытием (мел, мрамор) наблюдается крупнокапельный перенос, так как высоко-поверхностное натяжение раскисленного металла.

Сварочная ванна - расплавленный дугой (источником тепла) и перемешанный жидкий металл изделия и электрода. Ванну образует жидкий металл, ограниченный изотермической поверхностью $T = T_{пл}$.

Образующийся в результате кристаллизации расплавленного металла участок сварного соединения – сварной шов

Основными параметрами ванны являются её геометрические размеры: длина L , ширина e , глубина уровня ванны (кратер) h , масса M , объём v и осреднённая по объёму продолжительность пребывания металла в жидком состоянии. Кроме того, важным показателем является глубина проплавления HI (провар). Для шва: высота H , ширина e , площадь поперечного сечения F .

Соотношение параметров зависит от режима сварки, газовой фазы дуги и состава основного металла, от положения шва в пространстве и других факторов. В зависимости от положения (вида) дуги:

- поверхностная дуга - кратер неглубокий, под ним слой жидкого металла значительный;
- погружённая дуга - кратер глубокий, жидкий металл отеснён к заднему концу ванны, дуга интенсивно оплавляет переднюю кромку ванны и её дно.

В результате перемещения электрической дуги перемещается и ванна - плавятся новые порции основного металла, а позади расплавленный металл затвердевает. Поперечное сечение переплавленного металла условно делят на площадь наплавки F_H и площадь провара основного металла F_0 . Принимая приблизительно равной плотность основного и наплавляемого металла, получаем зависимость для расчёта доли основного металла в шве

$$Q = \frac{F_0}{F_0 + F_H} = \frac{F_0}{F}$$

Очертания зоны проплавления основного металла характеризуют коэффициентом формы проплавления

$$\psi = \frac{e}{H}$$

Изменяя эти показатели, можно существенно менять механические свойства шва.

9.1.2. РАСЧЁТ РАЗМЕРОВ ВАННЫ

РАЗРАБОТАНЫ ПРИБЛИЖЁННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА НЕПРЕРЫВНО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПАРАМЕТРОВ ВАННЫ.

Длину можно вычислять по зависимости

$$L = PJ_{CB}U'_D, \text{ см}$$

где Р -эмпирический коэффициент,

для РДС $P = (1,7-2,3) \cdot 10^{-3} \text{ мм/Вт}$.

При $J_{CB} = 300 \text{ А}$ и $U'_D = 30 \text{ В}$ длина ванны составляет порядка 20 мм.

Можно принять для типичных условий $L = 15-25 \text{ мм}$

Ширина ванны $e \approx (2-4) \cdot d_{\text{э}}$, $e \approx 10 \text{ мм}$.

Глубина проплавления $H' = 2-4 \text{ мм}$

Объём V ванны $\approx 0,2-0,5 \text{ (куб.см)}$

Масса $M \approx 1,5-4,0 \text{ г}$

Среднее время существования $\approx 15 \text{ с}$

Небольшой объём ванны, и интенсивный отвод тепла в металл определяют скорость кристаллизации.

9.1.3. Влияние режима сварки на форму и размеры ванны

Геометрические размеры ванны (и шва), соотношения между ними существенно изменяются в зависимости от:

- свойств источника нагрева,
- сосредоточенности теплоты в пятне нагрева,
- давления на ванну,
- режима процесса сварки и других факторов.

При электродуговой сварке, основные технологические параметры:

I – ток

U – напряжение в дуге

V – скорость сварки

Сила тока дуги (рис.54а) в наибольшей степени определяет тепловую мощность. С увеличением I при $d_{\text{э}} = \text{const}$ возрастает концентрация тепловой энергии, повышается температура плазмы и увеличиваются все размеры ванны: L (в основном за счет роста хвостовой части), e и H' (главным образом из-за повышения давления дуги).

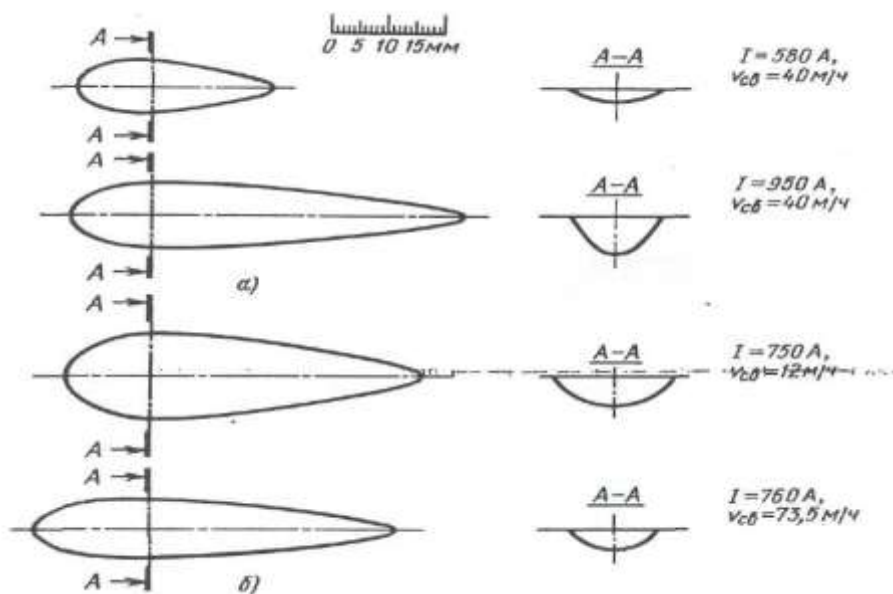


Рис. 54. Влияние силы тока и скорости сварки на размеры ванны

Напряжение дуги увеличивает тепловую мощность и размеры ванны, например, ширину

$$e = \frac{KJU'}{V_{CB}S}$$

С увеличением скорости сварки (рис.54 б), длина ванны изменяется незначительно, но уменьшаются ширина и глубина.

С увеличением погонной энергии (тепловложения на единицу длины) $q_n = q / V$ возрастают размеры ванны и её масса.

При $dn = \text{const}$ с увеличением сосредоточенности источника теплоты возрастает глубина проплавления H и сокращается ширина e .

Полярность тока. Прямая полярность (анод на изделии) – H меньше, e больше, чем при сварке на обратной полярности. Это объясняется формой столба дуги: анодное пятно шире катодного.

Влияние угла наклона электрода в продольной плоскости шва на проплавление показано на рис.55.

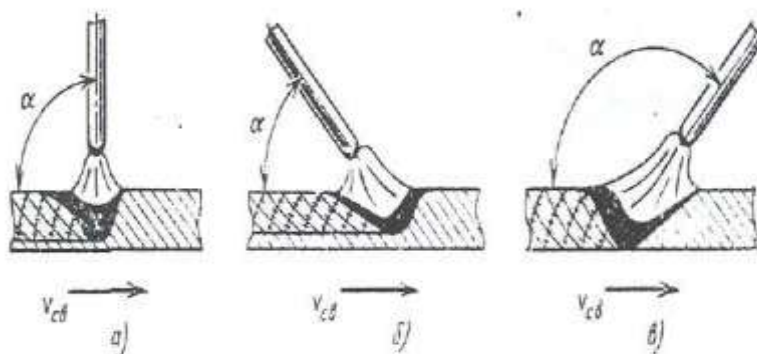


Рис. 55. Влияние наклона электрода на проплавление

Пространственное положение шва. При выполнении вертикального шва на подъем создаются особенно благоприятные условия для глубокого проплавления, благодаря вытеснению расплава давлением дуги и под действием силы тяжести (рис.56а). Ванна удерживается силами поверхностного натяжения.

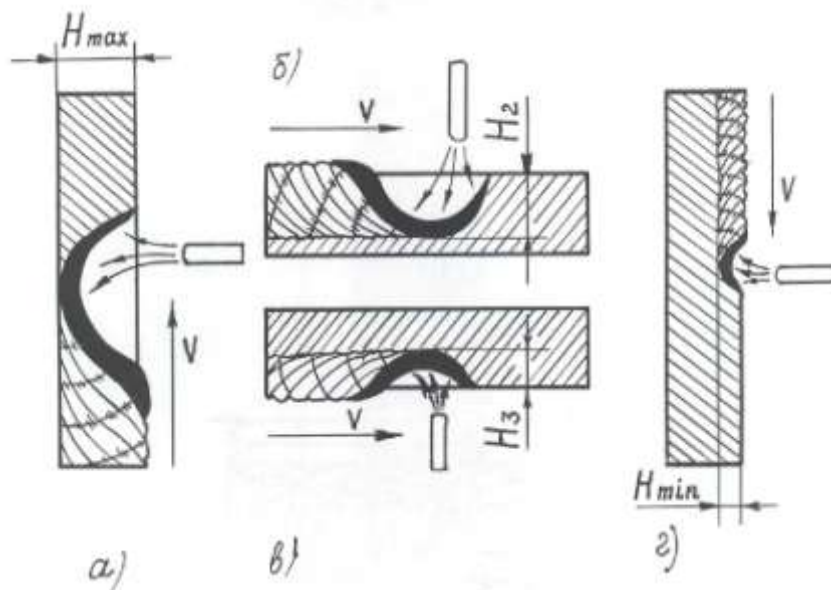


Рис. 56. Влияние пространственного положения шва на его формирование

При нижнем положении шва наблюдается меньшее вытеснение металла ванны (рис.56 б) и меньшее значение H_I . Оно еще меньше при потолочном положении шва: ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением источника. Принимают меры по ограничению объема сварочной ванны (рис.56 в).

Наименьшее проплавление при сварке на спуск (рис.56 г), когда расплав под действием силы тяжести затекает в головную часть ванны, опережая источник теплоты, и увеличивает толщину расплавленной прослойки. Удержанию ванны способствует давление источника.

При сварке в вертикальном положении приходится ограничить тепловую мощность и размеры ванны. Особенно благоприятны условия формирования горизонтального шва на вертикальной поверхности (возможны наплыв и подрез).

В результате механического воздействия дугового тока (газодинамические силы) и объемной электромагнитной силы, возникающей вследствие расширения линии тока в жидком металле, в ванне возникают конвективные потоки. В центре ванны $T_{max}(=T_{кин})$, на периферии $T=T_{пл} \dots T_{кр}$. Это также способствует образованию конвективных потоков. Они способствуют перемешиванию и выравниванию состава расплава.

Перенос тепла и металла в сварочной ванне зависят от направления и интенсивности конвективных потоков, влияющих на форму ванны и другие параметры. При этом особенности потоков сами зависят от размеров ванны, силы тока, места токоподвода (рис. 57).

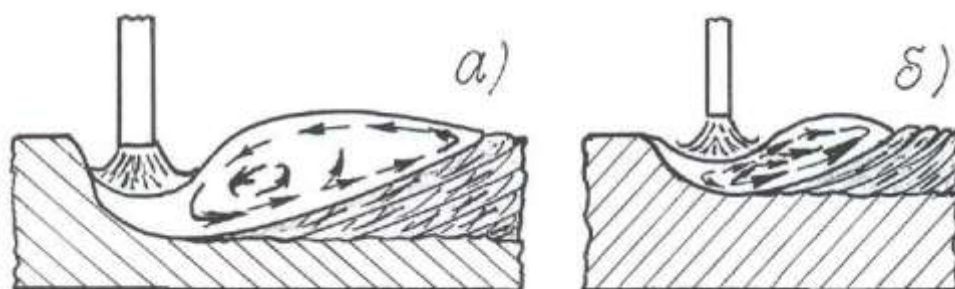


Рис. 57. Конвективные потоки в (большой (а) и небольшой (б)) сварочных ваннах

9.2. Плавление и кристаллизация сварочной ванны

9.2.1. Плавление металла

Нагрев металла изменяет энергетическое состояние атомов (амплитуду колебаний) и энергетические условия внутри атомов. Это может привести к изменению их взаимного расположения таким образом, чтобы система имела минимум свободной энергии $F_{св.}$ в новых условиях.

Свободная энергия тела с повышением температуры уменьшается. Ниже температуры T_1 (рис.58) F_{min} имеет система атомов α , а в интервале T_1 - T_2 - система γ , эта модификация и будет устойчивой.

Повышение температуры до T_2 приводит к дальнейшим изменениям энергетического состава атомов. Возрастает вероятность их отрыва от узлов и распада кристаллического комплекса на отдельные колонии.

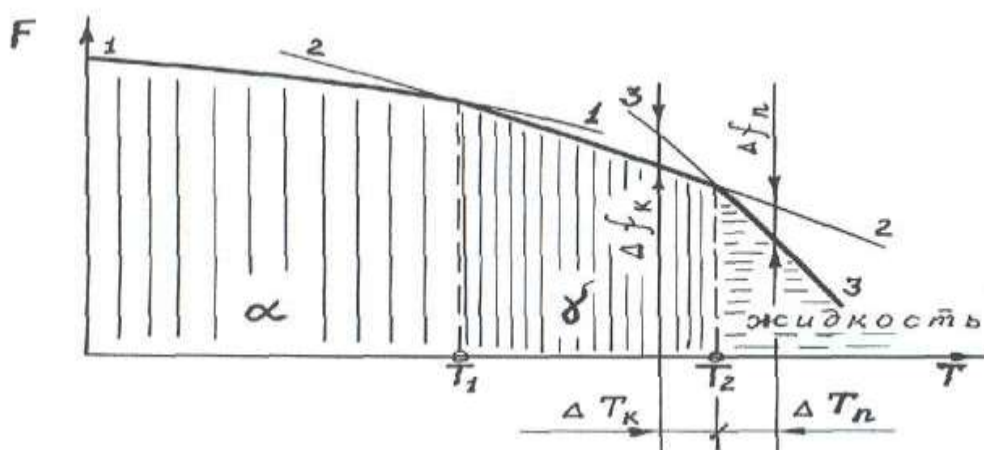


Рис. 58. Зависимость свободной энергии и состояния вещества от его температуры

Поскольку при T_2 свободные энергии жидкости и кристаллического вещества равны $F_{ж}=F_{\gamma}$, они могут сосуществовать. Для достижения полного жидкого состояния необходим некоторый перегрев на ΔT_n .

Полагают, что при небольшом перегреве металл сохраняет кристаллическую решетку, но в ней много вакансий ($\sim 3\%$ против $\sim 1\%$ у твердого тела). С увеличением перегрева цельность кристаллической решетки нарушается, и только на отдельных участках могут сохраняться группировки относительно закономерно построенных атомов.

Такие группировки станут при охлаждении элементами для надстройки новых атомных слоев и образования кристаллов, т. е. естественными центрами самопроизвольной кристаллизации. Чем меньше этих центров в жидкости, тем крупнее на них вырастут кристаллы при последующей кристаллизации. В жидкости имеются и искусственные зародыши - центры несамопроизвольной кристаллизации. В частности, неметаллические включения:

из флюсов и электродных покрытий (CaO , MgO , SiO_2);
продукты раскисления ванны (SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2);
частицы шлака ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$; $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$; MnS ; FeS и др.)

Тугоплавкие карбиды:

Fe_3C ($T_{\text{пл}}=1260^\circ\text{C}$); Mn_3C ; Cr_7C_3 ; Mo_2C ; WC ; TiC ($T_{\text{пл}}=3200^\circ\text{C}$).

В основном металле и сварных швах могут быть и нитриды.

9.2.2. Кристаллизация сварного шва

Кристаллизация металла в сварочной ванне имеет некоторые общие закономерности, присущие процессу образования слитков и отливок, но также и существенные отличия.

Для начала кристаллизации необходимо некоторое переохлаждение ΔT_k (рис. 58), обеспечивающее существенную разность свободной энергии Δf_k . При этом образуются зародыши с устойчивым радиусом (достаточных размеров). С увеличением скорости охлаждения (увеличением ΔT) устойчивый, или критический радиус зародыша уменьшается и металл получит мелкокристаллическую структуру после охлаждения.

Центрами кристаллизации наряду с указанными естественными являются и искусственные частицы не растворившихся включений или образовавшиеся при температуре, превышающей температуру кристаллизации $T_{кр}$ основного металла. Наилучшими являются вещества с решеткой и параметрами близкими к параметрам основного металла.

Кристаллизация начинается раньше на искусственных центрах, так как они требуют меньшего переохлаждения.

Строение металла шва аналогично строению слитков и отливок - основным элементом является дендрит и кристаллит. При этом, если дендрит растет от зародыша в средней части ванны, то приобретает сферическую форму. Если же рост начинается на холодной стенке, то образуется вытянутый дендрит.

Также, как при затвердевании металла в изложнице или форме, при кристаллизации ванны имеют место ликвация примесей и периодичность (неравномерность) процесса.

Особенности кристаллизации шва определяются условиями образования и существования ванны. Шов кристаллизуется при:

- небольшом объеме расплава;
- взаимодействии двух металлов;
- высокой температуре и неравномерном ее распределении;
- подвижном температурном поле, создаваемом перемещением дуги;
- быстром отводе тепла.

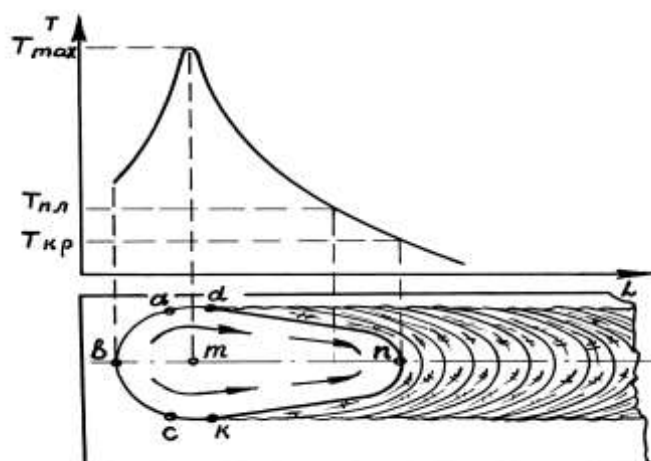


Рис. 59. Фронты проплавления (а-в-с) и прикатывание (d-n-k) металла в ванне

Кристаллизация металла начинается на изотермической поверхности с температурой $T = T_{кр}$ по периферии хвостовой части ванны (d, n, k), тогда как в передней части (a, в, с) металл плавится (рис. 59), так как $T > T_{пл}$. На рис. 60 представлена схема мгновенного состояния ванны при дуговой сварке плавлением и распределение температур по различным сечениям ванны. Самую высокую температуру, до 2300°C , металл имеет в очаге горения дуги (в точке m). По мере удаления от очага и в продольной, и в поперечной плоскостях температура жидкого металла снижается до $T_{пл}$ на кромках головной и $T_{кр}$ на кромках хвостовой части ванны.

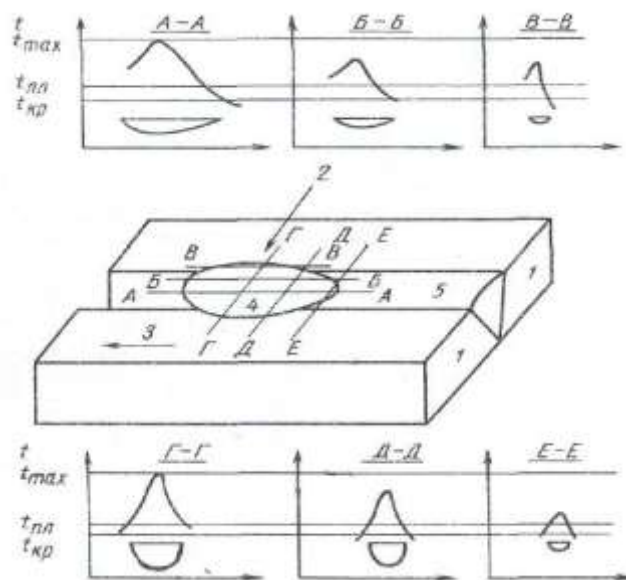


Рис. 60. Распределение температур по сечениям сварной ванны

Рост кристаллов от границы сплавления (основной металл - металл шва) начинается на оплавленных зернах основного металла и идет в направлении центра ванны. Кристаллы из хвостовой части вытягиваются вдоль оси шва и имеют большую протяженность; кристаллы с боковых поверхностей составляют с осью определенный угол, зависящий от скорости сварки, силы тока и др. факторов. Некоторые кристаллы имеют большую

скорость роста, чем соседние, получают лучшее питание жидкостью, полнее развиваются и ограничивают рост соседних, которые на первом этапе росли в неблагоприятном направлении (рис. 61). Так как расстояния между изотермами ликвидус - солидус невелики, то кристаллы не могут хорошо развиваться в боковом направлении - оси второго порядка короткие. По мере прорастания кристаллов в глубь ванны зона переохлаждения расширяется и размеры кристаллов увеличиваются.

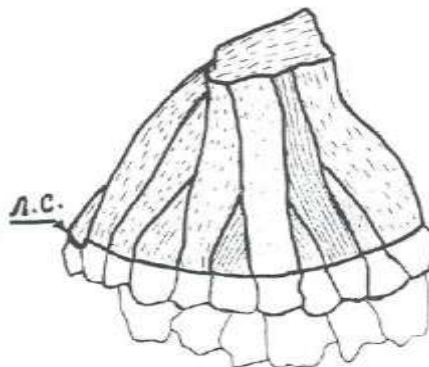


Рис. 61. Строение шва у границы сплавления

При кристаллизации слитков скорость роста кристаллов от периферии изложниц к центру замедляется, так как замедляется теплоотвод. В сварочной ванне скорость кристаллизации по фронту затвердевания (dnk , рис. 59) непостоянна. Осевой кристалл, растущий от задней стенки затвердевает с максимальной скоростью, равной скорости сварки. Скорость роста боковых кристаллов зарождающихся в точках d и k , увеличивается от нуля у границы сплавления до максимальной в центре ванны. При этом оси кристаллов искривляются, так как с перемещением сварочной ванны изменяется направление теплоотвода. При различной скорости сварки форма фронта кристаллизации разная и макроструктура металлического шва будет различной (рис. 62).

Рис. 62. Влияние скорости сварки на макроструктуру шва

Кристаллическое строение шва в поперечном сечении также определяется условиями сварки. Так, при сварке по разделке кромок происходит их оплавление и основой для кристаллизации служат оплавленные зёрна, а также искусственные центры. Если время существования ванны сравнительно небольшое, то столбчатые кристаллы могут расти до встречи около центральной плоскости шва (рисунок 63а).

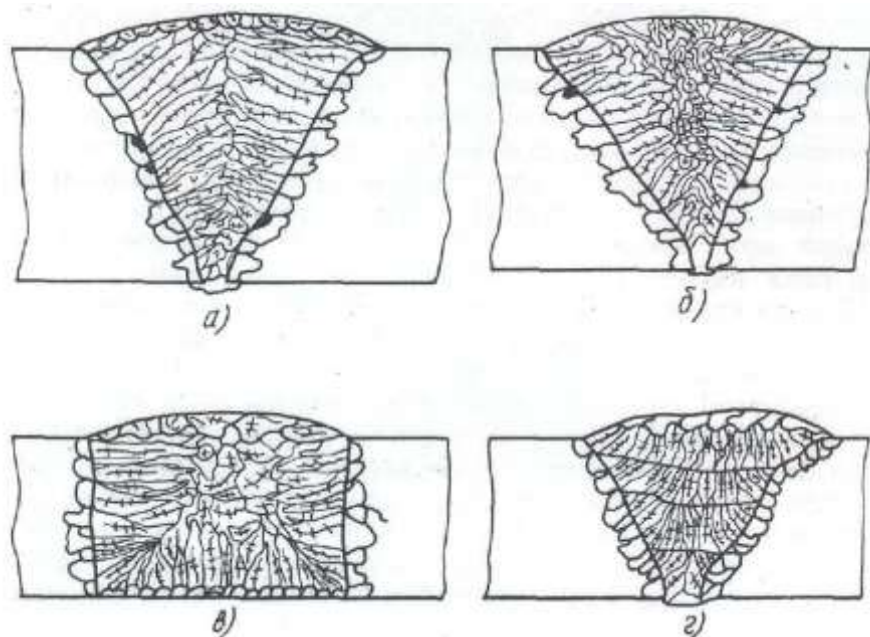


Рис. 63 Строение шва в поперечном сечении

В большой ванне (рис.63 б) кристаллизация медленная. В центре образуются равноосные кристаллы. При сварке на охлажденной металлической пластине сначала на ней образуется тонкий слой мелких разориентированных кристаллов (рис.63 в). Потом от них и стенок вырастают столбчатые кристаллы.

При многослойной сварке (рис.63г) кристаллы предыдущего слоя являются основой для кристаллизации последующих слоев.

Иногда кристаллиты многослойного шва как бы перерастают из слоя в слой, образуя транскристаллитную структуру (характерна для меди, аустенитных сталей).

При той же высоте шва скорость охлаждения каждого слоя будет выше, чем для ванны при однослойной сварке, поэтому кристаллы в слоях мельче. Ликвация по зонам выражена меньше.

Процесс затвердевания металлической ванны идет с периодическими замедлениями и с остановками вследствие периодического выделения скрытой теплоты кристаллизации. Поэтому для швов характерна слоистость. Колебания поверхности сварочной ванны у фронта затвердевания из-за падения капель и других факторов, непостоянство скорости сварки и тока меняют профиль шва, приводят к чешуйчатости.

Первые порции затвердевающего металла наиболее чисты, а потому оси дендритов значительно меньше загрязнены примесями по сравнению с металлом межосных пространств. Это различие химического состава называют дендритной ликвацией. Ликвация наблюдается и по слоям кристаллизации. Перегретый металл ванны может активно поглощать различные газы, что ухудшает свойства шва. Выравниванию состава, выделению газов способствует конвекция в ванне.

Очищению от шлаков помогают растущие к поверхности ванны дендриты, которые механически “выталкивают” неметаллические включения даже при потолочной сварке.

9.3. Формирование металла шва

Одной из задач формирования шва является получение нужной формы его. Форма (внешние очертания) сварного шва определяется формой фронта кристаллизации (см. рис. 62). Поэтому нужно уметь управлять формой поверхности ванны.

Качественный шов отличают также ровная поверхность с монотонно меняющимся профилем; форма проплавления, обеспечивающая благоприятный характер кристаллизации.

Нормальный процесс формирования шва невозможен без правильно выбранного режима сварки.

Техника сварки: непрерывный или прерывистый, одно – или многослойный шов; траектория колебаний электрода (для регулирования подачи присадочного металла в различные участки шва и управление тепловым потоком на ванну) — всё это имеет огромное практическое значение (влияет на качество шва и экономичность процесса).

Для получения качественного сварного соединения в каждом конкретном случае выполняется комплекс мер по предупреждению образования трещин и других дефектов шва. Эти меры могут быть специфическими или общими. Например, для предупреждения пористости шва:

- снижение содержания газов в основном и электродном металле;
- ограничение (устранение) поступления газов и влаги в зону сварки;
- создание условий для удаления из сварочной ванны газовых пузырей.

Лекция 15(2 часа)

Сварочные напряжения и деформации. Технологические основы сварки

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Напряжения и деформации при сварке
2. Способы уменьшения деформаций и напряжений
3. Основы технологии РДС

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Напряжение и деформации при сварке.

11.1.1 Причины возникновения, характер деформаций.

Местный нагрев изделия сварочным источником тепла по-разному влияет на изменение температуры в различных зонах сварного соединения. Участки вблизи источника нагреваются до расплавления, прилегающие участки ЗТВ и основного металла нагреваются до более низких температур (см. рис.66,67). При значительных размерах изделия на некотором расстоянии от шва металл не нагревается.

Нагрев вызывает термическое расширение, упрощённо определяемой зависимостью:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T,$$

где l - начальный линейный размер;

ΔT - разность между конечной и начальной температурами;

α - среднее значение температурного коэффициента расширения металла.

В связи с большим температурным градиентом (перепадом температур) в соседних участках металла, при его нагреве будет торможение расширения, а при охлаждении – затруднённая усадка.

Итак, при нагреве какой-то объём металла испытывает затруднение в расширении, и в нём возникают свойственные напряжения сжатия: сначала упругие, а затем пластические. С повышением температуры материал разупрочняется. Предел текучести низкоуглеродистой стали при температуре выше 600 °С близок к нулю. Поэтому материал пластически деформируется, и напряжения сжатия исчезают.

В связи с дополнительным закреплением свариваемых элементов, препятствующим их свободному расширению-сжатию, в них могут возникнуть реактивные остаточные напряжения.

При охлаждении, сокращению нагретого объёма (усадке) препятствуют соседние более холодные слои, и в них возникают напряжения сжатия, а в более нагретых, сжимающихся – напряжения растяжения. Во многих случаях именно собственные растягивающие напряжения (приблизительно равные пределу текучести) являются остаточными, так называемыми сварочными напряжениями.

Напряжения, возникающие вследствие торможения усадки металла шва и околошовной зоны, а также напряжения от неравномерного нагрева (охлаждения), называют напряжениями первого рода. Напряжения второго рода – последствия фазовых превращений. Например, в результате образования мартенсита в каком-то объёме ЗТВ, этот объём будет существенно больше объёма исходной структуры – аустенита. Следовательно, в процессе превращения новая структура будет сжиматься соседними, более плотными слоями, в ней возникнут напряжения сжатия, а в прилегающих слоях – напряжения растяжения.

В связи с дополнительным закреплением свариваемых элементов, препятствующим их свободному расширению-сжатию, в них могут возникнуть реактивные остаточные напряжения.

При сварке встык тонких листов из-за продольной литейной усадки шва листы при их достаточно большой длине будут сближаться, и напозать друг на друга (Рис.70,а). Из-за поперечной усадки шва с V-образным раскрытием кромок стыкуемые элементы претерпевают угловую деформацию (рис. 70,б), так как шов сжимается больше, где он шире.

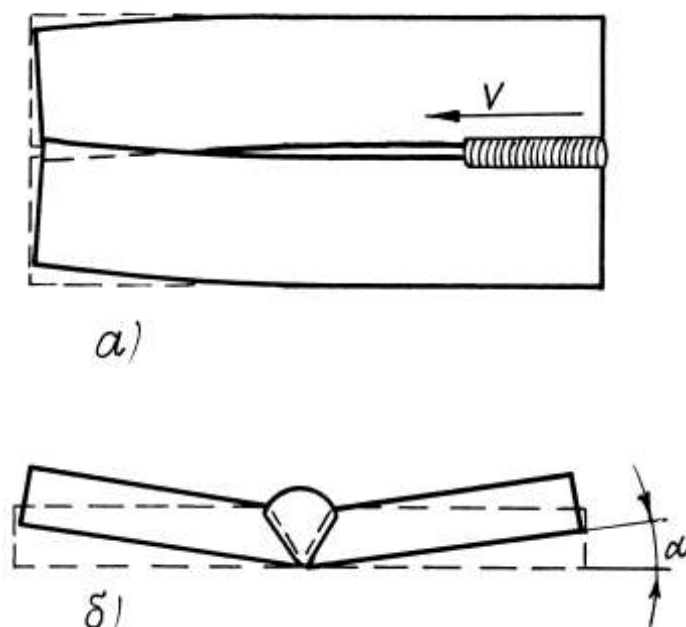


Рис. 70. Усадка шва и деформации:
а-продольная (тонких листов);
б-поперечная (угловая) V- образного шва

На рис.71 показана пластина, свободно лежащая на двух опорах: до сварки, после наплавки валика на её боковую поверхность примерно на четверть длины; затем, после наплавки, на три четвёртых длины при окончании наплавки и, наконец, после охлаждения шва. Наплавленный валик прогревает подстилающие слои пластины, и они удлиняются, а при охлаждении шва из-за его усадки – укорачиваются, что вызывает соответствующее коробление пластины.

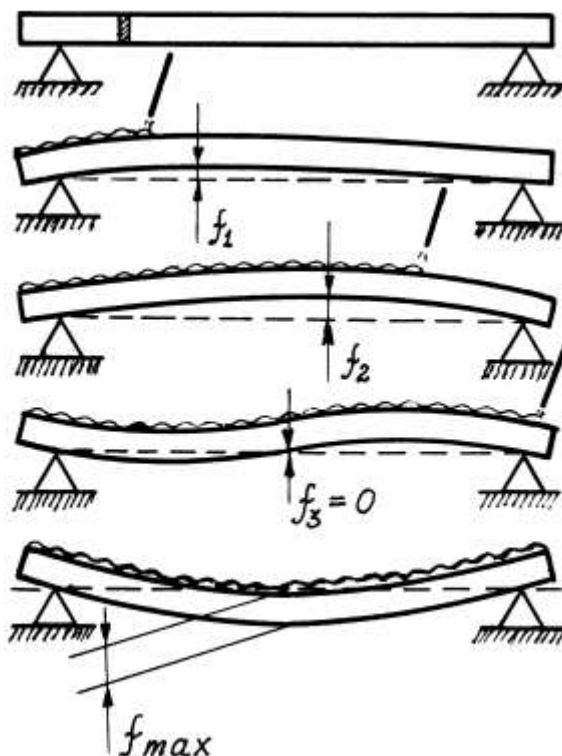


Рис. 71. Деформация пластин при наплавке валика на боковую сторону

Виды сварочных деформаций.

- Укорочение: продольное и поперечное. Возникает при симметричном наложении швов.
- Изгиб. Возникает из-за несимметричного расположения швов относительно центра тяжести сечения. Оценивают стрелой прогиба f (рис.71)
- Скручивание изделий сложного сечения и значительной длины (двутавр, швеллер и т.д.)
- Угловые.
- Выпучины и волнистость листовых конструкций.
- Сложные деформации.

Характер и показатели остаточных деформаций в значительной степени определяются размерами изделия, основным металлом, формой шва, режимом сварки (сила тока, диаметр электрода), особенностью технологии и приёмов и т.д.

1.2. Способы уменьшения деформаций и напряжений.

Для уменьшения сварочных деформаций существует три группы мероприятий: конструкторские (конструкционные); технологические, проводимые в процессе сварки и технологические послесварочные.

На этапе конструирования: назначают минимально возможные сечения и количество сварных швов; параллельные швы проектируют симметрично центральной оси сечения и, по возможности, ближе к ней; заменяют V-образную разделку на U или X-образную; предусматривают применение косынок, ребер жесткости и т. п., а также применение сборочно-сварочных приспособлений.

При сварке: необходимо не превышать заданного уровня тепловложения силы тока, диаметра электрода; выполнять назначенную последовательность и способы сварки швов; выдерживать режимы подогрева и охлаждения изделия и т.д.

После сварки устраняют деформации или снижают остаточные напряжения. Ниже рассмотрены важнейшие технологические приемы и операции, выполняемые при сварке и после нее.

1.2.1. Правка сварной конструкции в отдельных случаях допустима и целесообразна.

Механическая правка выполняется при толщине заготовок до 3 мм: в валках, на прессах, вручную слесарным инструментом. Недостаток метода- снижение пластичности материала из-за местного наклепа, что может уменьшить надежность изделия.

Термическая правка- нагрев неплавящимся электродом или пламенем горелки определенных зон деформированных участков до 750-850 °С. При нагреве (рис. 72) указанные зоны 1 пластически деформируются, а при охлаждении укорачиваются, компенсируя сварочную деформацию.

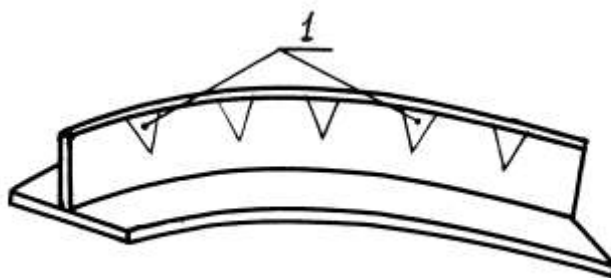


Рис. 72. Зоны нагрева 1 при термической правке тавра

Термомеханическая правка сочетает рассмотренные приемы.

1.2.2. Уравновешивание деформаций практикуют при сварке по Х и К-образной разделке кромок (рис. 73), сварке тавровых соединений, при наплавке валов.

При такой сварке каждый последующий шов создает деформацию обратной направленности по отношению к деформации, возникающей от предыдущего шва. Деформации уравновешиваются, но напряжения остаются.

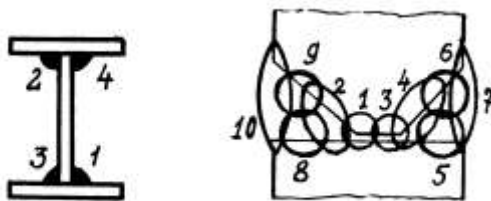


Рис. 73. Уравновешивание деформаций чередованием швов

1.2.3. Метод обратных деформаций заключается в том, что свариваемые элементы устанавливают до сварки с учетом последующей деформации; делают обратный выгиб листовых изделий (рис 74): листов, полок и стенок балок. При этом не снижаются ни напряжения, ни деформации.

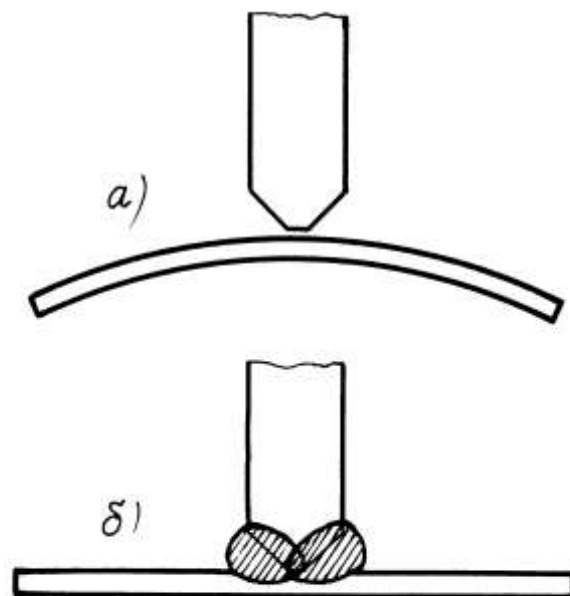


Рис. 74. Обратный выгиб полки (а) и изделие после сварки(б)

Рассмотрим как можно уменьшить их.

1.2.4. Проковка швов. Позволяет снять свар. напряжения за счет дополнительно создаваемых пластич.-х деформаций в шве и околошовной зоне. Проковку ведут при остывании шва до 450° и ниже 150°C . В интервале $200-400^{\circ}$ в углеродистых сталях понижается пластичность (надрывы). Инструмент ручной молоток (0,6 – 1,2 кг.) с закрепленным бойком или пневматический молоток. При многослойной сварке проковывают каждый слой кроме первого и последнего.

Разновидность проковки – обкатка тонкостенного изделия из пластичного материала роликами или валиками. Устраняет остаточное напряжение и деформацию в шве и околошовной зоне.

1.2.5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НАЛОЖЕНИЯ ШВОВ.

Для уменьшения и рассредоточения сварочного напряжения прокладывают короткие швы, размещают на несмежных участках, соединяют несваренные участки вразброс.

Короткие (до 250-300 мм) швы выполняют напроход; средние (350-1000)- от середины к краям; длинные – обратноступенчатым способом : разбивают стык на короткие (100-200мм) участки; при толщине 3-5 мм стыковых, а так же в нахлесточных соединениях делают прихватки – сварные точки и варят как показанную на рис. 75, а. При этом общая деформация, возможная при непрерывной сварке распределяется равномерно по всей длине шва и становится незначительной (рис.75-б). При толщине стали до 4 мм, стыковые соединения сваривают односторонним, и от 5 мм – двухсторонним швом.

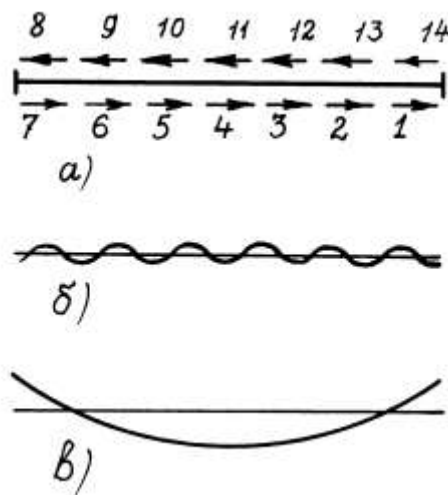


Рис. 75. Обратноступенчатый способ сварки:
а-последовательность;
б-характер деформации;
в-деформация непрерывного шва;

Однопроходная сварка экономична, но дает грубую столбчатую структуру металла шва и широкую зону перегрева.

В многопроходном шве каждый последующий валик отжигает предыдущий и изменяет в нем структуру, что повышает механические свойства сварного соединения.

Многослойные швы получают последовательным наложением слоев (на проход) при толщине заготовок примерно до 20 мм. При больших толщинах для уменьшения остаточного напряжения и деформаций слои прокладывают: горкой, каскадом, блоками (см. сварку среднеуглеродистых сталей).

1.2.6 Применение сборочно-сварочных приспособлений.

Сварке предшествует сборка свариваемых элементов (заготовок). Это ответственная работа. Для фиксации заготовок используют струбцины, клинья, скобы. При необходимости применяют винтовые, рычажно-винтовые стяжки; различные фиксаторы; сборочно-сварочные приспособления. Они должны препятствовать короблению и обеспечивать свободную литейную усадку швов.

Тонколистовые изделия, а так же свариваемые из вязкого материала можно закреплять жёстко. Для вязких материалов допустим интенсивный теплоотвод на тыльной стороне соединения (струей воды, медной подкладкой и т.д.) Для уменьшения напряжений и деформаций иногда во время сварки используют вибрацию конструкции.

1.2.7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА. Местная или объёмная (для всего изделия); нагрев (подогрев) предварительный или сопутствующий назначается в зависимости от материала, конструктивных особенностей изделия и его размеров.

Эти способы замедляют скорость охлаждения сварного шва и изделия и снижают сварочное напряжение или предотвращают их появление.

Термическая обработка сварного изделия, выполняемая после сварки (отжиг, нормализация и др.) позволяет уменьшить или исключить остаточные напряжения и восстановить структуру и свойства металла в ЗВТ.

2. Горячие и холодные трещины.

2.1 Классификация трещин.

По размерам и влиянию на прочность металла различают две категории трещин. К первой категории относятся микротрещины – скопления дефектов-несплошностей в кристаллической решётке.

Ко второй категории относят более крупные трещины, возникающие при технологической обработке металла или при эксплуатации изделия. В сварных конструкциях такие трещины весьма опасны, т.к. под действием рабочих нагрузок они могут развиваться и привести к аварии.

В процессе нагрева и охлаждения металла при сварке возникают и изменяются напряжения и деформации. Вместе с тем свойства металла (пластичность, прочность) тоже меняются. На рис.76 показано изменение σ и δ и указаны температурные интервалы хрупкости сталей (ТИХ) с провалами пластичности. Очевидно, в соответствующих интервалах температур наиболее вероятно образование сварочных трещин. По температуре, при которой они возникают различают холодные и горячие трещины.

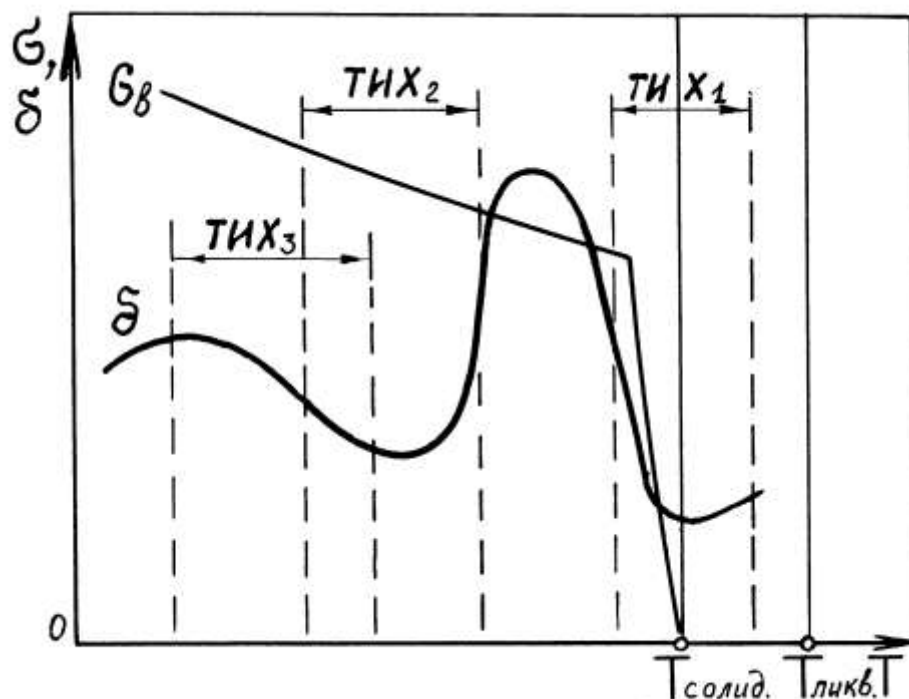


Рис. 76. Изменение δ и σ_v при охлаждении металла и температурно-временные интервалы хрупкости (ТИХ)

Горячие точки образуются при температуре близкой к температуре солидуса T_c , имеют межкристаллический характер, а холодные чаще транс кристаллические.

Г.т. обычно мелкие и извилистые, имеют окисленную зернистую поверхность излома. Холодные трещины возникают при низких температурах, они больше горячих, более прямые, имеют обычно гладкую, блестящую поверхность излома.

2.2. Горячие трещины

Различают кристаллизационные, подсолидусные и дисперсионные г.т.

Следует иметь в виду, что трещины возникают при недостаточной деформационной способности металла. Т.е. когда имеет место соотношение

$$G > G_T,$$

где G – фактическое внутреннее напряжение;

G_T – предел текучести при соответствующей температуре.

Кристаллизационные г.т. возникают обычно в интервале 1200-1300⁰С. Металл находится в твердо-жидком состоянии, жидкая прослойка между столбчатыми кристаллами постепенно затвердевает. В остывающем металле шва, жестко связанном с холодным основным металлом, возникают напряжения растяжения. Поскольку процесс идет в интервале хрупкости (ТИХ₁), то по слабым межкристаллитным прослойкам и возникают микротрещины, развивающиеся затем в трещины (рис.77).

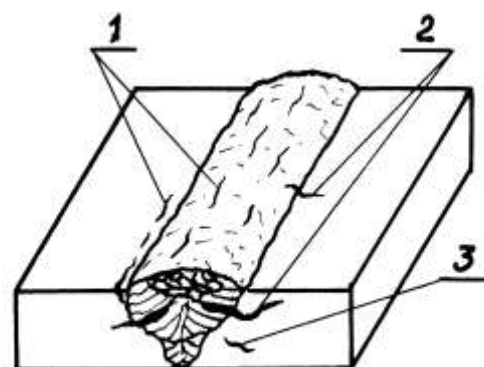


Рис. 77. Горячие трещины:

1-продольные; 2-поперечные в шве и ЗС;
3- поперечные в основном металле

При деформации твердо-жидкой системы образование несплошностей возможно при следующих условиях: объём жидкой фазы оказался недостаточным для заполнения раскрывающихся полостей между зёрнами (не происходит “залечивания”) или не успевает перераспределиться жидкая фаза из-за высокой скорости деформации (происходит заклинивание кристаллитов и торможение циркуляции жидкой фазы).

Сопротивление сталей образованию горячих трещин при сварке можно оценить по показателю К. Итамур

$$HCS = (C \cdot [S + P + 0.04 \cdot Si + 0.01 \cdot Ni] \cdot 10^3) / (3 \cdot Mn + Cr + Mo + V).$$

Для сталей с $G_v < 700$ МПа показатель должен быть менее 4, для сталей с большим пределом прочности его значение не должно превышать 1.6-2.0 (трещины не образуются).

Возникновению г.т. способствуют углерод, сера (см. формулу Итамур). Поэтому содержание последней в сварочной проволоке допускают до 0.015 %. Снижают склонность металла к образованию г.т.:

- подогрев изделия;
- выбор оптимальной формы проплавления;
- выбор оптимальной скорости сварки.

Завышенная скорость (стреловидн. фронт кристаллизации) повышает вероятность образования продольной трещины по линии стыка кристаллов (рис. 62,б). Заниженная скорость вызывает появление осевого кристаллита, что снижает сопротивляемость горячим трещинам.

Подсолидусные горячие трещины образуются в интервале от T_c примерно до $T_c - 100^\circ\text{C}$, когда в литом металле шва и в ЗТВ протекает собирательная рекристаллизация: уменьшается число зерен; изменяется положение границ зерен, снижающее поверхностную энергию.

Микротрещины образуются в местах выхода дислокаций на границы зерен при межзеренном проскальзывании. Признаки подсолидусных г.т. – межзеренное разрушение с окисленными стенками.

Горячие трещины дисперсионного твердения.

В случае выпадения при охлаждении металла дисперсных частиц (карбидов в сталях, других фаз в объеме зерна) при межзеренном проскальзывании на ослабленных границах образуется микротрещины.

Признаки микротрещин: межзеренное разрушение и наличие на его стенках частиц карбидов, интерметаллидов и др. соединений.

Места расположения: шов, зона термического влияния, участок сплавления.

2.3. Холодные трещины наблюдаются визуально; имеют блестящий кристаллический излом без следов высокотемпературного окисления. Образуются часто в сварных соединениях из закаливающихся сталей при температуре ниже 200°C ; могут зарождаться и развиваться в течение нескольких часов и суток после сварки; располагаются, как правило, в околосварной зоне, а также по шву (рис.78).

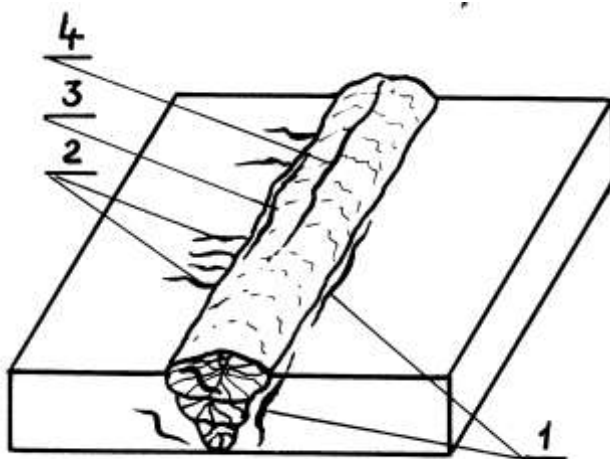


Рис. 78. Холодные трещины:
1-«откол»; 2-«частокол»; 3-«отрыв»;
4-продольная

Определяющие причины появления х.т.

- 1.Повышенный уровень напряжений.
- 2.Наличие закалочных структур.
- 3.Насыщенность металла водородом.

Появление трещин при температурах существенно ниже T_c маловероятно, т.к. металл пластичен. Однако, в области низких температур с пониженными пластическими свойствами металла трещины образуются при неравномерном охлаждении (высоки напряжения первого рода) или благодаря образованию мартенсита (от напряжений второго рода).

Наиболее характерны х.т. закаливающихся сталей, образование и развитие которых связано с длительным распадом остаточного аустенита. Так как образующийся мартенсит имеет большой объем, то стремится расширяться, но встречая сопротивление

окружающих слоёв, оказывается сам сжатым. В сварном соединении возникает сложное поле напряжений и деформаций, вызывающее появление трещин в малопластичном металле.

Исследователи указывают на отсутствие «сопряжённости кристаллической решётки» на поверхностях раздела зёрен (благодаря скоплению дислокаций). К этому добавляются локальные искажения из-за образования мартенсита и скопления водорода. Всё это в-первых, ослабляет металл, а во-вторых, способствует появлению медленно текущих деформаций за счёт межзёрненного упруго-пластического скольжения.

Водород, растворённый в металле, находится в нём при комнатной температуре в атомарном виде, легко диффундирует в железе в области с меньшей концентрацией. Скапливаясь в микропустотах и переходя в молекулярную форму (становится диффузионно-неподвижным) водород постепенно развивает высокое давление и большие микронапряжения, что способствует образованию х.т.

На рис.79 показана х.т. смешанного характера: зародилась она на границе кристаллов, а затем распространялась транскристаллически.

Закаливаемость сталей зависит от их химического состава, от содержания углерода в первую очередь. Для оценки склонности сталей к возникновению холодных трещин, связанной с закалкой, рассчитывают эквивалент углерода, в частности, по методике международного института сварки

$$C_e = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15.$$

Считают, что сталь не склонна к образованию холодных трещин при C_e до 0,4.

Для предупреждения образования мартенситной структуры скорость охлаждения металла в ЗТВ должна быть меньше критической (рис.80)

$$V_{охл} < V_{кр} = (A_1 - T_{min}) / 1,5 \cdot t_{min},$$

где T_{min} — температура минимальной устойчивости аустенита, °C;

t_{min} — время минимальной устойчивости аустенита, с.

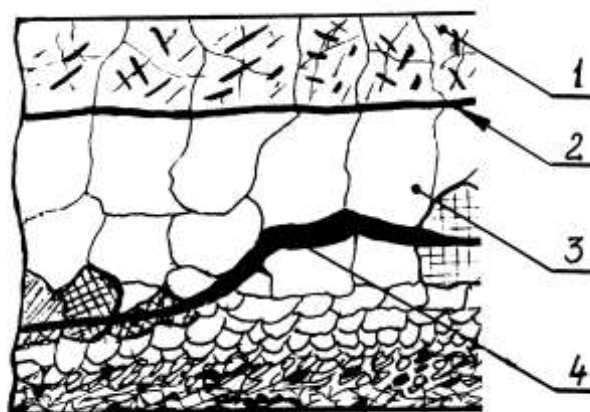


Рис. 79. Схема холодной трещины смешанного характера:

- 1- металл шва;
- 2- линия сплавления;
- 3- участок перегрева;
- 4- трещина

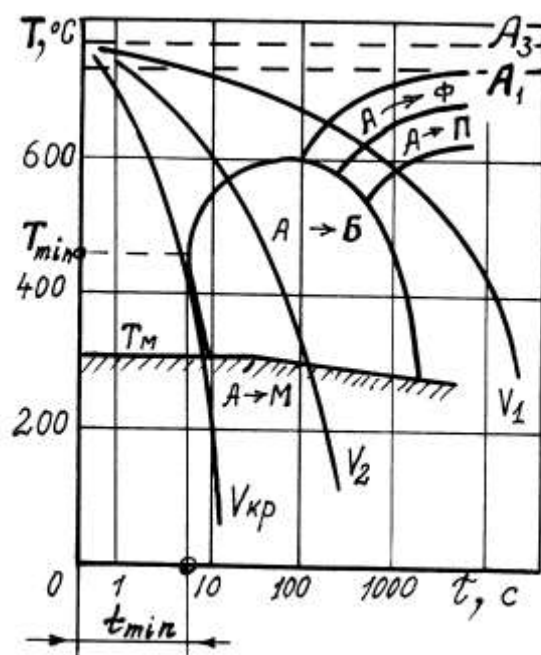


Рис. 80. Термодинамическая диаграмма доэвтектоидной легированной стали и $V_{кр}$

3. Улучшение технологической прочности сварных изделий.

Металлургическим путем можно сузить ТИХ. Для этого нужно уменьшить загрязнённость сварочных материалов вредными примесями, максимально раскислить ванну, очистить её от серы и фосфора, легировать марганцем.

Для измельчения первичной структуры при кристаллизации иногда усиливают теплоотвод или вводят в металл шва модификаторы (Al, Ti и др.). Предупреждению возникн. х.т. способствуют меры по снижению содержания водорода в металле шва.

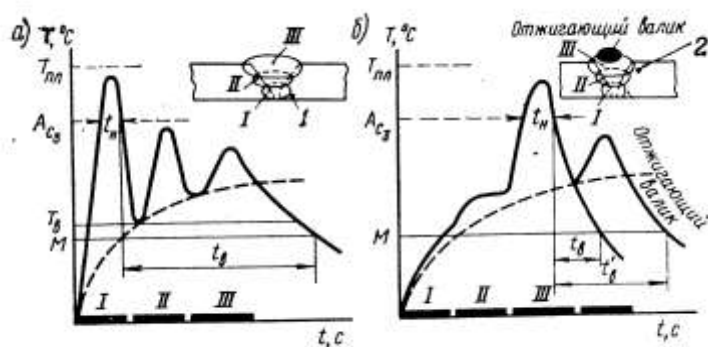


Рис. 81. Термические циклы металла для точек 1 и 2 при многослойной сварке

Рассмотрим подробнее особенности многослойной сварки, обеспечивающей пониженную скорость охлаждения металла шва и ЗТВ. При наложении первого слоя металл в точках 1 (рис. 81, а) нагревается до тер.-ры близкой к $T_{пл}$ и охлаждается до $T_{в}$. В этот момент он нагревается повторно тепловой волной второго слоя. При наложении последующих слоев процессы повторного нагрева повторяются. Металл охлаждается медленно.

В точках 2 металл нагревается медленно и т.-ра достигает максимума при наложении верхнего слоя. Затем она снижается до T_m – начала мартенситного превращения за время t_v . Прокладкой отжигающего валика время охлаждения в интервале т.-р $A_{c3}-T_m$ удлиняют до t'_v . Такой характер процесса достигается при сварке коротких швов или при разбивке длинных швов на короткие участки. Определяющим условием при этом является предельное охлаждение до T_v

$$T_v = T_m + (50-100), ^\circ\text{C}$$

то есть до температуры на 50-100 $^\circ\text{C}$ выше температуры начала мартенситного превращения.

Лекция 16(2 часа)

Тема:Свариваемость. Сварочные материалы

1.1.1 Вопросы лекции:

- 1.Свариваемость металлов и сплавов
2. Дефекты сварных швов
3. Современные сварочные материалы

1.1.2 Краткое содержание вопросов:(

Напряжение и деформации при сварке.

Свариваемость металлов и сплавов Свариваемость очень сложная функция и в первом приближении может быть оценена как способность соответствующих материалов образовывать неразъёмное соединение.

Из ГОСТа 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий» – свариваемость – свойство «материала» образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией или эксплуатацией изделия. Свариваемость зависит с одной стороны от химического состава и свойств свариваемого материала, а с другой стороны от состава присадочных материалов, флюсов, защитного газа, а также технологических особенностей, способа и режима сварки. Отсюда, два вида свариваемости: физическая и технологическая. При этом нужно учитывать, что свариваться могут однородные и разнородные металлы и сплавы.

Физическая свариваемость – протекание физико-химических процессов (диффузия, кристаллизация, способность образовывать растворы), которые приводят к образованию неразъёмных соединений.

Все однородные металлы, образующие растворы и смеси, обладают способностью свариваться. Не соединятся сваркой плавлением металлы и сплавы, не обладающие взаимной растворимостью в жидком состоянии (Pb-Cu , Pb-Fe), имеющие большое различие в температуре плавления (Fe-Zn , W-Pb), образующие хрупкие интерметаллические соединения (Al-Cu , Fe-Ti).

Технологическая свариваемость – способность основного металла образовывать качественное сварное соединение при данной технологии.

Таким образом, технологическая свариваемость зависит от состояния рабочих процессов, сварочного оборудования и режимов сварки.

Современные сварочные технологии показывают, что все материалы, обладающие физической свариваемостью могут образовывать удовлетворительные сварные соединения. При этом трудно свариваемые требуют применения более сложной технологии сварки.

Свариваемость часто рассматривают как степень соответствия сварных соединений одноимённым свойствам основного металла или нормативным значениям свойств.

Существует огромное многообразие сварных изделий и работают они в весьма различных условиях. Поэтому качество сварных соединений оценивают рядом показателей:

- соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным требованиям;
- стойкость металлического шва против кристаллизационных трещин;
- стойкость околошовной зоны образованию холодных трещин;
- стойкость сварного соединения к охрупчиванию;
- механические свойства шва и соединения.

Под хорошей свариваемостью низкоуглеродистой стали понимают равнопрочность сварного соединения и основного металла.

При сварке легированных сталей нужно обеспечить получение также специальных свойств (коррозионной стойкости и др.). Иногда учитывают чувствительность к порообразованию и т.д.

12.2 Сварочные материалы для ручной дуговой сварки (РДС).

Проволока: сварочная, наплавочная, порошковая.

При дуговой сварке плавлением применяют неплавящиеся (из графита, угля или вольфрама), плавящиеся электроды и вспомогательные материалы: флюсы, защитные газы и их смеси.

Для изготовления электродов, а также сварки под флюсом, в среде защитных газов и для наплавки по ГОСТ 2246-70 выпускается холоднотянутая специальная калиброванная проволока 16-ти диаметров от 0,3 до 12 мм. Выпускают также горячекатанную, порошковую проволоку, электродные ленты и пластины. Всего выпускается 77 марок сварочной проволоки, из них:

6–низкоуглеродистой;	}	неомедная или омезненная
30–легированной;		
41 марка– высокоуглеродистой проволоки.		

Для сварки низкоуглеродистой или низколегированной стали применяют самые распространенные электроды из низкоуглеродистой стали.

Условное обозначение проволоки диаметром 3 мм: 3 Св-08 А ГОСТ 2246-70. Здесь индекс Св означает «сварочная проволока», 08 – содержание углерода (0,08%), А – пониженное содержание S и P. В марках возможны: две буквы А – тогда содержание вредных примесей еще меньше; Э – для изготовления электродов; О – омедненная; ВД, ВИ и Ш – полученная соответственно вакуумно-дуговым, вакуумно-индукционным или электрошлаковым переплавом. Содержание химических элементов обозначают как в легированных сталях.

Поставляется проволока свернутой в мотки (бухты) массой от 1,5 до 40 кг. Бухты пропитывают консервантами, обертывают пленкой или бумагой и снабжают сертификатом (марка, состав, показатели механических свойств).

Стальная наплавочная проволока диаметром от 0,3 до 8 мм:
углеродистая – 8 марок;

легированная и высоколегированная – по 11 марок.

Например, Нп-30; Нп-40; Нп-40Г...Нп-80; Нп-Г13 А; Нп-40Х13; Нп-55ХНМ и др.

Порошковая проволока представляет собой трубчатый электрод из свернутой стальной низкоуглеродистой ленты (шириной 8-20 и толщиной 0,2 – 1,0 мм), заполненный порошкообразной шихтой нужного химического состава.

Диаметр проволоки от 1,2 до 3 мм, форма сечения: стыковая трубка, с перегородкой и др.

Назначение: самозащитные проволоки общего назначения ПП – АН1, ПП – АН3, ППВ – 4 и др. для сварки углеродистых и низколегированных сталей открытой дугой вместо электродов типа Э 46, Э 50, Э 50А.

Порошковые проволоки для сварки в CO₂ как заменитель

проволоки Св – 08 Г2С.

Проволоки для сварки легированных сталей

Проволоки для сварки чугуна.

Порошковые проволоки для наплавки под флюсом, в CO₂.

Сварочные плавящиеся электроды.

Основное назначение электрода – подвод тока к дуге и подача расплавленного металла в сварочную ванну.

Дополнительные требования к электродам для

РДС:

- лёгкое зажигание и спокойное, устойчивое горение дуги;
 - равномерное плавление металлического стержня и покрытия (при этом стержень плавится с некоторым опережением и покрытие образует конусную втулку, что улучшает защиту дуги);
 - надёжная защита жидкого металла от атмосферного воздуха;
 - равномерное покрытие ванны шлаком и легкое удаление его после затвердевания;
 - получение металлического шва с заданными свойствами;
 - отсутствие токсичности;
- удобство выполнения швов в требуемых положениях и др.

Покрытия электродов наносят на стальной стержень опрессовкой с последующими сушкой и прокалкой.

Различают четыре группы электродов по толщине покрытия – по отношению наружного диаметра электрода к диаметру стержня D/d:

До 1,2 – тонкое покрытие, условное обозначение – М;

среднее покрытие – С;

толстое – Д;

особо толстое покрытие при D/d больше 1,8- Г.

Компоненты покрытий электродов.

Для повышения устойчивости горения дуги наносят тонкое (*стабилизирующее*) покрытие со щелочными (K,Na) или щелочноземельными (Ca) соединениями металлов, имеющими низкий потенциал ионизации. При этом металл шва насыщается кислородом и азотом воздуха. Поэтому предпочтительнее толстое (качественное) покрытие, обеспечивающее лучшую защиту расплава .

Газообразующие вещества в покрытиях:

органические соединения: древесная мука, целлюлоза, хлопчатобумажная ткань;

минералы: доломит, магнезит, мрамор (диссоциируют).

Шлаковая защита:

каолин, мрамор, мел, доломит, кварцевый песок и др. Образуют шлаковые оболочки на поверхности капель электродного металла и шлаковый слой на поверхности сварочной ванны.

Раскислители:

Mn, Mo, Ti, Si, Cr, Al, графит, большинство из которых вводят в виде ферросплавов.

Легирующие компоненты в виде ферросплавов или чистые элементы: Cr, Ni, Mo, W, Mn, Ti и др. В основном для повышения механических свойств, износостойкости, сопротивление коррозии металла шва. Иногда указанные элементы могут содержаться в проволоке.

В покрытие вводят также *пластификаторы*, а *связующими* компонентами являются калиевое ($K_2O \cdot SiO_2$) и натриевое ($Na_2O \cdot SiO_2$) жидкое стекло. Они же являются *стабилизаторами*.

ГОСТ 9466-75 на электроды, покрытые металлические для РДС и наплавки сталей устанавливает 6 видов электродных покрытий.

Кислое покрытие – **А**

Содержит окислы Fe, Mn, Si, иногда Ti. Повышенная окисленность металла шва. Допускает сварку постоянным и переменным током.

Основное покрытие – **Б**

Фтористый кальций CaF_2 карбонат кальция (мел, мрамор). Минимальная склонность к образованию трещин. Рекомендуется для сварки больших сечений. Ток постоянный обратной полярности

Целлюлозное покрытие – **Ц**

Основные компоненты – целлюлоза, мука и др., создающие газовую защиту и образующие тонкий шлак. Для сварки тонких стальных изделий.

Рутиловое покрытие – **Р**

Основной компонент – рутил, TiO_2 , минеральные и органические вещества. Минимальное разбрызгивание, все положения в пространстве. Любой ток.

Прочие виды покрытия – **П**

Покрытие с железным порошком – **Ж**

Если содержание порошка более 20%. Железный порошок облегчает повторное зажигание дуги, повышает производительность.

Условное обозначение электрода (рис.82) расшифровывается следующим образом (см. рис 90):

Рис. 82. Условное обозначение электродов

Э 46 А — тип электрода: Э—электрод для дуговой сварки; 46— σ_B в $кгс/мм^2$ (460 МПа); А— повышенные пластические свойства.

УОНИ-13/45—марка электрода. 4,0— диаметр .

У - для сварки углеродистых и низколегированных сталей с σ_B до 600 МПа.

Другие условные обозначения:

Л—для сварки легированных сталей с $\sigma_B > 600$ МПа; Т и В – тоже для теплоустойчивых и высоколегированных сталей; Н— для наплавки.

Д — толстое покрытие (см. текст выше).
 2 — группа по качеству.
 Индексы характеристик металла шва:
 Е — металла шва «электродный»;
 43 — σ_b в кгс/мм²;
 2 — шифр относительного удлинения, $\delta > 22\%$;
 5 — шифр ударной вязкости.
 Б — основное покрытие (см. текст выше).
 1 — для сварки во всех пространственных положениях;
 2 — для всех положений, кроме «на спуск»;
 3 — для нижнего, горизонтального и; «на подъём»;
 4 — для нижнего положения»;
 0 — на постоянном токе обратной полярности.

Таблица. Условные обозначения допустимого по роду и полярности тока

Напряжение холостого хода источника переменного тока, В	Допустимая полярность		
	любая	прямая	обратная
50±5	1	2	3
70±10	4	5	6
90±5	7	8	9

Пример условного обозначения электрода для сварки высокоуглеродистых сталей
 Э—08Х19Н10Г2Б—ЦТ - 15—3,0—ВД ГОСТ 10052—75
 Е—2453—Б20

Как видно, здесь вместо типа электрода приведён химический состав электродного стержня, далее—марка ЦТ-15. Остальное аналогично обозначению на рис.82

12.3 Дефекты сварных швов.

Дефектом сварного соединения считают каждое отдельное несоответствие требованиям, установленным нормативной документацией.

Дефекты ухудшают механические свойства, герметичность шва и портят внешний вид и шва, и сварного соединения.

12.3.1. Основные группы дефектов.

1.Имевшиеся в металле свариваемых заготовок (трещины, расслоения, плёны), на свариваемых кромках или вблизи шва.

2.Образующиеся в результате несоответствия химического состава и технологических свойств присадочных материалов.

Указанные отклонения должны быть выявлены при предварительном контроле, в задачи которого также входит оценка состояния оборудования, качества сборки, квалификации сварщика.

3.Образующиеся в результате нарушения технологии сборки подготовки заготовок к сварке:

- неправильный угол скоса кромок в стыковых швах с V,X и K – образной разделкой кромок;
- непостоянство угла скоса по длине кромок;
- большое или малое притупление с;
- слишком большой зазор b;
- непостоянство зазора;
- смещение стыкуемых кромок.

4.Вызываемые плохой свариваемостью основного металла.

5.Образующиеся из-за нарушения тех.процесса сварки или термообработки (подрезы, прожоги, поры, шлаковые включения и др.).

6.Возникающие из-за несоответствия зажимных приспособлений(коробление).

7.Образующиеся при эксплуатации изделия(например, в изделиях с большими остаточными напряжениями- трещины от значительной статической нагрузки или от знакопеременной нагрузки).

12.3.2. Наиболее характерные дефекты сварных соединений.

Наружные дефекты

1.Неравномерность размеров сварного шва: неравномерность (непостоянство) высоты и ширины шва, чрезмерное усиление шва ослабление стыкового соединения.

Причины: неравномерная скорость сварки, плохая подгонка кромок.

Устранение дефектов: дополнительное наложение швов, вырубка отдельных участков шва с последующей заваркой.

2.Наплывы (натёки) (рис. 83) образуются в результате стекания электродного металла на основной металл без сплавления с ним.

Причина. Нарушение режима сварки: большие ток или скорость сварки. Удаляют наплывы вырубкой, газовым резаком. При необходимости – проваривают.

3.Подрезы – канавки в основном металле, идущие по краям шва.

Причина. Повышенный ток, неправильный угол наклона электрода, большой диаметр электрода. Устраняют заваркой с предварительной расчисткой заваренных мест.

4. Незаплавленные кратеры – углубления, образующиеся после обрыва дуги в конце шва. Кратер уменьшает сечение шва, является концентратором напряжений, в нем часто образуются усадочные рыхлости и трещины.

Устранение – тщательное заплавление.

5.Прожег – чрезмерный провар корня шва. Дефект недопустимый.

Причины: большой ток, замедленная скорость перемещения электрода, большой зазор, маленькое притупление, тонкий основной металл.

Устранение: места прожогов вырубить и вновь заварить.

Рис. 83. Дефекты швов:
 наружные:
 а-неравномерность сечения;
 б,в-отклонения размеров;
 г,д-подрезы;
 е-трещины;
 внутренние:
 а,б,в-непровары;
 г,д-шлаковые включения;
 е-поры

6.Поры – резкое перенасыщение ванны газами, которые не успевают выделиться в шлак и атмосферу.

Причины: загрязнённость кромок и присадочной проволоки, влажность обмазки электродов и флюсов, большая длина дуги, очень быстрая кристаллизация ванны, неправильная регулировка газового пламени.

Устранение. Скопление или цепочку пор вырубает и заваривают вновь.

7. Трещины – наиболее опасный дефект, резко снижающий прочность изделия, особенно при циклических нагрузках.

Исправления возможны при наличии единых трещин:

- засверлить металл на расстоянии 30-50 мм от концов трещины;
- разделить трещину;
- нагреть участки металла на концах трещины до 100-150 °С;
- заварить трещину с подогревом за концами трещины.

Внутренние дефекты.

1.Непровар – недостаточное сплавление или отсутствие сплавления кромок основного металла, между металлом шва и основным металлом, между отдельными слоями при многослойной сварке.

Ослабляя шов и вызывая концентрацию напряжений, является очень опасным дефектом.

Возможные причины:

- а) Неправильная разделка кромок: малы β и b ; большое C .
- б) Загрязнённость кромок.
- в) Большая длина сварочной дуги.
- г) Большой $d_{эл}$, большая $V_{св}$, недостаточный $I_{св}$.
- д) Затекание шлака в зазоры между свариваемыми элементами.
- е) Магнитное дутьё.
- ж) Смещение и перекосы свариваемых элементов.

Устраняется непровар вырубкой и последующей заваркой.

2.Шлаковые включения – полости в металле шва, заполненные неметаллическим веществом.

Причины: - затекание шлака в зазор;

- растрескивание электродного покрытия, засоряющего ванну;

- быстрое охлаждение ванны, что затрудняет всплывание шлака;
 - окалина и ржавчина на кромках, переходящая в шлак.
3. Трещины и поры аналогичные наружным.
 4. Перегрев – образование хрупкой крупнокристаллической структуры в ЗТВ или в наплавленном металле.
- Вызывает снижение прочности и пластичности соединения.

Лекция 17 (2 часа)

Тема: Технологические особенности сварки сталей

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Электроды для сварки сталей.
2. Характеристика низкоуглеродистых сталей.
3. Технологические особенности сварки низкоуглеродистых сталей.
4. Сварка средне – и высокоуглеродистых сталей
5. Улучшение технологической прочности изделий
6. Сварка легированных сталей
7. Термическая обработка сварочных изделий

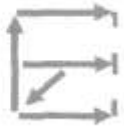
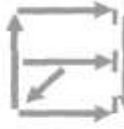
1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Рекомендуемые для сварки электроды

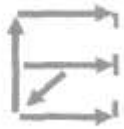
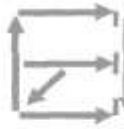
Марка стали	σ_b , МПа	Электроды	
		тип	марка
09Г2С 10Г2 10ХСНД 14Г2	450	Э46А	УОНИ – 13 /45, СМ - 11
		Э50А	УОНИ – 13/55, АНО – 11, К- 5А
15ХСНД 16ГС, 17ГС 16ГФР	650	Э55	УОНИ - 13/55 У

АРМАТУРНЫЕ СТАЛИ свариваемые			
КЛАСС СТАЛИ	МАРКА СТАЛИ	Предел прочности, МПа	Диаметр стержня, мм
A-I	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс	373	5,5-40
A-II	Ст5сп, Ст5пс, 18Г2С	420	10-80
Ac-II	10ГТ	441	10-32
A-III	35ГС, 25Г2С, 32Г2Рпс	590	6-40
At-IIIc	Ст5сп, Ст5пс	590	6-40
A-IV	80С, 20ХГ2Ц	883	10-32
At-IV	20ГС	780	10-40
At-IVc	25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС	780	10-40
At-IVк	10ГС2, 08Г2С, 25С2Р	780	10-32
A-V	23Х2Г2Т	1030	10-32
At-V	20ГС, 20ГС2, 10ГС2, 08Г2С, 25Г2С, 28С и др.	980	18-32
At-Vк	35ГС, 25С2Р	980	18-32
A-VI	22Х2Г2АВ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР	1230	10-22
A-VII	30ХС2	1370-1420	10-32

**Характеристики электродов
для сварки углеродистых и низколегированных сталей**

ОЗС-23 E410 - P23	Р	$\sim (+)$	8,5	
Для сварки конструкций малой толщины по окисленной поверхности. Малая чувствительность к порообразованию. Низкая токсичность. $U_{\text{н}} \geq 50 \text{ В}$				
ОМА-2 E412 - АЦ16	АЦ	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных металлоконструкций малой толщины (0,8 - 3,0 мм). Сварка удлиненной дугой по окисленной поверхности. Электроды с малой проплавляющей способностью. $U_{\text{н}} \geq 60 \text{ В}$				
Тип Э42А Стали с пределом прочности при растяжении до 412 МПа (42 кгс/мм ²) с высокими требованиями к шву по пластичности и ударной вязкости				
УОНИ-13/45 E412(4) - Б20	Б	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных конструкций, работающих при пониженных температурах. Сварка короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				
УОНИ-13/45А E414 - Б20	Б	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных конструкций из сталей типа СХП-4, МС-1, СтЗсп и им подобных. Сварка короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				

**Характеристики электродов
для сварки углеродистых и низколегированных сталей**

ОЗС-23 E410 - P23	Р	$\sim (+)$	8,5	
Для сварки конструкций малой толщины по окисленной поверхности. Малая чувствительность к порообразованию. Низкая токсичность. $U_{\text{н}} \geq 50 \text{ В}$				
ОМА-2 E412 - АЦ16	АЦ	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных металлоконструкций малой толщины (0,8 - 3,0 мм). Сварка удлиненной дугой по окисленной поверхности. Электроды с малой проплавляющей способностью. $U_{\text{н}} \geq 60 \text{ В}$				
Тип Э42А Стали с пределом прочности при растяжении до 412 МПа (42 кгс/мм ²) с высокими требованиями к шву по пластичности и ударной вязкости				
УОНИ-13/45 E412(4) - Б20	Б	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных конструкций, работающих при пониженных температурах. Сварка короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				
УОНИ-13/45А E414 - Б20	Б	$\sim (+)$	10,0	
Для сварки ответственных конструкций из сталей типа СХП-4, МС-1, СтЗсп и им подобных. Сварка короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				

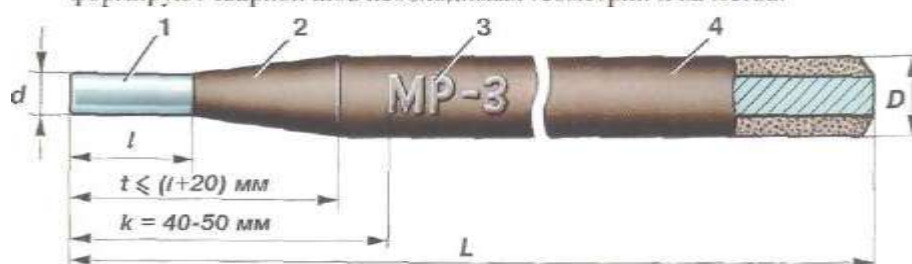
УОНИ-13/45А Е414 - Б20	Б	= (+)	10,0	
Для сварки ответственных конструкций из сталей типа СХЛ-4, МС-1, СтЗсп и им подобных. Сварка короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				
УОНИИ-13/45 Е412(4) - Б20	Б	= (+)	10,0	
Для сварки ответственных конструкций, работающих при пониженных температурах. Сварка предельно короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				
УОНИИ-13/45А Е414 - Б20	Б	= (+)	9,5	
Для сварки ответственных конструкций, работающих при пониженных температурах. Сварка предельно короткой дугой по тщательно зачищенным кромкам				
УОНИИ-13/45Р Е412(3) - Б20	Б	= (+)	9,5	
Для сварки судостроительных сталей. Сварка короткой дугой по зачищенным кромкам. Высокая стойкость металла шва к образованию горячих трещин				

ПОКРЫТЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

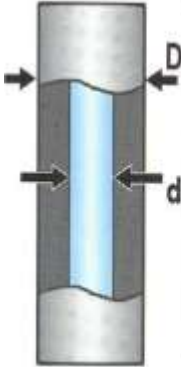
Назначение. Для ручной дуговой сварки металлоконструкций широкого использования из различных сталей, металлов и сплавов, для наплавки слоев с особыми свойствами на поверхности деталей и узлов, а также для дуговой резки и строжки металлов.

Функции:

- подводят электрический ток к дуговому промежутку;
- зажигают дугу и перемещают ее в пространстве;
- регулируют токовый режим в процессе сварки;
- расплавляют основной и присадочный металл;
- формируют сварочную ванну;
- формируют сварной шов необходимых геометрии и качества.



1 - стержень; 2 - участок перехода; 3 - марка электрода; 4 - покрытие



ПО ТОЛЩИНЕ ПОКРЫТИЯ		ОБОЗНАЧЕНИЕ
С тонким покрытием	$D/d \leq 1,2$	М
Со средним покрытием	$1,2 < D/d \leq 1,45$	С
С толстым покрытием	$1,45 < D/d \leq 1,8$	Д
С особо толстым покрытием	$D/d > 1,8$	Г

ПРИМЕР УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА

Назначение: сварка углеродистых и низколегированных сталей

Тип электрода, прочностная характеристика 420 МПа	Марка электрода	Диаметр электрода 3 мм	Покрытие толстое
Э42А - УОНИ-13/45 - 3,0 - УД			
ГОСТ 9466-75			
Е432(5) - Б 1 0			
ГОСТ 9467-75			
Группа индексов, указывающая на прочностные характеристики металла шва по ГОСТ 9467-75	Постоянный ток, обратная полярность Допустимое пространственное положение - любое Покрытие основное		

По типам	По маркам	По назначению	По видам покрытия
Э38....Э60	АНО-1	У - для углеродистых и низколегированных сталей	А - кислое
Э85, Э100	ОЗС-6	Л - для легированных конструкционных сталей	Б - основное
Э125, Э150	МР-3	Т - для легированных теплоустойчивых сталей	Р - рутиловое
Э-09МХ... и др.	УОНИ-13/45	В - для высоколегированных сталей с особыми свойствами	Ц - целлюлозное
Э-07Х20Н9... и др.	другие	Н - для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами	П - прочие виды
Э-10Г2... и др.			АЦ, РБ и др. - смешанные
			АЖ и др. - покрытие с железным порошком

По диаметрам	По пространственным положениям	По роду тока, полярности, $U_{\text{х}}$ источника ~ тока
1,6	1 - во всех	Индекс
2,5	2 - во всех, кроме вертикального "сверху-вниз"	Полярность = тока
4,0	3 - нижнее, горизонтальное и вертикальное "снизу-вверх"	$U_{\text{х}}$ тр-ра, В
6,0	4 - нижнее и нижнее «в лодочку»	0 Обратная (+) -
		1 Любая (+,-) 50
		2 Прямая (-) 50
		3 Обратная (+) 50
		4 Любая (+,-) 70
		5 Прямая (-) 70
		6 Обратная (+) 70
		7 Любая (+,-) 90
		8 Прямая (-) 90
		9 Обратная (+) 90

. характеристика низкоуглеродистых сталей

Углеродистая сталь широко применяется в машинах, оборудовании, строительных сооружениях. Температурная область применения от -40 до 425° .

Механические и технологические свойства сталей в значительной степени зависят от их раскисленности.

Кипящие стали – раскислены только Mn, содержание Si меньше 0,05 – 0,07%. Для них характерна повышенная неравномерность распределения S и P, и хрупкость.

Спокойные стали получены полным раскислением Si, Mn, Al. Азот и кислород в них связаны Al. Дисперсность Ф-П-ой структуры повышена, повышена ударная вязкость. Прочность сталей закономерно возрастает с увеличением содержания углерода (см. таблицу).

В сварных соединениях из малоуглеродистых сталей Ф-П-я структура металлического шва и ЗТВ на отдельных участках может отличаться соотношением составляющих, дисперсностью и характером строения.

Феррит.

В зависимости от размера исходного зерна аустенита и условий охлаждения образуется:
полиэдрический – при медленном охлаждении;
игольчатый – при быстром охлаждении;
видманшеттовый – из крупнозернистого аустенита при относительно быстром охлаждении.

Перлит.

При различной $V_{охл.}$ образуется собственно перлит, сорбит, тростит.

Таблица. Химический состав и прочность некоторых низкоуглеродистых сталей.

Марка стали	Пределы содержания химических элементов, %			G_B , МПа
	C	Mn	Si	
Ст 3 кп,				
Ст 3 кп	0,14 – 0,22	0,30 – 0,60	до 0,07	340-370
Ст 3 сп	0,14 – 0,22	0,40 – 0,65	0,12 – 0,30	380-490
Ст 3 Гпс	0,14 – 0,22	0,80 – 1,10	0,15	380-500
10	0,07 – 0,14	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	370
20	0,17 – 0,24	0,35-0,65	0,17 – 0,37	410

14.2.2 Технология сварки

Основные требования к сварным соединениям – обеспечение равнопрочности с основным металлом, и отсутствие дефектов. При соблюдении определенных условий низкоуглеродистые стали могут быть сварены всеми видами сварки. Кристаллизационные трещины возможны лишь при неблагоприятной форме провара (угловые швы), тогда рекомендуется подогрев. При сварке толстостенных конструкций (T от -10 до $-20^\circ C$) возможна закалка – подогрев.

В зависимости от условий применяют электроды с покрытием различного типа, но стержень всегда из малоуглеродистой сварочной проволоки Св – 08; Св – 08А; Св – 08ГА. Тип электрода: Э42, Э46 при сварке кипящих полуспокойных сталей.

Э42А, Э46А – при сварке спокойных сталей.

Электроды с кислым покрытием (вид покрытия – А).

Марки: СМ- 5; ОММ – 5; ЦМ – 7. Род тока – любой.

Металл шва – полуспокойная сталь с повышенной (в сравнении с исходной) концентрацией O_2 и N_2 ; несколько повышенное содержание Si и Mn. Кремний предотвращает окисление углерода и тем самым – образование пор.

Электроды с кислым покрытием используются только для сварки низкоуглеродистых сталей кипящих и полуспокойных плавок.

Электроды с основным покрытием (вид п.Б).

Марки: УОНИ – 13/45; СМ – 11; ЦУ – 1; УОНИ – 13/55.

Ток постоянный, полярность обратная.

Металл шва хорошо раскислен, содержание Н низкое, Mn много - низкая чувствительность к S; металл прочен и пластичен.

Применяется для сварки и низко-, и высоко углеродных сталей рекомендуется для особо ответственных, жестких конструкций, толстостенных изделий.

Возможно образование пор:

- при наличии окалины на свариваемых кромках;
- сварка увлажненными электродами;

-сварка на длинной дуге – повышенное растворение азота в каплях.

Электроды с рутиловым покрытием (вид покрытия – Р)

Марки: АНО – 5; АНО – 6; МР – 3; ОЗС- 4 и другие.

Ток постоянный и переменный.

Содержание азота - среднее, кислорода – повышенное.

По механическим показателям металл занимает промежуточное положение в сравнении с металлом швов, полученных электродами с кислым и основным покрытием. При работе на повышенном токе наблюдается образование пор.

Отсыревшие электроды рекомендуется прокалывать при $T=180-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа и использовать через сутки.

Электроды с целлюлозным покрытием (вид покрытия Ц).

Марки: ВСЦ – 2; ВСЦ – 4; ВСЦ- 4А; ОМА- 2.

Обеспечивают преимущественно газовую защиту сварочной ванны.

Металл шва по химическому составу соответствует полуспокойной стали содержащей $\text{O}_2 = 0,04-0,10$; $\text{N}_2=0,01-0,02\%$.

Рекомендуется для сварки тонкого металла, первого слоя шва без подкладки.

14.3. Сварки средне - и высокоуглеродистых сталей

14.3.1.Среднеуглеродистые стали

Стали, содержащие углерода от 0,25 до 0,30 – конструкционные 25 и 30 и общего назначения $\text{C}_{\text{T}4}$ (С до 0,27%)-свариваются удовлетворительно; стали 35,40 и $\text{C}_{\text{T}5}$ (С до 0,37%)- ограниченно.

Электроды: Э42 А, Э46А или Э50А.

Диаметр электрода $d_3=4-5\text{ мм}$. Ток пониженный, постоянный обратной полярности (меньше проплавление). В шве содержание углерода 0,10-0,15%С, для обеспечения равнопрочности он легируется Si и Mn (за счет покрытия).

Хорошее качество сварки обеспечивает комплекс мер:

1. Подготовка к сварке: очистка, обработка кромок (при S от 5мм), закрепление прихватками.
2. Соблюдение режимов сварки
3. Применение специальных технологических приемов.

Многослойная сварка

При $S>15\text{ мм}$. Горкой, каскадом или блоками (рис. 98)

Стали 25 и $\text{C}_{\text{T}4}$ при S до 15мм – сваривают без подогрева. С большими показателями (С,% и S)- предварительный и сопутствующий подогрев до 120-150 $^{\circ}\text{C}$.

Дополнительные особенности:

- дугу зажигать только по линии шва;
- не допускать пересечения швов, незаваренных кратеров;
- прокладывать отжигающий валик;
- замедлять $V_{\text{охл}}$ (обмотка стыка асбестом).

14.3.2. Сварка высокоуглеродистых сталей

При сварке следует придерживаться правил, предусмотренных для среднеуглеродистых сталей. Обязателен предварительный и сопутствующий подогрев до более высокой температуры – 350 – 400 $^{\circ}\text{C}$ и последующая термическая обработка.

Хорошие результаты дает сварка узкими короткими валиками с охлаждением каждого слоя.

14.4.Сварка легированных сталей.

14.4.1. Характеристика сталей.

Низколегированные – до 2,5% по содержанию легирующих элементов;

Среднелегированные – 2,5 – 10 %;

Высоколегированные – более 10%.

Считают легирующими: марганец при концентрации более 1% , кремний, при концентрации более 0,8%.

Таблица. Рекомендуемые для сварки электроды

Марка стали	σ_b , МПа	Электроды	
		тип	марка
0,9Г2С 10Г2 10ХСНД 14Г2	450	Э46А	УОНИ – 13 /45, СМ - 11
		Э50А	УОНИ – 13/55, АНО – 11, К- 5А
15ХСНД 16ГС 16ГФР 17ГС	650	Э55	УОНИ - 13/55 У

Низколегированные стали имеют прочность после нормализации или закалки от 450 до 650 МПа (см. таблицу). Это в основном строительные стали.

14.4.2. Особенности сварки низколегированных сталей.

Стали 09Г2С, 10Г2 и другие сваривают практически как низкоуглеродистые. Они не закаляются и не склонны к перегреву.

Стали 15ХСНД, 16ГС и другие с содержанием углерода до 0,18% имеют склонность к образованию закалочных структур и перегреву в ЗТВ. Сваривают электродом d до 4-5 мм, в несколько слоев; при $S > 15$ мм «блоками», «каскадом» или горкой.

Имеется особая группа высокопрочных сталей, отнесенных к низколегированным конструкционным: 14Х2ГМ; 14Х2ГМРБ; 14ХМНДФР, с содержанием легирующих элементов 3 – 5% и прочностью $\sigma_b=650 – 850$ МПа.

Высокопрочные стали обладают удовлетворенной свариваемостью. Низкое содержание углерода приводит к образованию при охлаждении БЕЙНИТА или РЕЕЧНОГО МАРТЕНСИТА, т.к. распад аустенита идет при $T > 350$ °С – напряжения низкие, ХТ образуются редко. Рекомендуются для сварки электроды типа Э70 марки АНП-2 с основным покрытием.

Требования к подготовке, сборке, технике сварки ужесточены:

- тщательная подготовка и очистка кромок шириной от 20мм;
- надрезы, царапины зачистить шлифовальным, кругом на глубину 0,2-0,3мм;
- установка выводных планок в конце и в начале стыкового соединения;
- предварительный подогрев толстых ($S > 20$ мм) изделий до 60-100 °С, при отрицательных температурах – до 100-120°С.

14.4.3. Сварка среднелегированных сталей.

Стали типа 25ХГСА; 30Х2Н2М машиностроительные нормализованные или закаленные $G_b=900-1300$ Мпа.

Сварка их затруднена вследствие склонности к образованию закалочных структур.

Повышенное содержание углерода снижает T^0 мартенситного превращения, способствует образованию малопластичного игольчатого мартенсита. Кроме того, с увеличением содержания углерода увеличивается объем мартенсита.

Наличие легирующих элементов формирует у места сплавления высокотемпературную химическую микронеоднородность (ВХМН), что вызывает склонность к образованию трещин. Таким образом, стали склонны к образованию ГТ, и ХТ.

Во избежание образования ХТ:

- замедляют $V_{охл}$ сварного соединения за счет подогрева;
- в деталях должны быть предусмотрены плавные конструктивные переходы, закругления;
- применяют сборочные приспособления, обеспечивающие свободную усадку швов.

Подогрев для сталей типа 30ХГСА (при $S > 3$ мм и $T = 5-15^\circ\text{C}$) до $200-300^\circ\text{C}$.

Сразу после сварки - высокий отпуск. Разупрочнение ЗТВ требует выполнения общей закалки изделия.

Сварку ведут электродами с основным покрытием. Тип электрода Э85 (марка УОИИ-13/85); Э100 (ВИ-10-6); Э125 (НИАТ-3М) и другие.

14. 4.4.Высоколегированные стали

Высоколегированные - это стали специального назначения: нержавеющие, жаропрочные, кислотостойкие и так далее.

Особенности: они обладают повышенным (до 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения и пониженным (до 2 раз) коэффициентом теплопроводности в сравнении с низколегированными сталями. Большинство из них склонно к образованию трещин (и горячих и холодных). Кроме того, при сварке поверхность их нужно предохранять от брызг металла и шлака (иначе – корродирование и концентрация напряжений). С этой целью на поверхность наносят кремнийорганический лак, грунт типа ВЛ – 02.

Важная отличительная особенность. Electrodes должны иметь стержни и покрытия, обеспечивающие получение наплавленного металла, близкого по составу к основному. Легирующие элементы введены в металл электрода. Тип электрода указывает на состав металла шва; например, свариваемая сталь 12Х13, тип электрода Э12Х13, марка УОНИ – 10Х13; сталь 15Х11 ВМФ, тип электрода Э12Х11НМВФ, марка КТИ – 10. Ток постоянный, полярность обратная.

14.5.Термическая обработка сварных изделий

14.5.1.Виды и назначение термической обработки (ТО)

Т.О. преследует две основные цели:

- 1 – снятие остаточных напряжений;
- 2 – восстановление свойств металла в ЗТВ.

5.1.1. Снятие остаточных напряжений

Релаксация напряжений происходит интенсивно при $T > 600^\circ\text{C}$. Уже после часовой выдержки уровень остаточных напряжений существенно снижается. Таким образом высокий отпуск при $580 - 620^\circ\text{C}$ в течение одного часа практически снимает остаточные напряжения. После него необходимо равномерное охлаждение со скоростью $300 - 400^\circ\text{C}/\text{час}$. В интервале от 600 до 300°C в изделии перепад температуры не должен превышать 50°C . Ниже 300°C металл достаточно упруг, можно охлаждать быстрее (на спокойном воздухе).

Термический отдых - для низколегированных сталей, склонных к образованию трещин вследствие диффузии водорода из шва в ЗТВ. Нагрев до $250 - 300^\circ\text{C}$, выдержка несколько часов, охлаждение.

Восстановление свойств металла в ЗТВ

Устранение закаленных зон в сварных изделиях из низко - и среднелегированных сталей происходит в интервале $620 - 680^\circ\text{C}$.

Стабилизирующий отжиг – для сварных соединений из нержавеющей сталей (12Х18Н9, 12Х18Н12Т и др.) при 900 °С. Цель: снижение сварочных напряжений, выравнивание структуры предупреждение появления коррозионных трещин.

Аустенизация - для тех же сталей, если изделия работает при Т до 550 °С.

Нагрев до 1050 °С, выдержка, замедленное охлаждение. Структура получится однородной с повышенной пластичностью.

14.5.2. Технология термической обработки и оборудование

Различают два вида ТО по способу выполнения:

1. объемная ТО – изделие целиком обрабатывают в печи;
2. местная ТО – обрабатывают отдельный участок изделия.

В первом случае перепад температур минимальный, но нужны специальные дорогие печи. Во втором случае неизбежно появление дополнительных остаточных напряжений и ухудшение свойств металла.

Нагревательные устройства.

Индукционные электронагреватели – индукторы-соленоиды. Например, выполненные из охлаждаемой водой латунной (медной) трубки, на которую навит многожильный кабель, покрытый асбестовой изоляцией. Источники тока – сварочный трансформатор, ток промышленной частоты или высокочастотный преобразователь (2-8 тыс. Гц).

Гибкие электронагреватели сопротивления с плоскими спиралями из нихромовой проволоки в изоляционных керамических втулках; подогреватель состоит из гирлянды нагревающих элементов.

Газопламенные нагреватели – горелки: многопламенные, кольцевые, трубчатые с факельным устройством и т.п., работающие на ацетилене, пропане, природном газе.

Шнуры, коврики термохимического нагрева, изготовленные из экзотерических смесей. Они закрепляются на изделиях металлическими полосками и при сжигании обеспечивают нагрев до 800 °С.

Основные требования по ТО сварных изделий

1. Температура печи при посадке изделий не должна превышать 350 °С.
2. Допустимая скорость нагрева и охлаждения зависит от вида ТО, материала, типа сварного соединения, толщины изделия. При общей ТО изделий средней сложности
V- не более 200 °С/ч при S до 25 мм;
V- не более 100 °С/ч при S более 25 мм.
3. Температура отпуска изделий из термически упрочняемых марок стали должна быть на 20-40 °С ниже температуры отпуска свариваемых заготовок.
4. Закаливающиеся при сварке стали, получающие при этом хрупкие структуры, должны обрабатываться сразу после сварки.
5. При местной ТО для уменьшения перепада температур необходимо применять термоизоляцию (асбестовые коврики и т.д.).

Лекция 18 (2 часа)

Тема:Сварка чугуна. Наплавка. Пайка.

1.1.1 Вопросы лекции:

- 1.Характеристика чугунов.
- 2.Способы сварки.
- 3.Горячая сварка чугуна.
- 4.Холодная сварка чугуна.
5. Наплавка металлов
6. Пайка

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Чугун - многокомпонентный железоуглеродистый сплав, содержащий более 2.14% углерода, а также Si, Mn, S, P. Специальные чугуны содержат легирующие добавки: Ni, Cr, Mo и другие. Чугуны при затвердевании образуют эвтектики. Углеродный эквивалент

$$C_{\Sigma} = C + 0.3Si, \%$$

Доэвтектический чугун, затвердевает с первоначальным выделением аустенита (А). Заэвтектический – с выделением первичных: графита (Г₁) или цемента (Ц₁). Затем образуются эвтектики: карбидная или графитная. Замедленное охлаждение способствует выделению Г. Дальнейшее снижение температуры приводит к эвтектоидным превращениям аустенита в зависимости от скорости охлаждения по стабильной (А → Ф + Г) или метастабильной схеме (А → Ф + Ц). При повышенной скорости охлаждения, при добавке в чугун карбидообразующих элементов аустенит даёт структуры высокой твёрдости.

Белые чугуны имеют светло-серый (белый) цвет в изломе. Практически не поддаются механической обработке.

Характеристика чугунов

15.1.1 Виды чугунов

Серые чугуны. Наличие пластинчатых включений графита придает серебристо-белый цвет излому, низкую чувствительность к внешнему надрезу и высокую сопротивляемость переменным нагрузкам. Кроме того, серый чугун обладает высокими литейными свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием и износостойкостью. Поэтому широко применяется как конструкционный материал.

Высокопрочные чугуны получают из расплава, применяя особые добавки. Структура: основа может быть Ф; Ф + П; П; А; М с равномерно распределённым включением шаровидного графита.

Ковкие чугуны с более или менее равномерно распределёнными в матрице графитными включениями в форме хлопьев или розеток.

Аустенитно – никелевые применяются в химических, пищевых и др. видах производства (насосы, котлы, трубопроводы, вентили, клапаны, фитинги). Обладают высокой жаропрочностью и жаростойкостью.

Высоколегированные хромистые чугуны применяются для изготовления деталей, подверженных сильному абразивному износу и коррозионностойких.

Химический состав, в %

Чугуны	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
Аустенитно-никелевые		2,75-3,1		1,0-2,5	0,8-2,3	До 22
Высоколегированные хромистые		1,8-3,5	0,5-2,5	0,3-1,0	0,5	До 10

15.1.2 Сварочные свойства чугуна. Чугун по физической свариваемости - хорошо свариваемый сплав, так как обладает неограниченной растворимостью основного и присадочного металла в жидком состоянии (за исключением Cu и других); возможностью диффузии в жидком и твёрдом состояниях с образованием твёрдых растворов (А и Ф).

Технологический чугун - трудносвариваемый материал по многим причинам. Во – первых, в зависимости от ряда причин углерод может быть получен структурно - свободным (Г) или в связанном состоянии (Ц). Последнее характеризует получение в металле шва околосварной зоны твердых и хрупких структур отбела.

Увеличивают хрупкость, снижают прочность сварного соединения и затрудняют его обработку также закалочные зоны.

Отсутствие пластичных структур после плавления и затвердевания при больших перепадах температур вызывает появление значительных сварочных напряжений и трещин.

Быстрая кристаллизация перегретого металла затрудняет выход газов из сварочной ванны и приводит к пористости шва. Высокая жидкотекучесть чугуна допускает сварку только в нижнем положении.

Высокая вероятность получения разнородного состава и структуры чугуна является причиной непостоянства механических свойств по длине шва.

Процесс сварки затрудняют образующиеся при этом тугоплавкие оксиды кремния.

Из-за технологической сложности сварку чугунных изделий выполняют только при ремонте и устранении дефектов.

Из практики известно, что лучше свариваются перлитные чугуны, имеющие мелкозернистую структуру и светло-серый излом (с мелкими графитными включениями, а также легированные Ni, Ti, Mo).

Хуже свариваются чугуны с крупнокристаллическим изломом (с крупными включениями графита) - ферритные серые чугуны.

Плохо свариваются чугуны с черным изломом (много графита, плохо смачивающегося жидким металлом), а также чугунные детали:

- длительно работавшие при температуре 300-400 °С – горелый чугун, в котором Si и C окислены, металл очень хрупок и почти не поддается сварке;

- детали, работавшие в контакте с нефтепродуктами, пропитавшими металл, - при сварке образуются сплошная пористость.

15.2. Способы сварки чугуна

В зависимости от конструктивных и технологических требований, предъявляемых к изделиям сваривают их дуговой, газовой, термитной сваркой или заливкой жидким чугуном. Технологические процессы могут быть выполнены сваркой, низкотемпературной пайко-сваркой (без расплавления основного металла), с образованием ванны большого размера; вручную или механизированным способом.

По температурному состоянию сваривать изделия:

1. Горячая сварка – с предварительным нагревом до 650 °С;

2. Полугорячая сварка с полным или местным подогревом до температуры 300 °С;

3. Холодная сварка – без подогрева изделия.

В зависимости от массы и габаритов восстанавливаемых изделий рекомендуются следующие способы и технологические особенности сварки:

1. мелкие детали (тракторов, автомобилей, машин и оборудования) - газовая сварка с общим предварительным нагревом и применением чугунной присадки

2. Детали средних габаритов и массы (от 100 до 1000 кг):

- общий подогрев, дуговая сварка с применением чугунной присадки;
- холодная дуговая сварка стальными электродами с постановкой стальных шпилек;
- при наличии обрабатываемых скользящих поверхностей – сварка железоникелевыми электродами.

3. крупные изделия (санины, рамы, корпуса) – холодная сварка стальными электродами с постановкой шпилек и вваркой в шов поперечных стальных связей, при небольших разрушениях применяются железоникелевые или медно-железные электроды; при заварке пробоин в стенках применяются стальные заплатки (рис.99) с отбортованными краями (для облегчения усадки).

15.3. ГОРЯЧАЯ СВАРКА ЧУГУНА

Область применения:

- обрабатываемые рабочие и нерабочие поверхности;
- сквозные дефекты деталей;
- крупные дефекты.

Способы сварки:

- ручная дуговая чугунными электродами;
- механизированная дуговая порошковыми проволоками;
- полуавтоматическая порошковой проволокой с использованием керамических стержней;
- газовая с чугунной присадкой;
- 15.3.1 РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ЧУГУННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Применяется для исправления крупных дефектов.

Подготовка – зачистка и разделка полости.

Формовка. Чугун жидкотекуч, а масса сварочной ванны может составлять несколько килограммов. Для предотвращения вытекания металла и придания наплавленному металлу нужной формы формуют завариваемую полость с помощью графитных пластин и формовочной массы, а при больших размерах дефектов - в опоках формовочными смесями.

Нагрев. Общий равномерный нагрев - при расположении дефекта в жестком контуре, а также во избежание возникновения напряжений.

Местный нагрев – рекомендуется, если дефект в нежестком контуре и допустимо некоторое коробление изделия.

Мелкие детали подогревают до 200-500, крупногабаритные – до 650 °С.

Сварка. Большая сварочная ванна (площадью до 50-60 кв. см.) обеспечивает удаление из расплава газов и неметаллических включений.

Электроды чугунные диаметром от 8 до 16 мм марок ОМЧ, ВЧ-3, МЧ-1 (стержни марок А и Б), при силе тока от 600 до 1800 А.. Источники тока: ВДМ-1601, ВДУ-1201, ТДФ-1601 и другие. Можно заваривать дефекты угольными электродами диаметром 8-12 мм, ток переменный или постоянный (прямая полярность) от 180 до 600 А. Присадочный материал - стержни марок А и Б, флюс – бура или смесь буры и соды (по 50%).

Охлаждение. Медленное охлаждение (например, вместе с печью или под слоем мелкого древесного угля) исключает возникновение больших остаточных напряжений и трещин, а также появление структур отбела и закалки.

15.3.2. ГАЗОВАЯ СВАРКА.

Для исправления дефектов небольших и средних размеров (пл. до 100 кв. см) с применением присадочных чугунных прутков: А и Б или I и II, дающих ферритную структуру наплавленного металла.

Прутки марок I и А используются для сварки крупногабаритных отливок с общим подогревом до 500-700 °С, а марок II и Б – для деталей сложного профиля с тонкими стенками и местным подогревом до 300-400 °С (полугорячая сварка).

Местный нагрев осуществляется в горнах (на коксовом угле), пламенными горелками, паяльными лампами. Общий нагрев – в коксовых горнах, нагревательных ямных печах (единичные работы); в сдвоенных камерных печах, печах с выдвижным подом (мелкосерийное производство).

Сварка производится нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Излишек ацетилена вызывает пористость. Окисляющее пламя и медленная сварка – образуют много оксидов, шлаковых включений.

Можно применить газы-заменители ацетилена, специальные горелки типа ГЗУ или универсальные Г2 и Г3 с наконечниками на один номер больше, чем при ацетиленокислородной сварке. Расход газа 60-70 л/ч пропан-бутана или 100-120 л/ч ацетилена на 1 мм толщины изделия.

При использовании газов - заменителей в 2-3 раза увеличивается расход кислорода, требуется высокая квалификация сварщика (зоны пламени выражены нечетко).

При горячей газовой сварке обязательно применение флюсов. Флюсы предотвращают окисление кромок твердого металла, извлекают оксиды и неметаллические включения из ванны, способствуют образованию шлакового защитного слоя на поверхности ванны.

Флюсы улучшают также смачивание поверхности основного металла жидким расплавом. Флюсы:

1. буратехническая плавная, прокаленная $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$;
2. бура и двууглекислый натрий (по 50%).

15.4. Холодная сварка чугуна.

Холодную сварку применяют, когда трудно или экономически нецелесообразно выполнять горячую сварку с подогревом. Сварку ведут различными электродами: чугунными, из никелевого аустенитного чугуна; стальными со специальным покрытием или без него; медными (из монель - металла); комбинированными.

15.4.1. Сварка чугунными электродами.

Применяется для исправления дефектов чугунного литья прутками марок А и Б на постоянном или переменном токе. Металл шва по химическому составу близок к основному металлу. Однако по шву и в ЗТВ металл «отбеливается», что затрудняет последующую механическую обработку. Электроды из специальных никелевых чугунов дают хорошо обрабатываемый металл. При этом сваривают (заваривают) в несколько слоев с возвратно-поступательным движением электрода. Основной недостаток - низкая стойкость металла шва против трещин.

15.4.2. Сварка стальными электродами с постановкой шпилек.

Применяется для разгрузки металла шва от напряжений или повышения прочности сварных соединения в крупногабаритных изделиях, работающих под нагрузкой.

Подготовка. Кромки разделяют под углом в 45 градусов (при S больше 6 мм), просверливают глухие отверстия, нарезают (без масла) в них резьбу и ввертывают стальные (с низким содержанием углерода) шпильки (рис. 100). В разделку устанавливают шпильки в один (S меньше 10 - 12 мм) или два ряда (S больше 12 мм) в шахматном порядке с расстоянием между рядами $\ell_0 = (3-4)d_{ш}$. Рядом с разделкой устанавливают шпильки меньшего диаметра; шаг от 5 до 20 мм. Подготовленные кромки очищают и устанавливают под сварку.

Диаметр шпилек $d_{ш}$ и их размещение. Диаметр $d_{ш}$ при толщине свариваемых кромок до 10 мм не должен превышать 6 мм, при больших толщинах (до 30 мм и более) $d_{ш} = 10 - 16$ мм.

Шаг в ряду шпилек $\ell = 40 - 80$ мм, расстояние до ребра кромки $(1,5 - 20)d_{ш}$. Глубина ввертывания $1,5 d_{ш}$, высота выступающей части от 0,5 до $1,0 d_{ш}$.

Формирование шва. Сначала обваривают шпильки кольцевыми валиками, затем накладывают круговые валики второго слоя и заполняют далее разделку короткими участками по 60 - 150 мм, чтобы не разогреть сильно изделие.

15.4.3. Сварка электродами на медно-никелевой основе.

Применяется:

- когда наплавленный металл должен хорошо обрабатываться;
- от своего соединения не требуется большой прочности;
- Дефект после разделки имеет глубину до 15 - 20 мм и площадь наплавки металла до 30 см^2 (с наполнителем - до 50 см^2).

Электроды на $\text{Cu} - \text{Ni}$ основе МНЧ - 2 обеспечивают получение плотного наплавленного металла, имеющего твердость HB 140 - 160. В зоне сплавления образуется узкая полоска повышенной твердости, не ухудшающая обрабатываемость. Получается чистая и ровная поверхность при толщине снимаемой стружки до 4 мм. Электроды МНЧ - 2 имеют медно-никелевый 3 - 6 мм стержень и специальное покрытие. Электроды $d3$ мм применяют при заварке небольших дефектов и для укладки первого слоя при много слоевой наварке.

Электроды $d 4 - 5$ мм - при заварке дефектов средних размеров:

- для первых (изолированных) слоев при многослойной наплавке стальными электродами.

Электроды $d=6$ мм - для заварки дефектов средних и крупных размеров в качестве наполнителя по слоям, выполненным медно-стальными (стальными) электродами. Ток постоянный, полярность обратная. $I = (25 - 30) \text{ дэ}$.

Порядок укладки валиков:

- проложить валик длиной до 60 – 70 мм, очистить его от шлака, зачистить его металлической щеткой, проковать легкими ударами, дать остыть;
- проложить параллельно второй валик с перекрытием первого на треть ширины, очистить, зачистить, проковать для снижения напряжений, остудить;
- заполнить указанным способом весь дефект с учетом пропуска на обработку высотой 3 – 4 мм.

15.4.4.Газовая сварка.

Применяется в тех случаях, когда не затруднена деформация, например, приварка отбитых частей.

Чтобы обеспечить замедленное охлаждение сварного соединения мощность пламени должна быть максимально возможной.

Допускается подготовку кромок выполнять расплавлением их горелкой, жидкий чугун при этом быстро удалять скребком или присадочным прутком при обильном введении флюса. Этот способ разделки кромок обеспечивает снижение скорости охлаждения соединения и удаление проникших в пористый чугун жиров, примесей.

В остальном режимы и техника сварки такие же, как при горячей сварки чугуна. Флюсы и присадочные материалы те же.

Наплавка металлов

Наплавка-процесс нанесения слоя расплавленного металла на поверхность детали.

Основная схема: химические связи формируются благодаря наличию ванны жидких металлов – наплавляемого и основного (частично оплавленной детали)

Применимы все способы сварки.

Вторая схема: расплавляется наплавляемый металл, а поверхность детали нагревается до температуры смачивания.

Цель наплавки – повышение механических и физических свойств металла в определённом месте изделия или восстановление изношенной поверхности детали, а так же получение особого поверхностного слоя новой детали.

Материалы наплавочные: литые керамические и порошковые твёрдые сплавы содержащие карбиды Mn, Cr, W, Ti и др.

Толщина наплавленного слоя от 0,2 до 2 мм, иногда до 10 мм.

Проплавление основного металла и перемешивание его с наплавленным металлом должно быть минимальным для сохранения механических свойств наплавляемого слоя.

-угольные электроды для наплавки порошковых смесей

Способы наплавки различны. Чаще – электродуговые.

Ручная дуговая наплавка металлическими электродами.

Простой способ. Можно наплавлять детали любой формы. Наплавку ведут короткой дугой на минимальном токе.

Применяют:

-обычные покрытые электроды;

-специальные, покрытые для наплавки;

Автоматическая дуговая наплавка под флюсом

С целью снижения доли основного металла m (при обычных режимах с электродной проволокой $m=0.45 - 0.65$) применяют многоэлектродную наплавку – несколько электродных проволок плавятся блуждающей дугой. При этом получают $m=0.2-0.3$.

Применение тонкой широкой ленты или поперечных колебаний электронным способом.

Порошковая проволока ПП-АН120 типа 18ХГ1М с флюсом АН-60 применяется для наплавки катков и натяжных колес гусеничных машин. Порошковая лента - для наплавки высокохромистого износостойкого сплава «Сормайт» на детали, работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания (лапки культиватора).

Дуговая наплавка в газовой среде.

Вибродуговая наплавка (рис.101) в инертных или активных газах (CO_2). для восстановления изношенных валов, осей. Присадочной проволокой $\varnothing 1,5-2,0$ мм в специальном электролите (водный 3-4% раствор кальцинированной соды Na_2CO_3).

Сущность процесса: *возникает электрический разряд в электролите, тепло оплавляет конец вибрирующей проволоки. Расплавляемый металл в момент касания детали электродом переносится принудительно на деталь.*

Изделие не нагревается (хотя ванночка металла есть), поэтому можно наплавлять термически обработанные детали.

Напыление покрытий

Нагревание мелких частиц напыляемого материала и перенос их на поверхность изделия-подложки.

Покрытия: защитные, упрочняющие, декоративные.

Материал: металлы, керамика, полимеры.

Подложки: металл, стекло, ткани.

16.3. Пайка.

Пайка – технологический процесс соединения заготовок без расплавления их кромок путём смачивания сопрягаемых поверхностей расплавленным припоем и затем закристаллизовавшемся припоем.

Для хорошего смачивания соединяемых кромок и заполнения зазора между ними заготовки нагревают до температуры близкой к температуре плавления. Неразъемность соединения обеспечивается за счет взаимного растворения и диффузии припоя и основного материала. Заметим, что паяное неразъемное соединение можно распаять. Такие соединения выполняются в основном внахлестку и встык.

Паять можно:

- цветные металлы и сплавы;
- чугуны серые и ковкие;
- углеродистые и легированные стали;
- твердые сплавы;
- стекло;
- керамику;
- разнородные материалы (из перечисленных).

Современные технологические процессы пайки позволяют получать соединение равнопрочные с основным металлом при статических нагрузках, пригодные для эксплуатации в различных условиях, в том числе при температуре выше 1000°C . Пайка экономичнее сварки, мало меняет химический состав и механические свойства изделий, вызывает меньшие остаточные деформации, но по прочности уступает сварке.

Качественное соединение можно получить при строгом соблюдении технологического процесса, правильном выборе припоя и флюса. Необходимое условие – тщательная очистка соединяемых поверхностей – достигается иногда механической очисткой, чаще - травлением и обезжириванием.

По температуре плавления припоя выделяют две группы процессов пайки:

Пайка низкотемпературная - мягкими припоями ($T_{\text{пл.}}$ до 500°C) и пайка высокотемпературная (твердыми припоями, $T_{\text{плавления}}$ выше 500°C).

Припой мягкие.

Оловянно–свинцовые: ПОС-90, ПОС-40, ПОС-30 (90-30% Sn, остальное Pb).

Применяются для пайки посуды.

Оловянно-свинцовы –сурьмяные - для пайки электрических проводников .

Индиевые - пайка стекла, кварца, керамики.

Цинковые – пайка алюминия и сплавов.

Твердые припои (Т плавления до 1200° С).

Медные (МО... М4 с содержанием Cu от 100 до 99%) для пайки сталей, керамики, тугоплавких материалов.

Медно – цинковые :ПМЦ- 42, ПМЦ –52 (52% Cu), латунь, Л68 с Т плавления > 1000 °С; для пайки стали.

Серебряные: ПСр 72, ПСр 92 (92,5% Ag ; 7% Cu ; 0,5% Li) для пайки Cu, Ni, Ti, W и сплавов полупроводников при высоких требованиях к прочности, стойкости к вибрациям.

Медные припои с 4-9% фосфора используют для пайки меди и ее сплавов как самофлюсующихся, т. е. без применения флюсов.

Флюсы бывают твердые, пастообразные и жидкие.

Флюсы для низкотемпературной пайки.

Канифольные (чистая канифоль или раствор в спирте) для пайки медных сплавов, при добавке некоторых органических веществ – можно паять и медные сплавы, и оцинкованное, никелированное железо.

Галогенидные:

хлористый аммоний NH_4Cl ,

хлористый цинк ZnCl_2 .

Для пайки почти всех черных и цветных металлов.

Флюсы для высокотемпературной пайки.

Бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и борная кислота H_2BO_3 в различных сочетаниях для пайки чугуна, сталей углеродистых и медных сплавов медно – цинковыми и серебряными припоями.

Источники нагрева

Паяльник. Применяется для соединения проводников легкоплавкими оловянно-свинцовыми припоями.

Горелки газосварочные или плазменные.

Печи: электросопротивления, с индукционным нагревом, газопламенные и газовые.

Печи с расплавами солей или припоя. Температура ванны около 800°С.

На очищенные соединяемые поверхности наносят флюс, в зазоре или около размещают припой, скрепляют заготовки и погружают их в ванну.

Соляная ванна предохраняет от окисления.

Лекция 19 (2 часа)

Тема: Основные сведения о процессе резания металлов и режущем инструменте

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Способы обработки металлов резанием. Главное движение и движение подачи.
2. Геометрические параметры режущей части резца. Материалы для изготовления режущих инструментов.
3. Типы резцов.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

- Способы обработки металлов резанием. Главное движение и движение подачи.
- Геометрические параметры режущей части резца. Материалы для изготовления режущих инструментов.
- Типы резцов. Высокопроизводительные конструкции резцов, оснащенных твердым сплавом для работы в зоне высоких скоростей резания и подачи. Резцы с многогранными

неперетачиваемыми пластинками. Алмазные резцы.

Студенты инженерных специальностей сельскохозяйственных вузов (механизация сельского хозяйства, механизация гидромелиоративных работ, электрификация сельского хозяйства и др.) изучают курс «Технология материалов», включающий важный раздел «Обработка конструкционных материалов резанием». Изучение раздела «Обработка конструкционных материалов резанием» позволит студенту в дальнейшем сознательно управлять процессами ремонта и изготовления деталей факторов, сельскохозяйственных машин и средств механизации.

Излагаемый материал создает базу для последующего изучения студентами курсов «Надежность и ремонт машин», «Технология машиностроения», «Охрана труда» и других.

Наши соотечественники внесли большой вклад в развитие отечественного станкостроения. Так, еще в начале XVIII в. выдающийся механик, заведовавший мастерскими Петра I академик А. К. Нартов, изобрел самоходный суппорт к токарному станку и создал ряд оригинальных конструкций станков. Современник А. К. Нартова Марк Сидоров в 1714 г. создал многопозиционный станок для одновременной обработки 24 ружейных стволов. Через год Яков Батищев изготовил хонинговальный станок, или «обтирочную машину», для одновременной отделки 12 стволов. Великий русский ученый М. В. Ломоносов в середине XVIII в. изобрел и построил лобовые и сферотокарные станки для обработки зеркал и линз. Академик А. В. Гадолин в XIX в. разработал теоретические основы науки о станках. Он доказал целесообразность изменения чисел оборотов (частоты, вращения) станков в геометрической прогрессии. Этот закон используется и при проектировании современных станков.

Впервые серьезные научные исследования процессов резания металлов выполнены в XIX в.

Крупный вклад в эти исследования внесли отечественные ученые. В 1870 г. был опубликован труд горного инженера (впоследствии профессора) И. А. Тиме «Соппротивление металлов и дерева резанию». И. А. Тиме подробно изучил процесс образования стружки, ввел классификацию стружек, предложил формулу для расчета силы резания. В 1893 г. профессор К. А. Зворыкин изложил оригинальную теорию процесса резания, впервые применил гидравлический динамометр для определения сил резания. Преподаватель (позже профессор) Михайловской артиллерийской академии А. А. Брике в 1896 г. развил дальше вопросы механики процесса резания. В 1912 г. Я. Г. Усачев более подробно исследовал явления, происходящие при резании металлов. Его особой заслугой являются применение металлографии для исследования процессов резания и разработка метода определения температуры рабочей части резца с помощью термопар.

В 1936 г. была создана комиссия по созданию научно обоснованных нормативов режимов резания. В 1963 г. в нашей стране освоено производство синтетических алмазов, что подняло на более высокий уровень многие методы чистовой обработки материалов. Большую работу по решению проблемы создания алмазного инструмента проделали сотрудники Украинского института синтетических сверхтвёрдых материалов. Проблемами режущего инструмента занимается ряд научно-исследовательских институтов.

Однако до революции отечественное станкостроение все же было развито слабо. Царская Россия большую часть станков ввозила из-за границы. Быстрое развитие отечественного станкостроения началось после победы Великой Октябрьской социалистической революции, особенно в период индустриализации страны. Научным центром отечественного станкостроения является Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС), созданный в 1933 г.

• **ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ**

Одним из важнейших факторов повышения производительности труда в машиностроении является систематическое снижение величины припусков на механическую обработку. Этому способствует применение штамповки вместо свободнойковки, периодического проката, литья под давлением, литья по выплавляемым моделям и других более совершенных методов изготовления заготовок, позволяющих выполнить их размеры и форму, максимально приближающимися к готовой детали. Это не только снижает объем механической обработки, но в ряде случаев дает возможность почти полного исключения последующей обработки резанием.

Основными методами обработки материалов резанием являются точение (рис. 1, а), сверление (рис. 1, б), фрезерование (рис. 1, в), строгание (рис. 1, г) и шлифование (рис. 1, д). Из них наиболее распространенным и изученным методом с точки зрения теории резания металлов является точение. Процесс точения имеет много общего со всеми другими методами механической обработки металлов, поэтому правильное понимание этого процесса облегчает изучение всех других методов обработки резанием, что и дает основание осветить точение более подробно.

Основные понятия, относящиеся к обработке деталей резцами.

Рассмотрение углов режущих инструментов наиболее часто производят в статической системе координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки резца, ориентированной по направлению скорости главного движения резания. Углы рассматриваются в главной и вспомогательных секущих плоскостях и в плане.

При точении на детали различают необработанную поверхность 1, обрабатываемую поверхность 2 и обработанную поверхность 3. Обрабатываемой поверхностью называют поверхность, с которой снимается стружка. Обработанной поверхностью называется поверхность, полученная после снятия стружки.

Для определения углов резца устанавливают исходные плоскости: основную плоскость - 4; плоскость резания - 5.

Основной плоскостью называется плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения v . увеличить шероховатость обработанной поверхности

• **Материалы для изготовления режущих инструментов.**

Режущие кромки инструментов в процессе работы находятся под действием больших давлений и, кроме того, нагреваются до высоких температур в результате деформирования обрабатываемого материала и наличия сил резания.

Поэтому инструментальные материалы должны обладать высокой твердостью (HRC 60. . 65), значительной теплостойкостью и износостойкостью, высокой механической прочностью и вязкостью.

Режущие инструменты целиком или частично изготавливают из инструментальных сталей и твердых сплавов.

Инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие. Углеродистые стали бывают качественные и высококачественные. Высококачественные стали, обычно получаемые в электропечах, более чистые по химическому составу, т. е. содержат меньшее количество вредных примесей — серы и фосфора.

Для обозначения марки высококачественной стали вводится буква А. В марках инструментальных углеродистых сталей без буквы А серы и фосфора должно содержаться не более 0,03 и 0,035 %, а в марках с буквой А — не более 0,02 и 0,03 % каждого элемента соответственно. Буква У в марке стали обозначает, что эта сталь углеродистая; цифра в марке обозначает содержание в стали углерода в десятых долях процента.

Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления слесарно-монтажных и ручных режущих инструментов, работающих при малых скоростях

резания. Зубила, отвертки, ножницы изготавливают из стали марок У7 и У7А; пробойники, ножи, ножницы, пуансоны, кернеры, пилы, ножовки - из стали марок У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А; слесарные метчики и напильники - из стали марок У11, УНА, У12, У12А, У13, У13А.

Инструменты из углеродистой стали подвергают термической обработке, которая состоит в закалке (нагреве до температуры 750. . 840 °С и быстром охлаждении в воде или масле) и последующем отпуске (при температуре около 200 °С), что обеспечивает необходимую твердость и достаточную пластичность материала инструмента. Инструменты из углеродистой инструментальной стали тщательно шлифуют и доводят до получения высокой остроты кромок, поэтому их успешно применяют там, где необходимо получить высокое качество обработанной поверхности при малых скоростях резания.

Легированные инструментальные стали, применяемые для изготовления режущих инструментов, можно разделить на хромистые, хромокремнистые, вольфрамовые и хромовольфрамомарганцовистые. Наиболее распространены следующие марки таких сталей: Х, 9ХС, В1 и ХВГ.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки; из стали марки 9ХС

- сверла, развертки, фрезы, метчики и плашки. Сталь марки В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков, разверток, а сталь ХВГ — для изготовления протяжек, длинных метчиков и разверток.

Быстрорежущие (высоколегированные) стали применяют для изготовления различных инструментов (чаще фрез, сверл, зенкеров). Изготовленные из таких сталей режущие инструменты обладают высокой теплостойкостью и могут работать с более высокими скоростями резания и сечениями среза, чем инструменты из углеродистых и низколегированных инструментальных сталей. Важнейшие компоненты быстрорежущих сталей — вольфрам (9. . 18 %), а также хром и ванадий. Различают быстрорежущие стали нормальной и повышенной производительности. Наиболее распространены быстрорежущие стали нормальной производительности марок Р18 (вольфрама -18%) и Р9 (вольфрама -9%).

Инструменты из быстрорежущей стали подвергают закалке с нагревом до температуры 1270. . 1290 °С (для Р18) и 1230. . 1250 °С (для Р9) с последующим охлаждением в масле, трех-четырекратному отпуску при температуре 560. . 580 °С с выдержкой при этой температуре в течение 1 ч и охлаждению на воздухе. После такой термической обработки инструмент из быстрорежущей стали имеет высокую твердость (HRC 62. . 65). Кроме вольфрама, быстрорежущие стали легируют молибденом, ванадием и кобальтом. Молибден действует, подобно вольфраму, но способствует появлению хрупкости в стали. Поэтому его содержание ограничивают 5 %. Введение ванадия повышает твердость стали, но уменьшает ее теплопроводность и ухудшает ее обрабатываемость шлифованием (появляются прижоги). Кобальт повышает износостойкость и теплопроводность стали. Вольфрамомолибденовую сталь Р6М5 применяют взамен стали Р18.

Группа быстрорежущих сталей повышенной производительности характеризуется введением в их состав ванадия и кобальта. Эти стали (Р18К5Ф2, Р10К5Ф5, Р9КЮ, Р14Ф4 и др.) обеспечивают повышение стойкости инструмента в 2. . 4 раза по сравнению со сталью Р18. Применяют эту группу сталей для обработки нержавеющей и жаропрочных сплавов.

Твердые сплавы подразделяют на металлокерамические и минералокерамические и выпускают в виде различных пластинок, применяемых для оснащения режущих кромок инструментов. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов, допускают особенно высокие скорости резания, так как их теплостойкость значительно выше, чем у инструментов из быстрорежущих, а тем более углеродистых сталей. Кроме того, твердые сплавы обладают большой сопротивляемостью истиранию.

Металлокерамические твердые сплавы разделяют на вольфрамовые (однокарбидные), вольфрамотитановые (двухкарбидные), вольфрамотитанотанталовые (трехкарбидные). Вольфрамовые сплавы (группы ВК) состоят из карбидов вольфрама WC и цементирующей связки — кобальта. Вольфрамотитановые сплавы (группа ТК) состоят из карбида вольфрама WC , карбида титана TiC и кобальта. Вольфрамотитанотанталовые сплавы (группы ТТК) состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта.

По марке твердого сплава можно судить о химическом составе сплава. Буква К с последующей цифрой обозначает содержание кобальта в процентах. Так, в сплаве ВК6 содержится 6 % кобальта, остальное (94 %) — карбиды вольфрама. Содержание карбидов титана в сплаве группы ТК дано цифрой после буквы Т. Например, в сплаве Т5К10 имеется 5 % карбидов титана, 10 % кобальта, остальное (85 %) — карбиды вольфрама. В группе вольфрамотитанотанталовых сплавов (ТТК) после второй буквы Т дается суммарное содержание карбидов титана и карбидов тантала в процентах. Так, в сплаве ТТ7К15 содержится 7 % карбидов титана и тантала, 15 % кобальта, остальное (78 %) — карбиды вольфрама.

Сплавы группы ВК применяют при обработке деталей из чугуна. При обработке стальных деталей следует применять сплавы группы ТК и ТТК. Сплавы группы ТТК по прочности и стойкости занимают промежуточное положение между быстрорежущей сталью и твердым сплавом Т5К10.

С увеличением содержания кобальта сплавы становятся менее хрупкими, их прочность при изгибе увеличивается. Поэтому сплавы с большим содержанием кобальта применяют при черновой обработке, с меньшим — при чистовой.

Минералокерамические твердые сплавы — относительно новый инструментальный материал. Минералокерамика представляет собой окись алюминия Al_2O_3 , подвергнутую специальной термической обработке и выпускаемую в форме пластинок белого цвета разнообразных профилей и размеров.

Минералокерамика превосходит металл окерамические твердые сплавы по твердости и теплостойкости, но значительно уступает им в отношении вязкости и теплопроводности. Резцы с минералокерамическими пластинками применяют на чистовых операциях, т. е. при работе с высокими скоростями резания (свыше 200 м/мин), при подачах до 0,15...0,6 мм/об при обработке стали и до 0,3...0,8 мм/об при обработке чугуна.

В последние годы в качестве инструментального материала начинают применять керамико-металлические сплавы — *керметы*, состоящие из окиси алюминия Al_2O_3 и карбидов вольфрама, титана и молибдена. Пластины керметов марок ВОК-60, ВОК-63 и ВЗ имеют черный цвет; их выпускают в виде многогранных и круглых пластинок. Керметы примерно в два раза прочнее минералокерамики, но менее износостойки. Керметы применяют для чистовой обработки деталей.

Для чистового и тонкого точения (реже фрезерования) применяют также гексанит Р и синтетические поликристаллические алмазы типа «карбонадо». Гексанит получают из гексагонального графитоподобного нитрида бора с помощью ударных волн. Затем частицы гексанита спекают в условиях сверхвысоких давлений в компактные поликристаллические изделия — гексанит Р — массой 0,3...1,5 карата. Поликристаллы гексанита Р закрепляют на стальной державке припоем. Резцы из гексанита Р применяют для обработки закаленных и жаропрочных сталей, твердых сплавов. Резцы, оснащенные алмазами карбонадо, используют для обработки стеклопластиков, пластмасс, твердых сплавов, высококремнистых алюминиевых сплавов, цветных металлов, титановых сплавов и некоторых видов керамики. Применение инструмента из гексанита Р и карбонадо позволяет заменить операцию круглого шлифования точением.

Наиболее высокой теплостойкостью (высокими режущими свойствами) обладают металло- и минералокерамические твердые сплавы.

Значительную часть металлорежущего инструмента изготавливают составной — рабочая часть из инструментального материала (быстрорежущая сталь, металло- и минералокерамика), крепежная из конструкционных сталей (стали 45, 50, 40Х и др.; в случае тяжелогруженных корпусов — сталь У10 или 9ХС). Рабочую часть инструмента из быстрорежущей части соединяют с крепежной сваркой. Металло-керамические твердые сплавы соединяют с крепежной частью пайкой или механическим путем. Инструменты из углеродистых и легированных инструментальных сталей изготовляют целиком из одного материала. Вспомогательный инструмент (оправки, переходные втулки и др.) делают из конструкционных сталей.

- **Виды токарных резцов.**

Токарные резцы различают по форме головки и направлению подачи, изогнутости головки, конструкции, сечению стержня, материалу рабочей части, назначению и т. д. По форме головки и направлению подачи резцы подразделяют на правые и левые. Правыми (рис. 5.4, а) называют такие резцы, у которых при наложении на них сверху ладони правой руки главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца, левыми — резцы, у которых главная режущая кромка также оказывается расположенной на стороне большого пальца, но уже при наложении ладони левой руки. Правые работают с подачей справа налево (от задней бабки к передней), левые — в обратном направлении.

Могут быть также резцы отогнутыми (рис. 5.4, б) вправо или влево, изогнутыми (рис. 5.4, в) вверх или вниз и оттянутыми (рис. 5.4, г) вправо или влево. У изогнутых резцов ось резца изогнута в боковой проекции. У резцов с оттянутой головкой ширина головки обычно меньше ширины тела резца. Головка

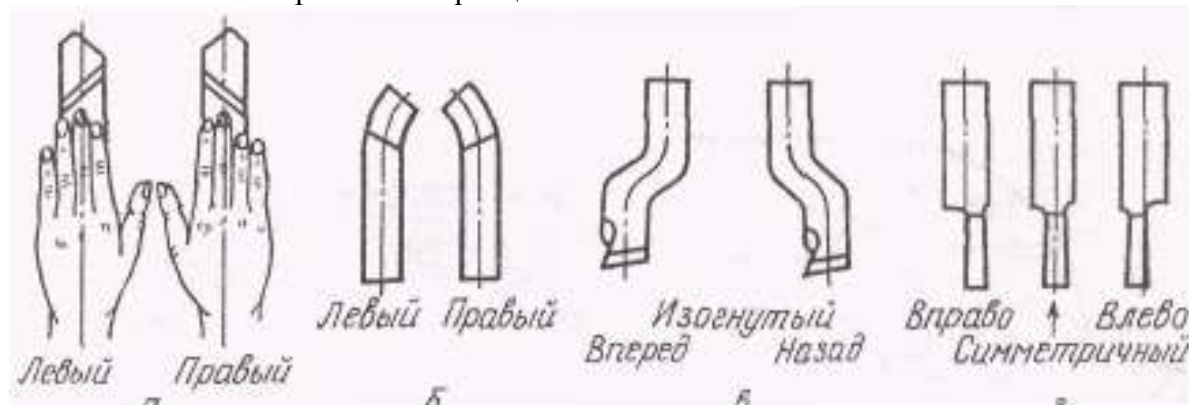


Рис. 5.4. Формы головок резцов:

может располагаться симметрично по отношению к оси тела резца или быть смещенной вправо или влево.

По конструкции различают резцы: цельные (в этом случае головка и тело резца выполнены из одного материала); с приваренной встык головкой (например, головка из быстрорежущей стали, а державка резца из малоуглеродистой стали); с припаянной пластинкой (твердого сплава или быстрорежущей стали) и с механическим креплением режущих пластинок. У последних есть некоторые преимущества перед напайными резцами, так как при такой конструкции исключается возможность появления микротрещин в пластинках при их напайке, удлиняется срок службы державки резца.

Особая разновидность резцов с механическим креплением пластин — неперетачиваемые резцы. У них в качестве режущего элемента используют многолезвийную неперетачиваемую пластинку из твердого сплава. На рисунке 5.5 приведен неперетачиваемый резец, состоящий из державки 3, столбика 6 с впрессованным штифтом 4, на который свободно надевают пятикромочную пластинку. Последнюю закрепляют поворотом винта 7, втягивающего столбик 6 до упора пластинки в

клиновидную планку 2, прикрепленную к державке винтом 5. После затупления одной кромки пластинку снимают и устанавливают в рабочее положение следующую острую кромку. После пятикратного использования (без переточки) пластинку заменяют новой.

По сечению стержня различают прямоугольные, квадратные и круглые резцы, а по материалу рабочей части — резцы из быстрорежущей стали, твердого сплава или минералокерамики. Резцы из углеродистой и легированной инструментальных сталей почти не применяют.

По назначению различают проходные, подрезные, отрезные, расточные, галтельные, фасонные и резьбовые резцы.

Проходные резцы применяют для наружного точения; они могут быть черновыми (рис. 5.6, а и б) и чистовыми (рис. 5.6, в...д).

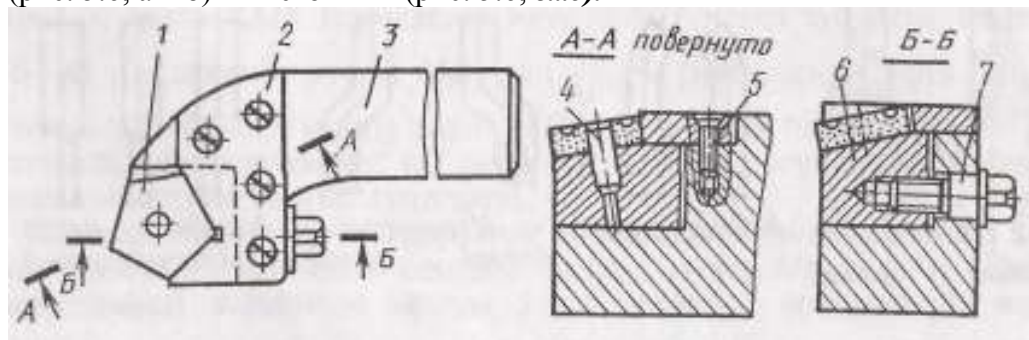


Рис. 5.5. Схема токарного проходного резца с неперетачиваемой пластинкой

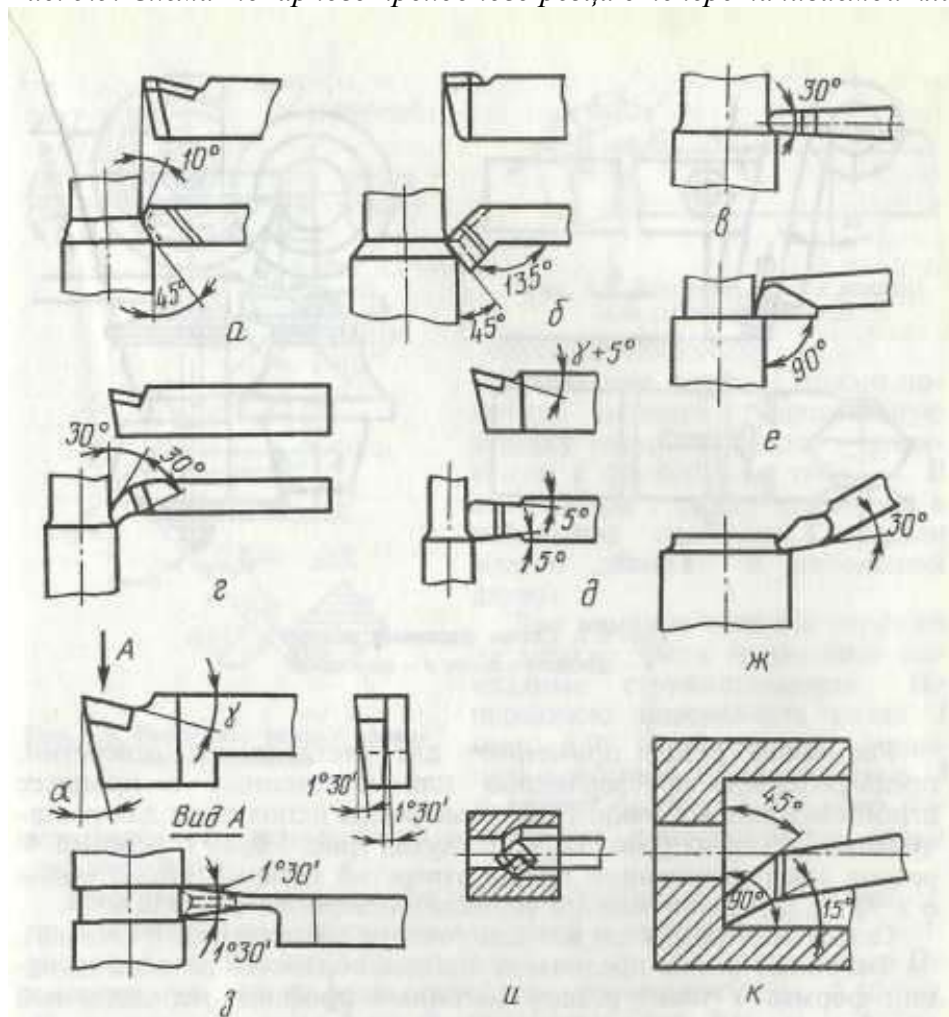


Рис. 5.6. Токарные резцы:
а...к — возможные варианты

Подрезные резцы применяют в основном для подрезания торцов. Подрезной упорный резец (рис. 5.6, *е*) имеет главный угол в плане $\phi = 90^\circ$. Он работает с продольной подачей и одновременно подрезает торец. Подрезной резец (рис. 5.6, *ж*) предназначен для подрезания торцов и работает с поперечной подачей.

Отрезные резцы (рис. 5.6, *з*) используют для разрезания заготовок и прорезки канавок. У отрезного резца одна главная и две вспомогательные режущие кромки. Для уменьшения трения вспомогательные задние поверхности затачивают под углами $1,5 \dots T$.

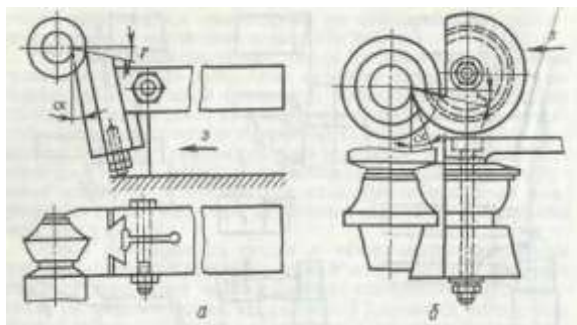


Рис. 5.7. Схемы фасонных резцов:
а — призматического; *б* — дискового

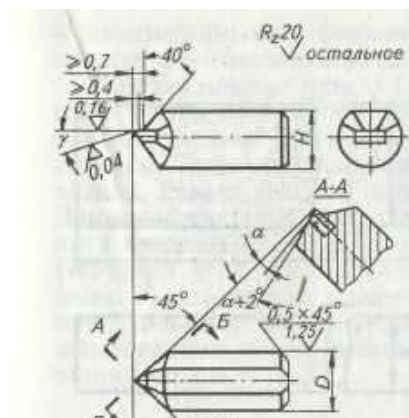


Рис. 5.8. Расточной резец с припаянным алмазом

Расточные резцы применяют для растачивания отверстий, предварительно просверленных или полученных в процессе штамповки или отливки. Расточные резцы используют для растачивания сквозных (рис. 5.6, *и*) и глухих (рис. 5.6, *к*) отверстий. У резцов для растачивания глухих отверстий главный угол в плане $\phi > 90^\circ$, а для растачивания сквозных отверстий $\phi = 45 \dots 60^\circ$.

Галтельные резцы служат для точения закруглений (галтелей).

Фасонные резцы предназначены для обработки деталей сложной формы. У таких резцов фасонный профиль, передаваемый обрабатываемой детали при работе с поперечной подачей. По конструкции фасонные резцы делятся на призматические (рис. 5.7, *а*) и дисковые (рис. 5.7, *б*). Фасонные резцы широко используют в условиях крупносерийного и массового производства.

При чистовой обработке точением при высоких требованиях к точности и шероховатости поверхности деталей применяют алмазные резцы. Алмаз к державке крепят механическим путем или пайкой. Используют природные алмазы массой $0,3 \dots 1,5$ карата. На рисунке 5.8 показан расточной резец с припаянным алмазом.

Стружкозавиватели и стружколоматели токарных резцов. При точении вязких сталей образуется сливная (ленточная) стружка в виде длинной ленты, которая может наматываться на заготовку и отдельные части станка. Такая стружка может травмировать рабочего и неудобна для транспортировки. В связи с этим применяют стружкозавиватели и стружколоматели.

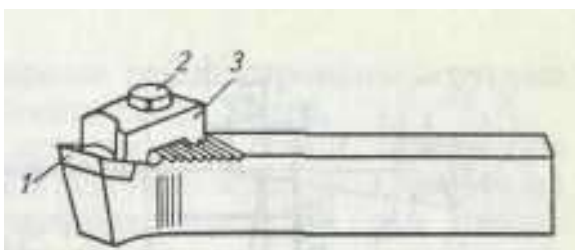


Рис. 5.9. Токарный резец с накладным стружколомателем

Завивание стружки можно получить, используя специальную заточку токарных резцов — радиусную с фаской (см. табл. 3). В этом случае стружка завивается в небольшие отдельные спирали малого диаметра и

небольшой длины.

Для ломания сливной стружки на мелкие части применяют накладные стружколоматели. На переднюю поверхность резца / (рис. 5.9) устанавливают стальную пластину - стружколоматель 3 и крепят болтом 2. Рабочую поверхность стружколомателя наплавляют износостойким слоем стеллита ВЗК.

Инструмент для нарезания резьбы. Резьбовые резцы и гребенки применяют для нарезания наружной и внутренней резьб (метрической, дюймовой, трапецеидальной и прямоугольной). По конструкции резцы разделяются на стержневые (рис. 5.10, а), призматические (рис. 5.10, б) и дисковые (рис. 5.10, в).

Резцы для метрической и дюймовой резьб изготавливают с задним углом $\alpha = 12...15^\circ$. Узлы с ψ и «2 №2 резьб с малыми углами подъема резьб выполняют в пределах $3...5^\circ$, а для резьб с углом подъема более 4° — различными, т. е. один (со стороны угла ψ_1) около 10° , другой (со стороны угла ψ_2) примерно $3...5^\circ$. Передний угол γ может быть положительным и равным нулю. Чистовые резцы имеют $\gamma = 0^\circ$, так как при наличии большего значения угла γ профиль искажается и требуется коррекция профиля резьбы.

Угол профиля (угол при вершине в плане) ϕ у твердосплавных резьбовых резцов делают на $30'$ меньше, чем профиль резьбы, так как нарезание резьбы при высоких скоростях резания приводит к некоторому разваливанию ее профиля. У резцов из быстрорежущей стали угол профиля ϕ равен углу резьбы.

Призматические резьбовые резцы применяют для нарезания

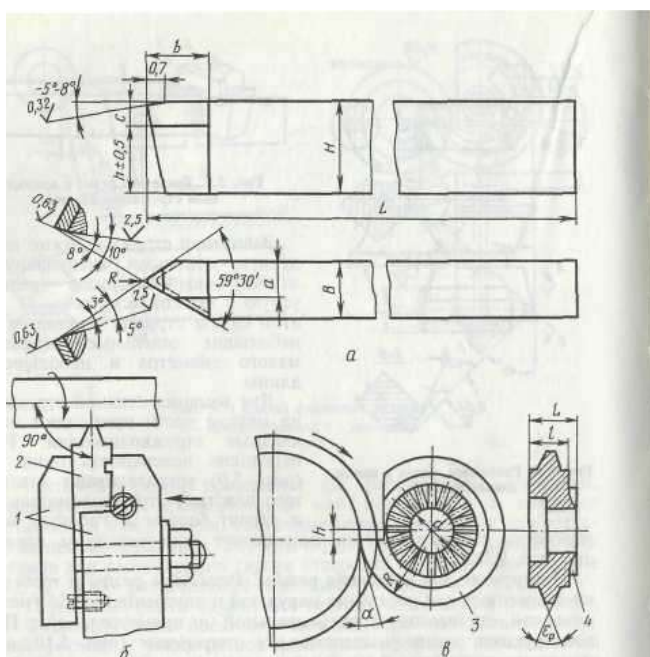


Рис. 5.10. Резьбовые резцы:

(7 — стержневой резец; б—державки / с призматическим резцом 2; а-дисковый резец 3 с зубцами 4 для крепления

наружных треугольных резьб с небольшим углом подъема витков. Такой резец представляет собой призматический столбик, имеющий в сечении профиль соответствующей резьбы. Столбик (резец) закрепляют в специальной державке с постоянным задним углом $\alpha = 15^\circ$.

Дисковые резьбовые резцы широко используют в условиях крупносерийного и массового производства.

Резьбовые гребенки (рис. 5.11) представляют собой объединение нескольких резьбовых резцов с профилем, соответствующим профилю нарезаемой резьбы. Первые два резца, срезанные под и шестигранными. Наиболее широко распространены круглые плашки для нарезания резьбы диаметром до 52 мм.

Лекция 20-21 (4 часа)

Тема: Явления возникающие в процессе резания металлов

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Элементы режима резания. Силы резания и мощность при точении.
2. Влияние режимов резания и обрабатываемого материала на силу резания.
3. Деформация металла в срезаемом слое и за линией среза. Процесс образования стружки.
4. Нарост в процессе резания. Износ и стойкость режущих инструментов.
5. Теплота и температура в зоне резания.
6. Скорость резания и влияние на нее различных факторов.
7. Классификация металлорежущих станков. Условные обозначения и схемы коробок скоростей.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Процесс образования стружки.

Процесс резания можно рассматривать как процесс местного сжатия и сдвига металла резцом с последующим образованием стружки. Слой металла, подлежащий срезанию, находится в сложноподвижном состоянии; упругим и пластическим деформированиям подвергаются также близлежащие слои металла, расположенные впереди резца и под ним.

Образование стружки происходит следующим образом. Резец под действием силы P внедряется в металл и сжимает его, вызывая в нем упругопластические деформации. В срезаемом слое металла впереди резца возникают скалывающие напряжения. Когда эти напряжения превысят прочность металла, произойдет скалывание первого элемента стружки по плоскости скалывания $z-U$. При дальнейшем продвижении резца происходит образование следующих элементов стружки (обозначены номерами 1, 2, 3...) аналогично предыдущим. Направление плоскости скалывания $z-U$ составляет с направлением движения резца угол β_1 , который называется углом скалывания. Этот угол несколько изменяется с изменением условий резания, и главным образом с изменением угла резания δ .

По классификации проф. И. Л. Тиме в процессе резания различных материалов образуются следующие основные виды стружек: сливные (непрерывные), скалывания (элементные) и надлома.

Сливные стружки образуются при резании вязких и мягких материалов (например, мягкой стали, латуни) и являются наиболее распространенными.

Стружки скалывания занимают промежуточное положение между сливными стружками и стружками надлома и образуются при обработке некоторых сортов латуни и твердых сталей с большими подачами и относительно малыми скоростями резания. С изменением условий обработки стружка скалывания может перейти в сливную, и наоборот.

Стружки надлома образуются при резании хрупких металлов (например, серых чугунов). Такая стружка состоит из отдельных, как бы вырванных элементов, почти не связанных между собой; при этом обработанная поверхность получается грубошероховатой, неровной.

Образованию сливной стружки способствуют увеличение переднего угла γ , уменьшение толщины среза a , повышение скорости резания v , а также увеличение пластичности обрабатываемого материала.

В сливных стружках разделение элементов по плоскости скалывания не происходит. В этом случае угол β_1 правильнее называть углом сдвигов (смещений).

Характер и степень деформации металла заготовки при образовании стружки определяют шероховатость обработанной поверхности, количество теплоты,

выделяющейся при резании, форму стружки, износ режущего инструмента и другие явления, происходящие при резании металлов. Поэтому изучение процесса образования стружки и познание закономерностей явлений, которые сопровождают этот процесс, имеют первостепенное значение и являются одной из важных задач науки о резании материалов. Огромные успехи, достигнутые в области совершенствования процесса резания металлов (скоростное резание, резание на увеличенных подачах и т. д.), а также разработка наиболее рациональных конструкций режущего инструмента стали возможными только в результате глубокого изучения процесса стружкообразования.

Износ режущих инструментов.

Одной из основных характеристик режущего инструмента является его способность сопротивляться износу. Изнашивание режущего инструмента происходит при сравнительно высокой температуре; трение заготовки и стружки по инструменту происходит на небольших участках задней и передней поверхности резца, поэтому удельная сила трения (сила трения, отнесенная к изнашиваемой поверхности) значительна; износ режущих инструментов происходит в условиях сухого трения (при отсутствии смазочного слоя) или полусухого трения (при частичной смазке), что ведет к возрастанию коэффициента трения.

Физическая картина процесса износа инструмента при резании металлов весьма сложная. Можно выделить три основных вида износа: абразивный, адгезионный и диффузионный.

Абразивный износ вызван трением сходящей стружки о переднюю поверхность инструмента и задней поверхности инструмента об обрабатываемую поверхность. При этом твердые структурные составляющие обрабатываемого материала наносят тонкие царапины на рабочие поверхности инструмента около режущей кромки. Абразивный износ значительно возрастает при наличии на заготовках литейной корки или окалины.

Адгезионный износ происходит при высокой температуре и значительном давлении, когда проявляются силы молекулярного сцепления (в виде сваривания, схватывания) между материалом заготовки (стружки) и инструментом, приводящие к уносу мельчайших частиц инструментального материала стружкой и обрабатываемой заготовкой. Проявление адгезионного износа возможно также при периодическом удалении нароста.

Диффузионный износ происходит вследствие того, что при высоких температурах частицы инструментального материала проникают в стружку и обрабатываемую деталь. Это приводит к изменению химического состава и физико-механических свойств в поверхностных слоях инструмента и снижает его износостойкость.

Необходимо также отметить, что при высоких температурах в поверхностных слоях инструмента происходят структурные изменения. Так, при обработке быстрорежущим инструментом при температуре более 600°C мартенситная структура переходит в трооститную, вследствие чего режущая способность инструмента также снижается.

На рисунке показаны формы износа: а) по задней поверхности; б) по передней поверхности с образованием лунки; в) по передней поверхности с образованием уступа и г) износ, связанный с округлением режущей кромки. Как правило, инструменты изнашиваются как по передней, так и по задней поверхности. В зависимости от условий обработки может преобладать та или иная форма износа.

Существует также понятие «радиальный износ» инструмента h_r , т.е. износ в радиальном направлении. Согласно рисунку $h_r \sim h_t \tan \alpha$ где α – задний угол. Появление радиального износа резца при наружном точении ведет к увеличению диаметра обрабатываемой детали. Износ по задней поверхности преобладает при обработке пластичных металлов с толщиной среза до 0,1 мм, при обработке хрупких металлов (чугуна, твердой бронзы), а также при работе сверлами, развертками, зенкерами, фрезами и др.

Преимущественный износ резцов по передней поверхности наблюдается при обработке пластичных материалов с большим сечением стружек. При этом на передней поверхности резца из быстрорежущей стали образуется лунка, которая вначале облегчает процесс резания за счет уменьшения угла резания. Эта форма износа наблюдается также и при образовании нароста. При дальнейшем значительном увеличении лунки наступает полное затупление режущей кромки инструмента.

При чистовой обработке материалов, обладающих низкой теплопроводностью (пластмассы), а также при обработке высокопрочных металлов (аустенитовые стали) происходит износ в форме округления режущей кромки.

За критерий величины износа обычно принимают допустимую величину h_3 изношенной площадки на задней поверхности инструмента. Интенсивность износа зависит от многих факторов: режима резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, смазочно-охлаждающей жидкости и др. Наибольшее влияние на интенсивность износа оказывает скорость резания, меньшее - подача и особенно глубина резания. Так, при обработке заготовок из стали средней твердости экспериментальным путем получена зависимость износа (в мм) по задней поверхности от режимов резания:

$h_3 = C_h \cdot V^{5.5} \cdot s^{3.1} \cdot t^{1.7}$, где C_h — коэффициент, характеризующий условия обработки.

Согласно этой зависимости, целесообразно повышать производительность при обработке резанием в первую очередь увеличением глубины резания и подачи и, только полностью используя эти возможности, следует повышать скорость резания.

Чем выше механические свойства обрабатываемого материала, тем больше износ режущего инструмента. В связи с этим увеличение содержания в материале обрабатываемой детали углерода, хрома, вольфрама, титана, молибдена ускоряет износ инструмента.

Износ по задней поверхности можно измерить при помощи лупы Бринелля или другими измерительными инструментами. Износ режущего инструмента можно изучать также с помощью радиоактивных изотопов (меченых атомов). Для этого инструмент облучают ядерными частицами и, измеряя радиоактивность сходящей стружки, определяют величину износа.

Для проходных резцов при обработке заготовок из стали и ковкого чугуна оптимальные значения допустимого износа по задней поверхности при работе резцами из быстрорежущей стали с охлаждением $h_3 = 1,5 \dots 2$ мм, без охлаждения $h_3 = 0,3 \dots 0,5$ мм. При черновом точении заготовок из серого чугуна $h_3 = 3 \dots 4$ мм, при получистовом $h_3 = 1,5 \dots 2$ мм. Для прорезных и отрезных резцов при обработке заготовок из стали и ковкого чугуна с охлаждением $h_3 = 0,8 \dots 1$ мм, без охлаждения $0,3 \dots 0,5$ мм. Для фасонных резцов при обработке заготовок из стали $h_3 = 0,4 \dots 0,5$ мм. Для токарных твердосплавных резцов допустимая величина износа по задней поверхности при обработке стали составляет примерно: при черновой обработке $h_3 = 1,0 \dots 1,4$ мм и при чистовой $0,4 \dots 0,6$ мм; при обработке чугуна соответственно $0,8 \dots 1,0$ и $0,6 \dots 0,8$ мм. При износе, большем указанной величины, работать резцом не рекомендуется. Для резцов с керамическими пластинками допустимая величина износа $h_3 = 0,6 \dots 0,8$ мм.

При чистовой обработке за критерий износа принимают конструктивно-технологические требования к деталям. В этом случае резец снимается для переточки при увеличении шероховатости обработанной поверхности или потере точности размеров обработки независимо от величины износа резца.

Тепловые явления при резании металлов.

Важнейшим фактором, обуславливающим процесс резания, служит образующаяся в процессе резания теплота. Работа L , затрачиваемая на процесс резания, может быть представлена уравнением:

$$A = A_{упр} + A_{пл} + A_{тр}$$

где Аупр- работа, затрачиваемая на упругие деформации; при обработке пластичных материалов Аупр мало и им можно пренебречь; при обработке хрупких материалов (чугуна, бронзы) величину Аупр необходимо учитывать; Апл — работа, затрачиваемая на пластические деформации; Атр — работа, затрачиваемая на трение стружки.

При обработке пластичных материалов $L \sim L_{пл} + A_{тр}$. Работа, затрачиваемая на пластические деформации, составляет около 80 % всей работы резания, а работа трения — - примерно 20 % работы резания.

По данным проф. В. Д. Кузнецова, 85. . 90 % всей работы резания превращается в теплоту, а 10. . 15 % идет на искажение (в зоне резания) кристаллической решетки обрабатываемого материала. Если считать, что вся механическая работа резания полностью переходит в теплоту, то количество теплоты, образующейся в результате этой работы (ккал/мин),

$$Q = P_z V / 4186,8 = P_z V / 4190,$$

где 1/4190—тепловой эквивалент работы, ккал/Дж; P_z - сила, Н; V- скорость резания, м/мин.

Образующаяся теплота распределяется между стружкой (50. . 86 %), резцом (40. . 10 %) и обрабатываемой деталью (9. . 3 %). Около 1 % теплоты рассеивается в окружающей среде вследствие излучения. Теплота, выделяющаяся в зоне резания, оказывает большое влияние на значение коэффициента трения, который, в свою очередь, влияет на силу трения, точность обработки, наростообразование, износ инструмента и другие факторы.

На величину температуры в зоне резания оказывают влияние следующие факторы: физико-механические свойства обрабатываемого материала, режим резания (скорость резания, подача и глубина резания), геометрические параметры инструмента и применение смазочно-охлаждающей жидкости. При обработке стали выделяется больше теплоты, чем при обработке чугуна. Чем выше предел прочности и твердость обрабатываемого материала, тем больше выделяется теплоты. Большое влияние оказывают также теплопроводность и теплоемкость обрабатываемого материала. Чем выше теплопроводность обрабатываемого материала, тем интенсивнее отвод теплоты в стружку и обрабатываемую деталь, а следовательно, тем меньше нагревается резец. От теплоемкости обрабатываемого материала зависит количество теплоты, воспринимаемой стружкой и заготовкой.

Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания. С увеличением подачи температура в зоне резания повышается, но менее интенсивно, чем при увеличении скорости резания. Еще меньшее влияние на температуру оказывает глубина резания. Это объясняется тем, что с увеличением подачи и особенно глубины резания возрастает поверхность контакта обрабатываемой детали с инструментом, что улучшает условия теплоотвода от наиболее нагретых участков рабочей части инструмента.

Для стали 40ХН проф. М. Л. Даниелян получил следующую экспериментальную зависимость, показывающую степень влияния отдельных элементов режима на температуру в зоне резания

$$Q = 148,8 \cdot V^{0,4} \cdot s^{0,24} \cdot t^{0,1}$$

Из геометрических параметров инструмента наибольшее влияние на температуру резания оказывают угол резания δ , главный угол в плане ϕ , радиус закругления вершины резца в плане ρ . С увеличением угла резания и главного угла в плане температура в зоне резания возрастает, а с увеличением радиуса закругления вершины резца уменьшается. Имеет значение также площадь поперечного сечения тела инструмента: с ее увеличением происходит более интенсивный отвод теплоты от места ее образования в тело резца. Применение смазочно-охлаждающей жидкости существенно уменьшает температуру в зоне резания.

Кроме определения температуры резания, представляет интерес и характер распределения теплоты в резце и обрабатываемом материале, т. е. определение температурного поля в зоне резания. Температурное поле в зоне резания обычно рассчитывают на основе теории теплообмена в твердых телах с применением счетно-решающих машин и электромоделирующих устройств. На рисунке приведена схема температурного поля резца, оснащенного пластинкой твердого сплава T14K8, при точении без охлаждения детали из стали ШХ 15. Наиболее нагретым оказывается место, находящееся примерно в центре контакта стружки с передней поверхностью резца.

На практике применяют следующие основные методы определения температуры: калориметрический, искусственной термопары, естественной термопары, термокрасок и др.

Метод искусственной термопары (рис. 20а) основан на измерении температуры резца около режущей кромки. В резце около режущей кромки сверлят отверстие диаметром 1. . . 2 мм, которое не доходит до передней поверхности на величину 0,2, . . . 0,4 мм. В отверстие вставляют железоконстантановую термопару с проволочками диаметром 0,15 мм.

Метод естественной термопары дает среднее значение температуры зоны резания. Элементами термопары являются обрабатываемый материал и резец. Токоъемник выполнен на базе вращающегося центра. Деталь изолирована от патрона, вращающийся центр — от задней бабки, резец — от суппорта. Термодвижущая сила поступает от токоъемника и резца на гальванометр.

Калориметрический метод основан на измерении температуры сходящей стружки при помощи калориметра. С помощью этого метода определяют среднюю температуру стружки.

Метод термокрасок состоит в том, что специальные краски в зависимости от температуры меняют свой первоначальный цвет. Набор из 14 красок позволяет измерять температуры от 45 до 780 °С.

Нарост.

При некоторых условиях на переднюю поверхность резца около режущей кромки налипает обрабатываемый материал, образуя так называемый нарост. Причинами образования нароста служат два основных фактора: наличие весьма высоких давлений около режущей кромки, достигающих при резании сталей до 8...10 ГПа, и наличие около режущей кромки небольшой зоны нулевых скоростей. Вблизи вершины резца поток материала раздвигается: часть уходит в стружку, а часть металла образует заготовку; при этом на режущей кромке возникает зона нулевых скоростей, или «застойная зона». Вследствие высоких давлений в зоне резания и наличия значительных деформаций твердость нароста становится в 2...3 раза больше твердости обрабатываемого металла. В результате образовавшийся нарост сам начинает производить резание металла, являясь как бы продолжением резца.

При наличии нароста изменяется форма передней поверхности резца, уменьшается угол ($\delta_1 < \delta$), изменяется характер распределения давления на передней поверхности резца. Кроме того, при наличии нароста уменьшается нагрев рабочих поверхностей инструмента и предохраняется от износа его задняя поверхность. Наростообразование не является стабильным процессом. Постепенно формируясь, нарост достигает максимального значения и, разрушаясь, может быть унесен со стружкой или вдавлен в обработанную поверхность. Нестабильность нароста по высоте ведет к образованию неровностей на обработанной поверхности. Таким образом, наличие нароста приводит к существенному повышению шероховатости обработанной поверхности. При черновой обработке, когда шероховатость поверхности обрабатываемой детали не имеет значения, нарост обычно оказывает положительное влияние на процесс резания, но при чистовой обработке нарост нежелателен.

На размеры нароста оказывают влияние многие факторы: физико-механические свойства обрабатываемого металла, режимы резания, геометрические параметры

инструмента, наличие и состав смазочно-охлаждающей жидкости. С увеличением пластичности обрабатываемого металла размеры нароста возрастают. Наоборот, при обработке заготовок из хрупких металлов, например из чугуна, нарост может и вовсе не образоваться.

С изменением скорости резания изменяются и размеры нароста. При малых скоростях (2...5 м/мин) нарост не образуется. В интервале скоростей резания 10...20 м/мин (для стали) нарост значителен. Эта зона скоростей самая неблагоприятная в отношении получения малой шероховатости поверхности. При скоростях резания свыше 20 м/мин высота нароста уменьшается по мере дальнейшего увеличения скорости резания. Это объясняется тем, что температура в зоне резания возрастает и надрезцовый слой сходящей стружки размягчается, что приводит к уменьшению коэффициента трения и ухудшению условий для удержания нароста на передней поверхности.

С увеличением подачи (толщины срезаемого слоя) размеры нароста увеличиваются. Поэтому при чистовой токарной обработке рекомендуются подачи в пределах 0,1...0,2 мм/об. Глубина резания существенного влияния на размеры нароста не оказывает. С увеличением угла резания δ увеличивается зона деформированного материала и, следовательно, увеличивается нарост. Применение смазочно-охлаждающей жидкости уменьшает нарост. При прерывистом резании (фрезеровании, строгании) нарост на режущей кромке инструмента обычно не удерживается.

Усадка стружки.

В результате пластической деформации обрабатываемого материала в зоне резания длина стружки l_c получается меньше длины l , пройденной резцом. Для качественной оценки деформаций стружки используют коэффициенты: укорочения стружки K_l , утолщения стружки K_a , уширения стружки K_b . Коэффициент укорочения стружки, характеризующий

$$K_l = \frac{l}{l_1} > 1.$$

продольную усадку стружки,

Коэффициент утолщения стружки, характеризующий поперечную

$$K K_a = \frac{a_1}{a} > 1$$

усадку стружки, равен

где a_1 — толщина стружки, мм; a — толщина срезаемого слоя, мм.

Коэффициент уширения стружки $K_b = b_1/b$

где b_1 — ширина стружки, мм; b — ширина срезаемого слоя, мм.

Обычно считают, что коэффициент укорочения стружки равен коэффициенту утолщения стружки. Это может быть справедливо только в том случае, если деформации по ширине стружки нет и ширина стружки b_1 равна ширине срезаемого слоя b , что с некоторым допущением справедливо.

Усадка стружки зависит от режимов резания, геометрических параметров инструмента и физико-механических свойств обрабатываемого материала. С увеличением переднего угла γ (или уменьшением угла резания δ) усадка стружки уменьшается, что объясняется уменьшением деформации при срезании стружки. С увеличением скорости резания усадка стружки сначала уменьшается, достигает минимума, затем возрастает, проходит через максимум и при дальнейшем повышении скорости резания вновь уменьшается. Такой характер изменения кривой усадки в зависимости от скорости резания связан с изменением коэффициента трения между передней поверхностью резца и сходящей стружкой.

С увеличением толщины среза (подачи) при сохранении неизменными всех других условий усадка стружки уменьшается. Изменение ширины среза (глубины резания) незначительно влияет на усадку стружки. При обработке более пластичных материалов

усадка стружки возрастает. Усадку стружки можно рассматривать как интегральное выражение степени пластических деформаций при резании металлов.

Период стойкости

Периодом стойкости режущего инструмента (лезвия) называется время резания новым или восстановленным (переточенным) режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа. Под временем резания понимают интервал времени, в течение которого инструмент находится в непосредственном контакте с обрабатываемой поверхностью, сопровождающемся снятием стружки. По существу, период стойкости—время работы инструмента от одной заточки до другой, измеренное в минутах его действительной работы. Период стойкости инструмента зависит материала и геометрии резца, материала обрабатываемой детали, элементов режима резания, методов охлаждения и других факторов. Наибольшее влияние на период стойкости инструмента (по сравнению с подачей s и глубиной резания t) оказывает скорость резания v . Между скоростью резания и периодом стойкости резца при точении (при постоянстве прочих факторов) существует, следующая зависимость:

$$V=C/T^m$$

где T —период стойкости резца, мин; C — постоянный коэффициент, зависящий главным образом от качества обрабатываемой детали и инструмента; m —показатель степени, называемый показателем относительной стойкости инструмента.

Графическая зависимость между скоростью резания v и периодом стойкости резца T при обработке стали 45 показана на рисунке.

Пользуясь ранее приведенной зависимостью, можно определить скорость резания V_2 , если известны скорость резания V_1 и соответствующий ей период стойкости резца T_1 , а так же величина периода стойкости T_2 $V_2=V_1(T_1/T_2)^m$.

Показатель относительной стойкости резцов из быстрорежущей стали: $m=1/8$, твердосплавных металлокерамических резцов $m=1/5$, минералокерамических резцов $m=1/2$. Ввиду того, что показатель относительной стойкости быстрорежущих и металлокерамических резцов мал, сравнительно незначительное изменение скорости резания вызывает резкое изменение стойкости инструмента. При работе этими резцами необходимо по возможности не отклоняться от расчетной скорости резания.

Скорость резания оказывает решающее влияние на производительность процессов обработки деталей, однако с ее увеличением возрастает и температура в зоне резания, увеличивается износ резцов и, следовательно, уменьшается стойкость инструмента. Это ведет к увеличению затрат на инструмент, т. е. увеличивает стоимость обработки. Поэтому скорость резания следует выбирать исходя из требования обеспечения высокой производительности обработки при наименьших затратах.

Период стойкости зависит также от выбранного критерия отказа режущего инструмента (лезвия), в качестве которых используют: определенную величину затупления режущего лезвия (стойкостью отказ), достижением размером, формой или расположением обработанной поверхности предела поля допуска (точностной отказ) или превышением требуемой чертежом шероховатости поверхности детали (отказ по шероховатости поверхности). При черновой обработке в качестве критерия используют стойкостью отказ, а при чистовой — все три вида отказов.

В нормативах период стойкости резцов устанавливается равным 30-60

мин, фрез (цилиндрических, торцовых, дисковых) 60 - 400 мин, сверл 6-210 мин. Эти периоды стойкости инструментов соответствуют наименьшим затратам на обработку.

Силы, действующие на режущий инструмент

Зная силы, действующие в процессе резания, можно рассчитать и выбрать режущий инструмент и приспособления, определить мощность, затрачиваемую на резание, а также осуществлять рациональную эксплуатацию станка, инструмента и приспособлений.

На рисунке показана схема сил, действующих на токарный резец. Со стороны срезаемого слоя нормально к передней поверхности резца действуют сила упругой деформации $P_{упр}$ и сила пластической деформации $P_{пл}$. Со стороны обработанной поверхности нормально к задней поверхности резца действуют силы $P'_{упр}$ и $P'_{пл}$. При относительном перемещении резца и заготовки возникают силы трения по передней и задней поверхностям резца

$$T = \mu(P_{упр} + P_{пл})$$

$$T' = \mu_1(P'_{упр} + P'_{пл}),$$

где μ и μ_1 — коэффициенты трения.

Образование стружки в процессе резания происходит под действием силы резания, преодолевающей сопротивление металла.

Силу P резания, при обработке точением можно разложить на три составляющие: тангенциальную P_z , направленную вертикально вниз и определяющую мощность, потребляемую приводом главного движения станка, по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность детали и узлы коробки скоростей станка, а также прочность резца; радиальную P_y , направленную вдоль поперечного движения подачи (эта сила отжимает резец и учитывается при расчете прочности инструмента и механизма поперечного движения подачи станка), по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность механизм поперечной подачи, а также производят расчет технологической системы по жесткости; осевую P_x , направленную вдоль продольного движения подачи (эта сила стремится отжать резец в сторону суппорта и учитывается при определении допустимой нагрузки на резец и механизмы станка при продольном движении подачи) по максимальной величине этой силы рассчитывают механизмы продольной подачи.

Между тремя составляющими силы резания существуют примерно следующие соотношения: $P_y = (0,25 \dots 0,5)P$; $P_x = (0,1 \dots 0,25)P$.

В большинстве случаев $P_z \sim 0,9P$, что позволяет производить многие практические расчеты не по силе P резания, а по тангенциальной ее составляющей P_z .

В процессе резания на значение P_z , P_y и P_x влияют следующие факторы: обрабатываемый металл, глубина резания, подача, передний угол, главный угол в плане, радиус округления режущей кромки, СОЖ, скорость резания и износ резца.

Физико-механические свойства обрабатываемого металла существенно влияют на значение силы резания. Чем больше предел прочности при растяжении и твердость обрабатываемого металла, тем больше P_z , P_y и P_x .

Увеличение глубины резания и подачи также приводит к увеличению составляющих силы резания, причем глубина резания больше влияет на силу резания, чем подача.

Чем меньше передний угол γ , тем больше сила резания. При увеличении главного угла ϕ в плане сила P_y резко уменьшается, а сила P_x увеличивается. Для твердосплавных резцов при увеличении ϕ от 60 до 90° сила P практически не изменяется. При увеличении радиуса r округления режущей кромки силы P_z и P_y возрастают, а сила P_x уменьшается.

СОЖ уменьшают силу P_z при небольшой толщине срезаемой стружки, увеличение толщины среза и скорости резания снижает эффект применения СОЖ.

При увеличении скорости резания от 50 до 500 м/мин сила P_z значительно уменьшается; дальнейшее повышение скорости резания дает лишь небольшое уменьшение силы P_z . Износ резца по задней поверхности значительно увеличивает силы P_y и P_x .

Материал режущей части резца также оказывает влияние на силу резания; например, твердосплавные резцы снимают стружку с несколько меньшей силой резания, чем резцы из быстрорежущей стали.

При наружном точении и растачивании резцами из быстрорежущей стали величина силы P_z (Н) определяется по формуле:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t \cdot s^{0,75}$$

где C_p - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и условия работы.

При работе резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов, на скоростных режимах резания формула для определения силы $P_z(H)$ имеет вид:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z.$$

* Исторически сложилось, что формулы для расчета сил резания при точении, фрезеровании, сверлении и других методах обработки давали результаты в килограммах. Для удобства перевода сил в *Ньютоны* берут коэффициент 10, а не 9,81, г. е. результаты немного завышают. Однако при расчете мощности резания эта неточность исправляется. Мощность и крутящий момент резания.

Мощность (кВт), затрачиваемую на процесс резания при точении, можно подсчитать по уравнению:

$$N_p = N_z + N_y + N_x = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} + \frac{P_y \frac{s_{\text{поп}} n}{1000}}{1020 \cdot 60} + \frac{P_x \frac{sn}{1000}}{1020 \cdot 60}.$$

* В формуле мощности величина 1020 вместо 1000 учитывает допущенную ошибку в сторону увеличения силы P_z при переводе из кг в Н (был взят коэффициент 10 вместо 9,81).

При продольном обтачивании поперечная подача $s_{\text{поп}}=0$, поэтому $N_y=0$. Величина N_x мала, так как скорость продольной подачи значительно меньше скорости резания. Величиной N_x можно пренебречь, тогда

$$N_p = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}.$$

Мощность электродвигателя станка

$$N_{\text{м}} \geq N_p / \eta,$$

Где $\eta=0,75 \dots 0,8$ -КПД станка

Крутящий момент резания (Нм)

$$M_{\text{кр}} = P_z D / 2,$$

где D —диаметр заготовки, мм.

Ряды чисел обороте (частот вращения) и подач станков.

Выбранная частота вращения шпинделя станка зависит от диаметра обрабатываемой детали или инструмента и установленной скорости резания. Ввиду того что диаметры обрабатываемых деталей или инструментов на станках могут изменяться в определенных пределах, на станках предусматривается изменение частоты вращения также в соответствующем диапазоне. Диапазоном частоты вращения шпинделя станка называется отношение

$$C = n_{\text{max}} / n_{\text{min}},$$

где n_{max} и n_{min} — максимальная и минимальная частоты вращения шпинделя стайка, с^{-1} .

Чем больше диапазон частоты вращения шпинделя, тем универсальнее станок. В зубчатых коробках скоростей можно получить лишь определенный ряд значений n . В отечественном станкостроении стандартизирован ряд частот вращения, образующий геометрическую прогрессию

$$n_{\text{min}}=n_1; n_2=n_1\varphi; n_3=n_1\varphi^2; \dots, n_z=n_{\text{max}}=n_1\varphi^{z-1},$$

где φ - знаменатель геометрической прогрессии;

z - число членов прогрессии;

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_{max}}{n_{min}}} = \sqrt[z-1]{C}.$$

Геометрический ряд величин частоты вращения шпинделя обеспечивает при переходе от данной к следующей высшей ступени постоянство перепада скоростей резания A , которое выражается в процентах:

$$A = \frac{\varphi - 1}{\varphi} 100 \%$$

Стандартизированы следующие знаменатели рядов и соответствующие им перепады скоростей.

Механизмы подачи служат для получения различных величин подач. Подачи разделяются на непрерывные (сверлильные, фрезерные станки) и прерывистые (строгальные долбежные). Кинематическая цепь механизма подачи соединяется с тем органом станка, в связи с движением которого подача рассчитывается. В токарных станках подача рассчитывается на один оборот шпинделя и механизм подачи соединяется со шпинделем. Во фрезерных станках, где основной подачей является подача за минуту, механизм подачи получает движение непосредственно от электродвигателя. Чаще всего величину подачи изменяют зубчатыми коробками подач, сменными колесами, регулированием храпового механизма (строгальные и долбежные станки) или при помощи гидропривода.

Зубчатые коробки подач аналогичны коробкам скоростей. Однако в коробках подач используются некоторые механизмы, которые не применяются в коробках скоростей ввиду их непригодности для передачи значительных мощностей. Так, в коробках подач применяют механизм с накидным зубчатым колесом и механизм с вытяжной шпонкой.

Механизм с накидным колесом применяется в коробках подач токарных станков. На валу 1 на скользящей шпонке установлено зубчатое колесо Z_i . При помощи рычажной вилки 2 колесо z_x может передвигаться по валу. Установленные неподвижно на валу 3 колеса $z_3-z_{1(t)}$ могут при помощи рычажной вилки через колесо g_2 входить в зацепление с колесом Z_i . В каждом положении рычажная вилка закрепляется фиксатором 4 по отверстию в корпусе коробки подач. Такой механизм дает возможность получить восемь передаточных отношений.

Механизм с вытяжной шпонкой (рис) применяется в сверлильных станках. На ведущем валу жестко насажены четыре зубчатых колеса 1-4, находящиеся в постоянном зацеплении с колесами 5-8, установленными на пустотелом валу. Этот вал имеет вытяжную шпонку 9, которая при помощи пружины фиксирует одно из колес 5,6,7 или 8. Вытяжная шпонка перемещается внутри вала при помощи круговой рейки 10, передвигаемой зубчатым колесом 12 от рукоятки 13. Чтобы вытяжная шпонка 9 одновременно не зафиксировала два зубчатых колеса, колеса разделены к эльфами 14. Такой механизм позволяет получить четыре передаточных отношения.

Храповой механизм (рис) служит для осуществления прерывистой подачи и применяется на строгальных и долбежных станках. Собачка 1 в подпружиненном состоянии смонтирована на рычаге 2, вхолостую насаженном на винте (иногда валике) подачи. На этом же валике на шпонке закреплено храповое колесо 3. Рычаг собачки получает качательное движение от тяги 4, связанной с кривошипным диском 5, при вращении которого рычаг вместе с собачкой 1 получает качательное движение. При движении влево собачка зацепляется за зубья храпового колеса и поворачивает его на некоторый угол; при движении вправо собачка отжимает пружину и скользит по зубьям храпового колеса, и в результате передачи движения не происходит. Величину подачи регулируют либо изменением радиуса кривошипа r , от чего зависит размах качаний рычага 2, либо соответствующей установкой щитка 6, прикрывающего часть зубьев храповика. При этом часть пути

собачка скользит по щитку, а при прохождении остального пути захватывает требуемое число зубьев. Щитком 6 можно закрыть от собачки все зубья, и тогда движение не будет передаваться. Для изменения направления вращения храпового колеса необходимо рукояткой 7 вытянуть собачку вверх и повернуть на 180° . Для выключения храпового механизма собачку вытягивают вверх и поворачивают на 90° (в этом случае собачка не касается колеса 3).

Мальтийский механизм (крест) применяют для периодического поворота через длительные отрезки времени револьверных головок, шпиндельных барабанов станков.

Кулачковые механизмы широко применяют в металлорежущих станках, особенно в автоматах. Предназначены для преобразования равномерного вращательного движения в возвратно-поступательное с любым законом движения. Кулачки бывают двух типов: дисковые и цилиндрические.

Кулисный механизм (рис.) применяется в поперечно-строгальных станках и служит для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное. Вращательное движение от электродвигателя через коробку скоростей передается кулисному зубчатому колесу, в коническом пазу которого закреплен палец который входит в отверстие камня, скользящего в прорези кулисы. При одном обороте зубчатого колеса камень 3 делает также один оборот и заставляет кулису качнуться вокруг центра вправо и влево. Кулиса соединена с ползуном, который получает возвратно-поступательное движение. Величина расстояния g между центрами пальца и зубчатого колеса может быть изменена. Благодаря этому меняется длина хода ползуна.

Реверсивные механизмы применяются в системе главного движения и в системе подачи и служат для изменения направления движения. Схемы наиболее распространенных реверсивных механизмов показаны на рисунке.

На рисунке, показана схема реверсивного механизма, состоящего из цилиндрических зубчатых колес и фрикционной муфты M . Переключение фрикционной муфты вызывает соединение зубчатых колес Z_i (при этом муфта M сдвинута влево) либо z_3 (муфта M сдвинута вправо) с верхним валом. Нижний вал получает прямое вращение (от Z_i к z_2), или обратное (от z_3 через паразитное колесо G_3 к $z^{\wedge}$).

Реверсивный механизм, составленный из цилиндрических зубчатых колес, показан на рисунке. Скользящее колесо z может быть сцеплено непосредственно с колесом Z_i либо с z_3 , через паразитные колеса z^* и z_i . Следовательно, нижний вал получит вращение в ту или другую сторону.

На рисунке в показана схема реверсивного механизма, в котором зубчатое колесо Z_i скользящего блока может быть сцеплено с колесом L_i через промежуточное колесо Z_i . При другом положении блока колесо z_s сцепляется непосредственно с колесом z_k . Таким образом, нижний вал может вращаться в различном направлении.

На рисунке, г показана схема реверсивного механизма, составленного из конических зубчатых колес и кулачковой муфты, применяемых при наличии пересекающихся валов. Изменение направления вращения горизонтального вала производится переключением кулачковой муфты.

Механизм (муфта) обгона применяется в современных моделях токарных и фрезерных станков для выбора из двух вращательных движений более быстрое. Позволяет, не выключая рабочей подачи (медленной), включать ускоренную подачу без поломки механизмов станка.

Дифференциалы используют в качестве суммирующих механизмов, осуществляющих алгебраическое сложение двух движений. Наиболее распространен конический дифференциал (рис.), применяющийся на зубофрезерных станках. Конический дифференциал по схеме действия является планетарной передачей с двумя степенями свободы.

Механизмы бесступенчатого регулирования скоростей.

С помощью механизмов бесступенчатого регулирования скоростей можно наиболее точно установить необходимую скорость резания и величину подачи. Механизмы бесступенчатого регулирования скоростей бывают электрические, механические и гидравлические (гидроприводы).

Электрический механизм бесступенчатого регулирования частоты вращения представляет собой шунтовой электродвигатель постоянного тока. Регулирование частоты вращения производится при помощи реостата, включенного в цепь возбуждения. Недостаток такого привода в том, что для его питания необходим постоянный ток.

Механические вариаторы бесступенчатого изменения частоты вращения бывают разных конструкций. На рисунке показана схема бесступенчатого вариатора В. А. Свегазарова. В этой конструкции передаточные отношения изменяются в пределах наклона промежуточных роликов, при повороте которых меняются радиусы: точек контакта роликов с ведущей и ведомой чашками, закрепленными на валах / и//.

Гидравлический привод. При использовании гидравлического привода возможны бесступенчатое регулирование скорости в широком диапазоне и передача значительных сил; при этом исключается опасность поломки системы из-за перегрузки, а также упрощается применение автоматизации управления.

Гидропривод состоит из: 1) насосов; 2) механизмов перемещения рабочих органов станка (рабочие цилиндры для получения поступательного движения и гидромоторы для вращательного); 3) механизмов управления (золотников); 4) регулирующих механизмов (клапана, регулятора скорости). Гидравлический привод применяют преимущественно для осуществления прямолинейного движения, реже — вращательного. В шлифовальных (см. гл. IX) и многошпиндельных токарных станках гидропривод применяют в качестве механизма подачи. Для привода главного движения гидропривод применяют в протяжных станках, хонинговальных и поперечно-строгальных.

На рисунке показана схема гидравлического агрегата для вращательного движения. Насос /, получающий вращение от электродвигателя 2, подает масло через фильтр 7 из бака 3 к насосу (двигателю) 4. От ротора насоса 4 вращение через систему передачи передается к шпинделю станка. Масло постоянно циркулирует в агрегате, возвращаясь снова в бак 3. Бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя производится путем изменения производительности насосов 1 и 4, что меняет частоту вращения ротора насоса 4. Манометр 5 показывает давление масла. Если давление в системе превысит расчетное, то избыток масла перепускается через предохранительный клапан 6. В гидравлическом приводе вращательного движения количество масла, подаваемого насосом Q_n и проходящего через мотор Q_m , равно между собой

В гидроприводах используют масла: веретенное 3, турбинное Л и индустриальное 30.

Лекция 22 (2 часа)

Тема: Обработка материалов на станках токарной группы

1.22.1 Вопросы лекции:

1. Станки токарной группы и их классификация. Устройство токарновинторезного станка модели 1К62.
2. Работы, выполняемые на токарных станках. Определение основного времени. Понятие о штучном времени.
3. Краткие сведения о токарных автоматах и полуавтоматах.

1.22.2 Краткое содержание вопросов:

Кинематика станков

Основоположителем теории кинематики станков является профессор Г.М.Головин (1889- 1949), разработавший теоретические основы анализа, настройки и расчета кинематических цепей станка.

Структура кинематической цепи, т.е. последовательность расположения в ней кинематических пар и звеньев, зависит от назначения станка (сверление, точение, фрезерование, шлифование и т.п.), требуемой точности передачи движения и конструктивных факторов.

Для изготовления детали рабочим органам станка необходимо сообщить определенные согласованные движения, при которых с заготовки снимается избыточный материал - припуск.

Все движения органов станка называют исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения формообразования, установочные, делительные, управления и вспомогательные.

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают поверхность заданной формы, называют формообразующими, или рабочими, движениями. Они могут быть простыми и сложными. К простым движениям относятся вращательное и прямолинейное. Во всех изучаемых в нами станках; токарных, фрезерных, сверлильных и шлифовальных движение резания вращательное. К сложным движениям относятся те, которые образуются в результате согласования (сложения) двух и более вращательных и прямолинейных движений. При сложном формообразующем движении то из них, которое производится с наибольшей скоростью, называется главным движением или движением резания, а его скорость - скоростью резания. Остальные движения, происходящие с меньшей скоростью, называются движениями подачи.

В станках для лезвийной обработки резанием (токарных, фрезерных, сверлильных) скорость резания, м/мин, определяют по формуле:

$$v = \pi d n / 1000,$$

где d - диаметр обрабатываемой заготовки (инструмента), мм;

n - частота вращения заготовки (инструмента) (об/мин).

В токарных, фрезерных и сверлильных станках движение подачи — непрерывное, в плоско- и круглошлифовальных станках - прерывистое.

Основу любой машины, в том числе и станка, составляют механизмы. Под механизмом понимают систему связанных между собой путем соприкосновения твердых тел, совершающих под действием приложенных сил определенные целесообразные движения.

Система тел, состоящая из одного или нескольких твердых тел, соединенных между собой неподвижно, называется звеном механизма. Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение, называется кинематической парой или просто парой. Поверхности, линии, точки, которыми звено может соприкасаться или соприкасается с другим звеном, называются элементами звена.

Система звеньев, соединенных между собой в определенной последовательности, образует кинематическую цепь. Кинематические цепи, в которые входят кинематические пары, их элементы и связи, изображают на чертеже в виде кинематической схемы с помощью условных графических знаков. Правила выполнения кинематических схем и обозначения их элементов установлены ГОСТ 2.770—68*. Для станков, имеющих наряду с механическими передачами гидравлические, электрические и пневматические устройства, составляют соответствующие схемы.

Основные типы токарных станков и их обозначение Станки токарной группы составляют значительную долю станочного парка. Она включает в себя девять типов станков, различающихся по назначению, компоновке, степени автоматизации и другим признакам. Токарные станки предназначены главным образом для обработки

наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, нарезания резьбы и обработки торцовых поверхностей деталей типа тел вращения с помощью разнообразных резцов, сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек.

Применение в станках дополнительных специальных устройств для шлифования, фрезерования, сверления радиальных и торцовых отверстий и других видов обработки значительно расширяет технологические возможности оборудования. В зависимости от расположения шпинделя, несущего приспособление для установки заготовки, токарные станки подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Общий вид наиболее часто используемых токарных станков представлен на рис.

Основными параметрами токарных станков являются наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами. Важным размером станка является также наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над поперечными салазками суппорта.

Токарные станки отечественного производства имеют цифровое обозначение моделей. Первая цифра 1 в обозначении модели показывает, что станок относится к токарной группе. Вторая цифра указывает на типы станков в группе: 1 - одношпиндельные автоматы и полуавтоматы; 2 - многошпиндельные автоматы и полуавтоматы; 3 - револьверные станки; 5 - карусельные станки и т.д. Две последние цифры определяют важнейшие технические параметры станка: высоту центров над станиной для токарно-винторезного, наибольший диаметр обрабатываемого прутка для токарно-револьверного и т.д. Наличие буквы после цифры указывает на модернизацию станка, т.е. на обновление конструкции.

Буква (Н, П, В, А, С) в конце цифрового обозначения модели означает точность станка.

Устройство токарно-винторезного станка Токарно-винторезные станки с ручным управлением являются наиболее универсальными станками токарной группы и используются главным образом в условиях единичного и мелкосерийного производства. Конструктивная компоновка станков этого типа практически одинакова. Станок имеет следующие основные узлы:

- станину, на которой монтируют все механизмы станка;
- переднюю (шпиндельную) бабку, в которой размещают коробку скоростей, шпиндель и другие элементы;
- коробку подачи, передающую движение от шпинделя к суппорту с необходимым передаточным числом с помощью ходового винта при нарезании резьбы или ходового вала при обработке других поверхностей;
- фартук, в котором вращение винта или вала преобразуется в поступательное движение суппорта с инструментом;
- заднюю бабку, в пинולי которой может быть установлен центр для поддержки обрабатываемой заготовки или осевой инструмент (сверло, развертка и т.п.) для обработки центрального отверстия в заготовке, закрепленной в патроне;
- суппорт служит для закрепления режущего инструмента в резцовой каретке и сообщения ему движения подачи. Суппорт состоит из нижних салазок (каретки), перемещающихся по направляющим станка.

По направляющим нижних салазок в направлении, перпендикулярном линии центров, перемещаются поперечные салазки, на которых расположена резцовая каретка резцедержателями. Резцовая каретка смонтирована на поворотной части, которую можно устанавливать под углом к линии центров станка.

Техническими параметрами, по которым классифицируют токарно-винторезные станки, являются наибольший диаметр обрабатываемой заготовки или высота центров над станиной (равная $0,5D$), наибольшая длина обрабатываемой заготовки и масса станка.

Ряд наибольших диаметров обработки для токарно-винторезных станков имеет вид: $l = 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, \dots, 4000$ мм.

Наибольшая длина I . обрабатываемой детали определяется расстоянием между центрами станка.

В зависимости от массы различают легкие токарные станки — до 500 кг, средние—до 4 т, крупные — до 15 т и тяжелые --до 400 т.

Легкие токарные станки применяют в инструментальном производстве, приборостроении, часовой промышленности, в экспериментальных и опытных цехах предприятий. Эти станки выпускают как с механической подачей, так и без нее.

На средних станках производят 70... 80 % общего объема токарных работ. Эти станки предназначены для чистовой и получистовой обработки, а также для нарезания резьб разных типов и характеризуются высокой жесткостью, достаточной мощностью и широким диапазоном частот вращения шпинделя и подач инструмента, что позволяет обрабатывать детали на экономичных режимах с применением современных прогрессивных инструментов из твердых сплавов и сверхтвердых материалов.

Средние станки оснащают различными приспособлениями, расширяющими их технологические возможности, облегчающими труд рабочего и позволяющими повысить качество обработки; они имеют достаточно высокий уровень автоматизации.

Крупные и тяжелые токарные станки применяют в основном в тяжелом и энергетическом машиностроении, а также в других отраслях для обработки валком прокатных станов, железнодорожных колесных пар, роторов турбин и др.

Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 1К62. Привод главного движения в подавляющем большинстве современных токарно-винторезных станков состоит из односкоростного (реже многоскоростного) асинхронного электродвигателя трехфазного тока и ступенчатой механической коробки скоростей. От электродвигателя 1460 мин через клиноременную передачу вращается вал [коробки скоростей, на котором установлены свободно вращающиеся зубчатые колеса для прямого вращения шпинделя (по часовой стрелке) и для обратного вращения (против часовой стрелки).

В зависимости от вариантов включения зубчатых колес в коробке скоростей можно получить 22 значения частот вращения шпинделя.

Перемещение суппорта обеспечивает движение подачи инструмента в процессе резания. Это движение осуществляется или непосредственно от шпинделя, или через звено увеличения шага, расположенное в коробке скоростей и имеющее три передаточных отношения. Далее движение передается через механизм реверса, сменные колеса К, L, М, N, которые могут образовывать двухпарную гитару и однопарную гитару с паразитным колесом, коробку подач и механизм передач на фартук. Механизм реверса состоит из зубчатых колес смонтированных на валах VIII, IX, X. Коробка подач имеет две основные кинематические цепи: одну — для нарезания дюймовых и питчевых резьб, а другую — для метрических и модульных.

Быстрые перемещения суппорта осуществляются от отдельного электродвигателя М2 через ременную передачу, вращающую ходовой валик.

Технология токарной обработки и оснастка

Токарная обработка является наиболее распространенным методом обработки резанием и применяется при изготовлении симметричных деталей типа тел вращения (валов, дисков, осей, пальцев, цапф, фланцев, колец, втулок, гаек, муфт и др.)- Основные виды токарных работ показаны на рис.

В машиностроении большинство деталей получает окончательные формы и размеры в результате механической обработки заготовки резанием, которое осуществляется путем последовательного удаления режущим инструментом с поверхности заготовки тонких слоев материала в виде стружки.

При работе на токарных станках применяют различные режущие инструменты: резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, резьбонарезные головки, фасонный инструмент и др.

Токарные резцы являются наиболее распространенным инструментом и применяются для обработки плоскостей, цилиндрических и фасонных поверхностей, нарезания резьбы и т. д.

Сверление является одним из распространенных методов обработки на токарных станках и осуществляется для предварительной обработки отверстий. Предварительно обработать резанием отверстие в сплошном материале можно только с помощью сверла

Перемещение режущего инструмента во время токарной обработки и его крепление па токарно-винторезном станке обеспечивают несколько узлов (сборочных единиц).

Технология обработки конических поверхностей

Общие сведения о конусах. Коническая поверхность характеризуется следующими параметрами: меньшим d и большим D диаметрами и расстоянием между плоскостями, в которых расположены окружности диаметрами D и d . Угол α называется углом наклона конуса, а угол 2α - углом конуса.

Отношение $K = (D - d)/l$ называется конусностью и обычно обозначается со знаком деления (например, 1:20 или 1:50), а в некоторых случаях - десятичной дробью (например, 0,05 или 0,02).

Способы обработки конических поверхностей.

При обработке валов часто встречаются переходы между поверхностями, имеющие коническую форму. Если длина конуса не превышает 50 мм, то его обработку можно производить врезанием широким резцом. Угол наклона режущей кромки резца в плане должен соответствовать углу наклона конуса на обработанной детали. Резцу сообщают поперечное движение подачи.

Для уменьшения искажения образующей конической поверхности и уменьшения отклонения угла наклона конуса необходимо устанавливать режущую кромку резца по оси вращения обрабатываемой детали. Следует учитывать, что при обработке конуса резцом с режущей кромкой длиной более 15 мм могут возникнуть вибрации. В результате вибраций на обрабатываемой поверхности появляются следы и ухудшается ее качество. При обработке широким резцом жестких деталей вибрации могут отсутствовать, но при этом возможно смещение резца под действием радиальной составляющей силы резания, что приводит к нарушению настройки резца на требуемый угол наклона.

Конические поверхности с большими уклонами можно обрабатывать при повороте верхних салазок суппорта с резцедержателем на угол α , равный углу наклона обрабатываемого конуса. Подача резца производится вручную (рукояткой перемещения верхних салазок), что является недостатком этого метода, поскольку неравномерность ручной подачи приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности. Указанным способом обрабатывают конические поверхности, длина которых соизмерима с длиной хода верхних салазок.

Коническую поверхность большой длины с углом α — 8... 10° можно обрабатывать при смещении задней бабки

$$h = L \sin \alpha.$$

При малых углах $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$

$$h \sim L(D - d)/(2l),$$

где L - расстояние между центрами; D - больший диаметр; d - меньший диаметр; l - расстояние между плоскостями.

Если $L = l$, то $h = (D - d)/2$.

Смещение задней бабки определяют по шкале, нанесенной на торце опорной плиты со стороны маховика, и риске на горце корпуса задней бабки. Цена деления на шкале обычно 1 мм. При отсутствии шкалы на опорной плите смещение задней бабки отсчитывают по линейке, приставленной к опорной плите.

Для обеспечения одинаковой конусности партии деталей, обрабатываемых этим способом, необходимо, чтобы размеры заготовок и их центровых отверстий имели незначительные отклонения. Поскольку смещение центров станка вызывает износ центровых отверстий заготовок, рекомендуется обработать конические поверхности предварительно, затем исправить центровые отверстия и после этого произвести окончательную чистовую обработку. Для уменьшения разбивки центровых отверстий и износа центров целесообразно последние выполнять со скругленными вершинами.

Достаточно распространенной является обработка конических поверхностей с применением копирных устройств. К станине станка крепится плита с копирной линейкой, по которой перемещается ползун, соединенный с суппортом станка тягой с помощью зажима. Для свободного перемещения суппорта в поперечном направлении необходимо отсоединить винт поперечного движения подачи. При продольном перемещении суппорта резец получает два движения: продольное от суппорта и поперечное от копирной линейки. Поперечное перемещение зависит от угла поворота копирной линейки относительно оси поворота. Угол поворота линейки определяют по делениям на плите, фиксируя линейку болтами. Движение подачи резца на глубину резания производят рукояткой перемещения верхних салазок суппорта. Наружные конические поверхности обрабатывают проходными резцами.

Для получения конического отверстия в сплошном материале заготовку сначала обрабатывают предварительно (сверлят, растачивают), а затем окончательно (развертывают). Развертывание выполняют последовательно комплектом конических разверток. Диаметр предварительно просверленного отверстия на 0,5... 1 мм меньше заходного диаметра развертки.

Если требуется коническое отверстие высокой точности, то его перед развертыванием обрабатывают коническим зенкером, для чего в сплошном материале сверлят отверстие диаметром на 0,5 мм меньше, чем диаметр конуса, а затем применяют зенкер. Для уменьшения припуска под зенкерование иногда применяют ступенчатые сверла разного диаметра.

Нарезание резьбы резцами.

На токарно-винторезных станках наиболее широко применяют метод нарезания наружной и внутренней резьб резцами. Резьбонарезные резцы бывают стержневые, призматические и круглые; их геометрические параметры не отличаются от геометрических параметров фасонных резцов.

Резьбы треугольного профиля нарезают резцами с углом в плане при вершине $\varepsilon = 60^\circ$ и $10'$ для метрической резьбы и $\varepsilon = 55^\circ \pm 10'$ для дюймовой резьбы. Учитывая погрешности перемещения суппорта, которые могут привести к увеличению угла резьбы, иногда применяют резцы с углом $\varepsilon = 59^\circ 30'$. Вершина резца может быть скругленной или с фаской (в соответствии с формой впадины нарезаемой резьбы).

Резьбонарезные резцы оснащают пластинами из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Предварительно деталь обтачивают таким образом, чтобы ее наружный диаметр был меньше наружного диаметра нарезаемой резьбы. Для метрической резьбы диаметром до 30 мм эта разница ориентировочно составляет 0,14... 0,28 мм, диаметром до 48 мм — 0,17 ...0,34 мм, диаметром до 80 мм — 0,2...0,4 мм. Уменьшение диаметра заготовки обусловлено тем, что при нарезании резьбы материал заготовки деформируется и в результате этого наружный диаметр резьбы увеличится.

Нарезание резьбы в отверстиях производят или сразу после сверления (если к точности резьбы не предъявляют высоких требований), или после его растачивания (для точных резьб). Диаметр отверстия (мм) под резьбу

$$d_0 = d - P,$$

где d — наружный диаметр резьбы, мм;

P — шаг резьбы, мм.

Диаметр отверстия под резьбу должен быть несколько больше внутреннего диаметра резьбы, так как в процессе нарезания резьбы металл деформируется и в результате этого диаметр отверстия уменьшается. Поэтому результат, полученный по приведенной выше формуле, увеличивают на 0,2...0,4 мм при нарезании резьбы в вязких материалах (стали, латуни и др.) и на 0,1 ...0,02 мм при нарезании резьбы в хрупких материалах (чугуне, бронзе и др.).

В зависимости от требований чертежа резьба может заканчиваться канавкой для выхода резца. Внутренний диаметр канавки должен быть на 0,1...0,3 мм меньше внутреннего диаметра резьбы, а ширина канавки (мм)

$$b = (2...3)P.$$

В процессе нарезания болтов, шпилек и некоторых других деталей при отводе резца, как правило, образуется сбеги резьбы.

Для более удобного и точного нарезания резьбы на торце обрабатываемой детали выполняют уступ длиной 2...3 мм, диаметр которого равен внутреннему диаметру резьбы. По этому уступу определяют последний проход резца, после окончания нарезания резьбы уступ срезают.

Точность резьбы во многом зависит от правильной установки резца относительно линии центров. Для того чтобы установить резец по биссектрисе угла профиля резьбы перпендикулярно к оси обрабатываемой детали, используют шаблон, который устанавливают на ранее обработанной поверхности детали вдоль линии центров станка. Профиль резца совмещают с профилем шаблона и проверяют правильность установки резца по просвету. Резьбонарезные резцы следует устанавливать строго по линии центров станка.

На токарно-винторезных станках резьбу нарезают резцами за несколько проходов. После каждого прохода резец отводят в исходное положение. По нониусу ходового винта поперечного движения подачи суппорта устанавливают требуемую глубину резания и повторяют проход. При нарезании резьбы с шагом до 2 мм подача составляет 0,05... 0,2 мм на один проход. Если резьбу нарезать одновременно двумя режущими кромками, то образующаяся при этом стружка спутывается и ухудшает качество поверхности резьбы. Поэтому перед рабочим проходом резец следует смещать на 0,1 ...0,15 мм поочередно вправо или влево, используя перемещение верхнего суппорта, в результате чего обработка ведется только одной режущей кромкой. Число черновых проходов — 3... 6, а чистовых — 3.

Нарезание резьбы плашками и метчиками. Для нарезания наружной резьбы на винтах, болтах, шпильках и других деталях применяют плашки. Участок детали, на котором необходимо нарезать резьбу плашкой, предварительно обрабатывают. Диаметр обработанной поверхности должен быть несколько меньше наружного диаметра резьбы. Для метрической резьбы диаметром 6... 10 мм эта разница составляет 0,1...0,2 мм, диаметром 11...18 мм — 0,12...0,24 мм, диаметром 20...30 мм — 0,14...0,28 мм. Для образования захода резьбы на торце детали необходимо снять фаску, соответствующую высоте профиля резьбы.

Плашку устанавливают в плашкодержатель (патрон), который закрепляют в пиноли задней бабки или гнезде револьверной головки. Скорость резания V при нарезании резьбы плашками для стальных заготовок 3...4 м/мин, для чугунных - 2...3 м/мин и для латунных - 10... 15 м/мин.

Внутренние метрические резьбы диаметром до 50 мм часто нарезают метчиками. Обычно на токарном станке применяют машинные метчики, что позволяет нарезать резьбу за один проход. Для нарезания резьбы в деталях из твердых и вязких материалов применяют комплекты, состоящие из двух или трех метчиков. В комплекте из двух метчиков первый (черновой) выполняет 75 % всей работы, а второй (чистовой) — доводит резьбу до требуемого размера. В комплекте из трех метчиков первый (черновой)

выполняет 60 % всей работы, второй (получистовой) — 30 % и третий (чистовой) — 10 %.

Скорость резания V при нарезании резьбы метчиками для стальных заготовок 5... 12 м/мин, для чугунных, бронзовых и алюминиевых - 6...22 м/мин. Нарезание резьбы производят с охлаждением эмульсией или маслом.

Нарезание резьбы резьбонарезными головками. Резьбонарезные винторезные головки применяют для нарезания наружной и внутренней резьбы на токарных, токарно-револьверных станках и на токарных автоматах.

С помощью хвостовика резьбонарезная головка устанавливается в пиноли задней бабки или в револьверной головке станка. В винторезных головках применяют радиальные, тангенциальные и круглые гребенки. В конце нарезания резьбы гребенки автоматически расходятся и при обратном ходе не соприкасаются с резьбой.

При нарезании наружной резьбы большое распространение получили головки с круглыми гребенками, так как они просты по конструкции, позволяют осуществлять много переточек и обладают большей стойкостью, чем радиальные и тангенциальные гребенки. Устройство и принцип работы существующих винторезных головок имеют незначительные различия.

Внутреннюю резьбу чаще нарезают резьбонарезными головками с призматическими гребенками, режущие кромки которых располагаются на одном диаметре и имеют заходный конус. Число гребенок в комплекте зависит от размера головки. Гребенки смещены в комплекте одна относительно другой в соответствии с углом подъема винтовой линии нарезаемой резьбы.

При нарезании длинных винтов и червяков для повышения производительности применяют резцовые головки, которые устанавливают на суппорте станка. Эти головки оснащают обыкновенными и чашечными резцами и используют при нарезании наружных и внутренних резьб.

Приспособления для токарных станков.

В зависимости от назначения можно разделить на три группы:

- приспособления для закрепления обрабатываемых заготовок;
- вспомогательный инструмент для закрепления режущего инструмента;
- приспособления, расширяющие технологические возможности станков, т.е. позволяющие производить не свойственные этим станкам работы (фрезерование, одновременное сверление нескольких отверстий и т.д.).

Приспособления для закрепления заготовок. Для крепления заготовок на токарных станках применяют двух-, трех- и четырех-кулачковые патроны с ручным и механизированным приводом зажима.

Наиболее широко распространен трехкулачковый само - центрирующий патрон (рис.). Кулачки 1, 2 и 3 патрона перемещаются одновременно с помощью диска 4. На одной стороне этого диска выполнены пазы (имеющие форму архимедовой спирали), в которых расположены нижние выступы кулачков, а на другой — нарезано коническое зубчатое колесо, сопряженное с тремя коническими зубчатыми колесами 5. При повороте ключом одного из колес 5 диск 4 (благодаря зубчатому зацеплению) также поворачивается и посредством спирали перемещает одновременно и равномерно все три кулачка по пазам корпуса 6 патрона. В зависимости от направления вращения диска кулачки приближаются к центру патрона или удаляются от него, зажимая или освобождая деталь. Кулачки обычно изготавливают трехступенчатыми и для повышения износостойкости закаливают.

Различают кулачки крепления заготовок по внутренней и наружной поверхностям; при креплении по внутренней поверхности заготовка должна иметь отверстие, в котором могут разместиться кулачки.

В трехкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляют заготовки круглой и шестигранной формы или круглые прутки большого диаметра.

В двухкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляют различные фасонные отливки и поковки; кулачки таких патронов, как правило, предназначены для закрепления только одной детали.

В четырехкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляют прутки квадратного сечения, а в патронах с индивидуальной регулировкой кулачков — детали прямоугольной или несимметричной формы.

В зависимости от формы и размеров обрабатываемых деталей применяют различные центры. Угол при вершине рабочей части центра обычно равен 60° . Конические поверхности рабочей 1 и хвостовой 2 частей центра не должны иметь забоин, так как это приводит к погрешностям при обработке заготовок. Диаметр опорной части 3 меньше малого диаметра конуса хвостовой части, что позволяет выбивать центр из гнезда без повреждения конической поверхности хвостовой части.

При обработке с большими скоростями резания и нагрузками применяют задние вращающиеся центры. В хвостовой части 4 центра на опорах качения 2, 3 и 5 смонтирована ось, на конце которой выполнена рабочая часть I центра, что обеспечивает ее вращение вместе с обрабатываемой заготовкой.

Хомутики служат для передачи вращения от шпинделя к обрабатываемой заготовке, установленной в центрах станка. Хомутик надевают на заготовку и закрепляют винтом 1, при этом хвостовик 2 хомутика упирается в палец поводкового патрона.

При обработке заготовки в центрах передачу движения ей может осуществлять поводковый патрон через палец-поводок и хомутик, который крепится на детали винтом. Для сокращения вспомогательного времени при черновой обработке в центрах валов диаметром 15... 90 мм применяют самозажимные поводковые патроны.

Цанговые патроны применяют главным образом для закрепления холоднотянутого прутка или для повторного зажима заготовок по предварительно обработанной поверхности.

Мембранные патроны применяют в том случае, когда необходимо обработать партию заготовок с высокой точностью центрирования.

Способ установки и закрепления заготовок на станке выбирают в зависимости от их размеров, жесткости и требуемой точности обработки.

Самой распространенной является установка обрабатываемой заготовки в центрах станка.

Заготовку обрабатывают в центрах в случае необходимости обеспечения концентричности обрабатываемых поверхностей при переустановке заготовки на станке, если последующую обработку выполняют на шлифовальном станке тоже в центрах и если это предусмотрено технологией обработки.

Заготовки с отверстием устанавливают в центрах с помощью токарных оправок.

Для облегчения условий труда рабочих при закреплении заготовок на станки устанавливают механизированные приводы: пневматические, гидравлические, электрические и магнитные.

Лекция 23 (2 часа)

Тема: Обработка материалов на станках сверлильной группы.

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Конструктивные и геометрические параметры режущей части инструментов для обработки отверстий.
2. Подача, сила и скорость резания при обработке отверстий.
3. Типы сверлильных станков и работы выполняемые на них.
4. Основное время при обработке отверстий сверлением.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Конструктивные и геометрические параметры режущей части инструментов для обработки отверстий.

Сверление - распространённый метод получения отверстий в сплошном материале. Сверлением получают сквозные и несквозные (глухие) отверстия и обрабатывают предварительно полученные отверстия в целях увеличения их размеров, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

Сверление осуществляется при сочетании вращательного движения инструмента вокруг оси - *главного движения* и поступательного его движения вдоль оси - *движения подачи*. Оба движения на сверлильном станке сообщают инструменту.

Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении. В процессе резания затруднены отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости к режущим кромкам инструмента. При отводе стружки происходит трение её о поверхность канавок сверла и сверла о поверхность отверстия. В результате повышается деформация стружки и тепловыделение. Переменное значение скорости резания и переднего угла по длине режущей кромки сказывается на характере образования стружки. Поперечная режущая кромка (перемычка) имеет угол резания больше чем 90° , а скорость резания у перемычки почти равна нулю, поэтому у перемычки происходит не резание, а смятие, что вызывает повышенный износ сверла. Направляющие ленточки, не имея заднего угла, создают при сверлении значительное трение о поверхность обработанного отверстия.

Виды свёрл и их характеристика

Свёрла по конструкции и назначению подразделяют на спиральные, перовые, центровые и специальные.

Перовые свёрла наиболее просты в изготовлении, применяются для сверления отверстий от 0 до 25 мм. Перовые свёрла вследствие малой производительности и низкой точности отверстий применяются редко.

Центровые свёрла служат для получения центровых отверстий в различных заготовках. Комбинированные свёрла, например сверло-зенковка, сверло-развёртка, сверло-метчик, применяют для одновременного сверления и зенкования, сверления и нарезания резьбы и т. д.

Специальные сверла (например, пушечные, ружейные сверла) применяют для глубокого сверления (более пяти диаметров). Наибольшее распространение имеют спиральные сверла, так как они являются наиболее производительными.

Части и элементы спирального сверла

У спирального сверла различают следующие части (рис. 2.1):

1. Рабочая часть - часть сверла, снабженная двумя винтовыми канавками; рабочая часть включает в себя режущую и направляющую часть сверла.
2. Режущая часть - часть сверла, заточенная на конус и несущая режущие кромки

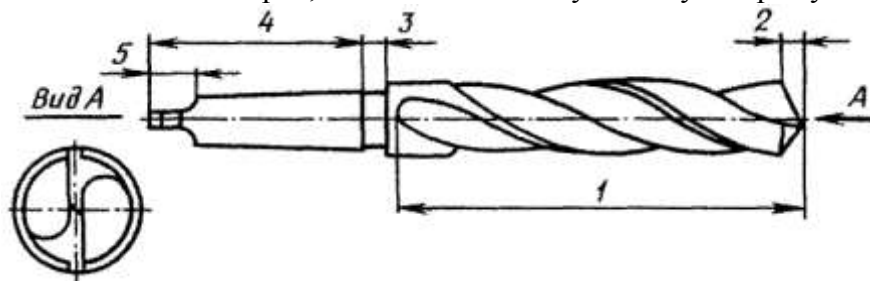


Рис. 2.1. Спиральное сверло.

Направляющая часть - часть сверла, которая обеспечивает направление сверла в процессе резания.

3. Хвостовик - часть сверла, служащая для его закрепления и передачи крутящего момента от шпинделя.

4. Лапка (у сверл с коническим хвостовиком) служит упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя.
5. Поводок (у сверл с цилиндрическим хвостовиком) предохраняет сверло от проворачивания в патроне.

Основные элементы спирального сверла

1. Передняя поверхность - винтовая поверхность канавки, по которой сходит стружка.
2. Задняя поверхность - поверхность, обращенная к поверхности резания.
3. Режущая кромка - линия, образованная пересечением перед ней и задней поверхностей, главных режущих кромок у сверла их две.
4. Ленточка - узкая полоска на цилиндрической поверхности сверла, расположенная вдоль винтовой канавки: обеспечивает сверлу направление при резании.
5. Поперечная кромка - линия, образованная в результате пересечения обеих задних поверхностей.

Геометрические параметры режущих кромок сверла

Углы режущих кромок сверла можно рассмотреть двояко: в статическом состоянии и в процессе резания (в движении).

На рис. 2.2 для произвольной точки А показаны углы режущей кромки сверла в двух сечениях: в плоскости N-N, нормальной к режущей кромке, и в плоскости 0-0 касательной к цилиндрической поверхности, на которой лежит рассматриваемая точка.

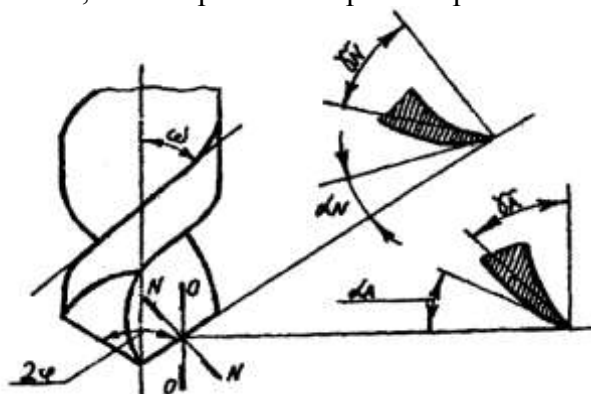


Рис. 2.2. Элементы рабочей части сверла

Передний угол γ - угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормально в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. По длине режущей кромки передний угол - является величиной переменной. По мере приближения к оси сверла передний угол уменьшается, а у поперечного режущего лезвия он принимает отрицательное значение.

Задний угол α_N в нормальной плоскости N-N может быть определен по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \varphi \quad (2.1)$$

где φ - угол в плане главной режущей кромки, равный половине угла при вершине.

Задний угол сверла - величина переменная: у периферии $\alpha = 8-14^\circ$, по мере приближения к поперечной режущей кромке задний угол возрастает и достигает $20-26^\circ$.

В процессе резания в результате вращательного и поступательного движения сверла поверхность резания представляет собой винтовую поверхность. Вследствие этого действительные углы изменяются, передний угол γ становится большим, а задний угол α меньшим:

$$\gamma_p = \gamma + \mu, \quad (2.2)$$

$$\alpha_p = \alpha - \mu \quad (2.3)$$

где μ - угол наклона траектории движения данной точки.

Величину μ для данной точки режущей кромки сверла можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi \cdot D} \quad (2.4)$$

где S - подача сверла, мм/об; D - диаметр, на котором расположена данная точка режущего лезвия сверла, мм.

Зенкеры

При обработке отверстий обеспечить высокую чистоту поверхности и точность размеров значительно труднее, чем при обработке наружных поверхностей.

Эти трудности возрастают по мере увеличения длины отверстия и уменьшения его диаметра. Для облегчения этой задачи служат размерные инструменты - зенкеры и развертки. Зенкер - многолезвийный расточной инструмент для обработки предварительно просверленного отверстия или отверстия, полученного литьём или ковкой. Зенкерованием получают отверстие с точностью до 4-го класса и чистотой до 6-го класса.

Центрирование зенкер не обеспечивает: если до обработки зенкером отверстие имело биение, то биение сохраняется после зенкерования. Производительность при зенкеровании более высокая, чем при растачивании.

Зенкеры бывают: хвостовые и насадные (крепятся к оправке на конусной насадке); цельные и сборные (со вставными ножами); быстрорежущие и твердосплавные. По количеству рабочих перьев различают трёхперые и четырёхперые зенкеры. Иногда применяют двухперые зенкеры - ножи. Зенкеры крепят коническим хвостовиком в пиноль задней бабки, подача может быть ручной или механической.

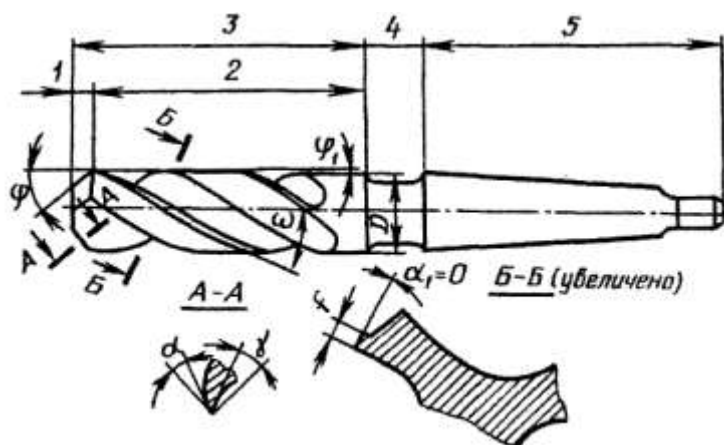


Рис.2.3. Конструкционные элементы зенкера:

1-режущая (заборная) часть; 2- калибрующая часть; 3- рабочая часть;
4- шейка; 5- хвостовик

Припуск под зенкерование отверстий составляет 0,5 - 2 мм на сторону в зависимости от диаметра. Ниже приведены средние значения припусков под зенкерование после сверления, которые удаляются за один проход (т.е. $t = h$).

Таблица 1.1. Припуск под зенкерование после сверления

Диаметр зенкерования, мм	до 20	21-35	36-45	46-50	51-60	61-70	71-80
Припуск h на сторону, мм	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2

Подачи при работе зенкерами из быстрорежущей стали 0,3-1,2 мм/об, твердосплавными зенкерами 0,4-1,5 мм/об, скорость резания соответственно 20-35 м/мин и 60-200 м/мин. Отверстия большего диаметра обрабатывают комбинированным инструментом - сверлом-зенкером.

Зенковкой обрабатывают фаски, потаи. Для получения поверхности высокой чистоты (до 8-го класса) зенковки, в отличие от зенкеров, делают многолезвийными. Стандартные зенковки имеют углы конуса рабочей части 45, 60, 75, 90 и 120

Развертки

Как было указано, обработкой зенкером получают невысокую точность и чистоту поверхности. Чтобы без особых затруднений обеспечить высокую чистоту и высокую точность, пользуются размерными многолезвийными инструментами - *развёртками*. Обработкой развёрткой получают отверстия до 2-го класса точности с чистотой 7-го - 8-го класса, а обработкой последовательно двумя развёртками - до 9-го класса. Однако, как и при зенковании, развёртыванием нельзя получить центрирование, если до этого отверстие имело биение или перекося.

По назначению развёртки делятся на слесарные (ручные) и станочные (машинные), по конструкции - на хвостовые и насадные, по материалу - на быстрорежущие и твердосплавные. Существуют также регулируемые (установочные) развертки, размер которых можно изменять в небольших пределах. Развёртка состоит из рабочей части, шейки и хвостовика. Хвостовик машинных развёрток - конический (стандартный конус Морзе), ручных развёрток цилиндрический с квадратом под вороток. На рабочей части развёртки различают направляющий конус, заборный конус и калибрующую часть. Направляющий конус облегчает ввод развёртки в отверстие.

Заборный конус расположен под углом φ (рис. 2.4) к направлению подачи развёртки. Угол φ для обработки чугуна составляет 4-6°, для обработки стали 12-15°. Это значит, что для обработки чугуна заборный конус развёртки длиннее, чем для обработки стали. Таким способом уменьшают истирание режущих кромок при обработке материала с большой абразивностью.

Режущие кромки на заборном конусе остро заточены и выполняют работу резания.

Калибрующая часть - цилиндрический участок развёртки. Режущие зубья на этом участке имеют узкие шлифовальные ленточки шириной 0,05-0,2 мм, которые направляют развёртку в отверстие, а кромка ленточки зачищает отверстие, обеспечивает высокую чистоту поверхности. Диаметр развёртки, измеренный по ленточкам противоположащих зубьев, соответствует диаметру обрабатываемого отверстия.

Для облегчения вывода развёртки из отверстия на калибрующей части по ленточкам шлифуется обратный конус с углом 1:50 (угол наклона около 10'). Шаг между зубьями развёртки, как правило, делается неравномерным. Если у развёртки, например, 12 зубьев, то центральный угол составляет не 30°, а последовательно 33, 34°30', 36°, 37°30', 39°, при этом противоположащие зубья должны располагаться на одном диаметре, что важно для контроля развёртки. Неравномерность шага устраняет попадание режущей кромки в одно и то же место на поверхности отверстия в момент биения развёртки из-за колебаний чисел оборотов (при колебании напряжения в сети), износа подшипников и неравномерности структуры обрабатываемого металла.

Высокое качество обработки обеспечивают с правыми и левыми спиральными (винтовыми) канавками.

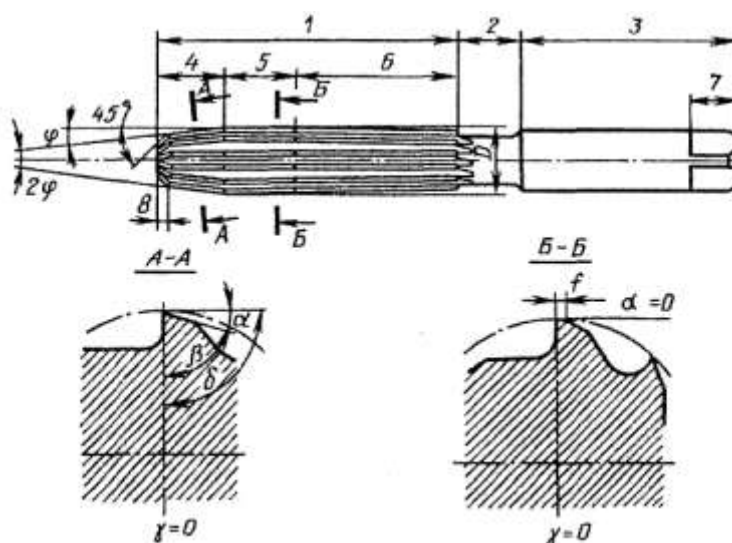


Рис. 2.4. Конструкционные элементы развёртки:
1 - рабочая часть; 2 - шейка; 3 - хвостовик; 4 - заборная (режущая) часть;
5 - калибрующая часть; 6 - обратный конус; 7 - квадрат;
8 - направляющий конус.

Перед развёртыванием отверстие очищают от грязи и стружки, протирают. Если хвостовик развёртки закреплён непосредственно в пиноли задней бабки, то незначительная несоосность хвостовика и рабочей части развёртки, перекося оси пиноли или загрязнение посадочного конуса вызывает неравномерное срезание припуска; отверстие будет иметь больший диаметр у концов и меньший в середине. Чтобы припуск срезался равномерно, и не было "разбивки размера", развёртки закрепляют в качающейся оправке: корпус оправки закрепляют в пиноли, а собственно оправка, несущая развёртку, связана с корпусом шарниром. Существуют также "плавающие" оправки, в которых развёртка "плавает", сохраняя горизонтальное положение. Припуск на развёртывание зависит от обрабатываемого материала и составляет 0,08-0,2 мм на сторону. При очень большом припуске трудно получить требуемый размер отверстия, кроме того, можно сломать развёртку. Очень малый припуск также нежелателен, так как поверхность предварительно просверленного отверстия имеет "наклёп" - некоторое повышение твёрдости в результате деформации поверхностного слоя при сверлении или расточке. Развёртка, работая по наклёпанному слою, будет быстро истираться и возможно её заклинивание в отверстии.

Развёртывание стальных заготовок деталей выполняется с охлаждением эмульсией, или маслом, а чугуновых - с охлаждением керосином или керосином со скипидаром.

2. Подача, сила и скорость резания при обработке отверстий

Расчет режимов резания при сверлении, развёртывании

Вторым после точения, самым распространенным видом механической обработки является сверление. К нему же приравнивается развёртывание, зенковка, рассверливание. При расчете режимов резания можно, пренебрегая жесткостью системы обработки, представить, что это одновременное растачивание несколькими резцами, поэтому принцип расчета будет аналогичен токарной обработке. Однако при малых диаметрах сверла, менее 10 мм, режимы резания рассчитываются исходя из целостности сверла после обработки. Другими словами, режимы считаются таким образом, чтобы сверло не

изломалось, поэтому расчет производится исходя из характеристик прочности инструмента.

Однако, во время экспериментов с методикой, было выявлено ошибку, в связи с которой скорость резания была слишком высока, это выражалось длительностью сверления, но высокой стойкостью инструмента, и высоким качеством обработки. Плюс это или минус необходимо решать при определенной задаче, поскольку низкие подачи могут вызвать быстрое затупление режущей части (или даже налипание), однако при слишком высоких подачах вероятен излом инструмента, не говоря уже о понижении безопасности обработки.

С нашей методикой расчета режимов для сверления можно ознакомиться ниже. В соответствующей теме форума можно скачать макрос автоматического расчета режимов резания для сверлильных работ.

Методика расчета режимов резания при сверлильных работах

При сверлильных работах рекомендуется задавать режимы исходя из мощности используемого оборудования. Наиболее удобный материал режущего инструмента – быстрорежущая сталь (P18, P6M5). Подачи при сверлильных работах вычислять по формуле:

$$S = CD^{0,6} \cdot K_{ls}$$

S- подача, мм/об

D- диаметр сверла, мм

C- коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и иных технологических факторов (чистота поверхности, наличие дальнейшей обработки и т.д) (таблица 1)

Kls- коэффициент на подачу, зависящий от условия выхода стружки (таблица 2)

Таблица 1

Обрабатываемый материал	HB	Группа подач, определяемая технологическими факторами		
		I	II	III
Сталь	≤160	0,085	0,063	0,042
	160-240	0,063	0,047	0,031
	240-300	0,046	0,038	0,023
	>300	0,038	0,028	0,019
Чугун	≤170	0,130	0,097	0,065
	>170	0,078	0,058	0,039
Цветные металлы	Мягкие	0,170	0,130	0,085
	Твердые	0,130	0,097	0,065

I группа подач- сверление глухих отверстий или рассверливание без допуска по 5-му классу точности или под последующее рассверливание

II группа подач- сверление глухих и сквозных отверстий в деталях нежесткой конструкции, сверление под резьбу и рассверливание под последующую обработку зенкером или развертками

III группа подач- сверление глухих и сквозных отверстий и рассверливание под дальнейшую обработку

Таблица 2

Длина отверстия в диаметрах до	3	4	5	6	8	10
Коэффициент Kls	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70

Режимы резания при сверлении

Затрачиваемая мощность при сверлении зависит от крутящего момента. Крутящий момент вычисляется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_p$$

$M_{\text{кр}}$ - крутящий момент, воспринимаемый сверлом при резании, Н*м

C_M , q , y - коэффициенты на крутящий момент при сверлении, зависящий от условий резания (таблица 3)

D - диаметр сверла, мм

S - подача, мм/об

$$K_p = K_{MP}$$

K_{MP} - коэффициент на крутящий момент, зависящий от механических свойств материала (таблица 4)

Таблица 3

Обрабатываемый материал	C_M	q	y
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_{\text{ср}} = 750 \text{ МПа}$	0,0345	2,0	0,8
Серый чугун 190 НВ	0,021	2,0	0,8
Медные сплавы	0,012	2,0	0,8
Алюминиевые сплавы	0,005	2,0	0,8

Таблица 4

Обрабатываемый материал	K_{MP}	Показатель n		
Сталь	$K_{MP} = \left(\frac{750}{\sigma_{\text{ср}}} \right)^n$	$C \leq 0.6\%$	$\sigma_{\text{ср}} < 450 \text{ МПа}$	-1,0
			$\sigma_{\text{ср}} = 450 \dots 550 \text{ МПа}$	1,75
			$\sigma_{\text{ср}} > 550 \text{ МПа}$	1,75
		хромистая сталь		1,75
		$C > 0.6\%$		1,75
Чугун серый	$K_{MP} = \left(\frac{190}{HB} \right)^n$	1,7		
Медные сплавы	1	---		
Алюминиевые сплавы	1	---		

У нормальных сверл диаметром выше 10 мм не возникает опасности излома от чрезмерно большого крутящего момента, так как для этих диаметров наибольшие напряжения, возникающие в сверле, обычно лимитируются скоростью затупления при возрастании скорости резания и подачи. Для сверл диаметра меньше 10 мм, крутящий момент рекомендуется рассчитывать по ф-ле $M_{\text{кр}} = 0,00867 \cdot D^2$,

для обеспечения целостности инструмента.

Приравняв $M_{\text{кр}} = 0,00867 \cdot D^2$ и $M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_p$ можно вычислить максимально возможные подачи для сверл малого диаметра при сверлении заданного материала (таблица 5).

Таблица 5

Обрабатываемый материал	Сталь	Чугун	Медные сплавы	Алюминиевые сплавы
Максимально				

возможная подача, мм/об	0,01	0,019	0,037	0,11

Для обеспечения жесткости СПИД при сверлении, необходимо устанавливать сверло в патроне с минимальным по возможности вылетом (больше на 3-5 мм чем глубина обрабатываемого отверстия).

Скорость резания при сверлении вычисляется по формуле:

$$v = \frac{9.75 \cdot N_{ст} \cdot \eta_{ст} \cdot \delta_{ст} \cdot \pi \cdot D}{M_{кр} \cdot T^{0.2}}$$

Частота вращения вычисляется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

Таблица расчетов режимов при сверлении на станке 2A135 в приложении 1.

Зенкерование и рассверливание

Подача при зенкеровании и рассверливании рассчитывается аналогично по формуле:

$$S = C D^{0.6} \cdot K_{ls}$$

Крутящий момент рассчитывается по формуле:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q (0.5(D-d))^x S^y K_p$$

Значения коэффициентов C_m , x , y , q выбирать по таблице 6

Таблица 6

Обрабатываемый материал	C_m	q	x	y
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_{ср} = 750 \text{ МПа}$	0,09	1,0	0,8	0,8
Серый чугун 190 НВ	0,085	1,0	0,8	0,8
Медные сплавы	0,031	0,85	0,8	0,8
Алюминиевые сплавы	0,02	0,85	0,8	0,8

D- диаметр сверла

d- диаметр ранее рассверленного отверстия

Скорость резания рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{9.75 \cdot N_{ст} \cdot \eta_{ст} \cdot \delta_{ст} \cdot \pi \cdot D}{M_{кр} \cdot T^{0.2}}$$

Частота вращения вычисляется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

Развертывание

Для определения крутящего момента при развертывании, каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточной резец.

$$M_{кр} = \frac{C_F \cdot (0.5(D-d))^x \cdot s_Z^y \cdot D \cdot Z}{200}$$

s_Z - подача на один зуб инструмента (равна s/Z)

s - подача, мм/об

Z - число зубьев развертки

Коэффициенты Ср, х, у в таблице 7

Таблица 7

Материал обрабатываемый	Ср	х	у
Сталь $\sigma_{ср} = 750 \text{ МПа}$	300	1	0,75
Чугун серый 190 НВ	92	1	0,75
Алюминиевые сплавы	40	1	0,75
Медные сплавы	55	1	0,66

Скорость резания рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{9,75 \cdot N_{ср} \cdot \eta_{ср} \cdot \delta_{ср} \cdot \pi \cdot D}{M_{шп} \cdot T^{0,2}}$$

Частота вращения вычисляется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

При введении методики расчетов в системе ТехноПро рекомендуется для сверления и развертывания, подсчитанные режимы внести в информационную базу данных, тем самым, избегая программирования условия расчета и упрощая работу системы. Для расчета режимов при зенкерования и рассверливания необходимо запрограммировать условия, используя коэффициенты из таблицы 6.

3. Типы сверлильных станков и работы выполняемые на них.

Сверлильные станки предназначены для обработки отверстий в сплошном материале, рассверливания, зенкерования и развертывания уже существующих в заготовке отверстий, нарезания внутренних резьб, вырезания дисков из листового материала и выполнения подобных операций сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и другими инструментами.

Основными параметрами станка являются наибольший условный диаметр сверления отверстия (по стали), вылет и максимальный ход шпинделя и т.д.

В зависимости от области применения различают станки универсальные и специальные, предназначенные для обработки конкретных изделий, например, путем их оснащения многошпиндельными сверлильными и резьбонарезными головками и автоматизации цикла работы с помощью электрических, гидравлических и других устройств (механизмов смены инструментов, например револьверных головок; многопозиционных поворотных столов с автоматически действующими зажимными приспособлениями; устройств контроля целостности инструмента; других устройств, обеспечивающих надежную работу в условиях автоматизированного производства).

Существуют следующие основные типы универсальных станков: вертикально-сверлильные одно- и многошпиндельные (рис. 6.1); радиально-сверлильные (рис. 6.2); горизонтально-сверлильные для глубокого сверления (рис. 6.3) и горизонтально-центровальные.

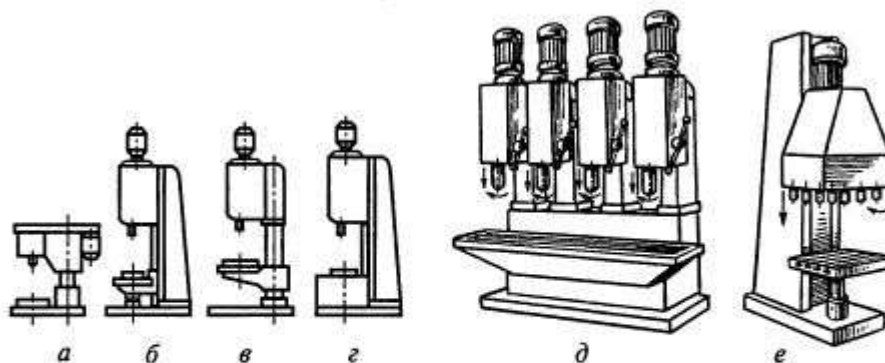


Рис. 6.1. Вертикально-сверлильные станки:

одношпиндельные: а — настольный; б — средних размеров на коробчатой основе; в — средних размеров на круглой колонне; г — тяжелый; многошпиндельные: д — станки с постоянными шпинделями, имеющими одну общую станину; е — станки с переставными шарнирно соединенными шпинделями

autowelding.ru

Сверлильно-расточные станки делят на типы: вертикально-сверлильные; одношпиндельные полуавтоматы; многошпиндельные полуавтоматы; радиально-сверлильные; горизонтально-сверлильные; разные сверлильные.

Модели станков обозначают буквами и цифрами. Первая цифра обозначает, к какой группе относится станок, вторая — к какому типу, третья и четвертая цифры характеризуют размер станка или обрабатываемой заготовки. Буква, стоящая после первой цифры, означает, что данная модель станка модернизирована (улучшена). Если буква стоит в конце, то это означает, что на базе основной модели изготовлен отличный от него станок.

Например, станок модели 2Н118 — вертикально-сверлильный, максимальный диаметр обрабатываемого отверстия 18 мм, улучшен по сравнению со станками моделей 2118 и 2А118. Станок модели 2Н118А также вертикально-сверлильный, диаметр обрабатываемого отверстия 18 мм, но он автоматизирован и предназначен для работы в условиях мелкосерийного и серийного производств.

Кроме станков, изготавливаемых серийно, станкостроительные заводы выпускают много специальных станков. Эти станки, как правило, обозначают условными заводскими номерами.

4. Основное время при обработке отверстий сверлением.

Выбор режимов резания при сверлении заключается в определении такой подачи и скорости резания, чтобы процесс обработки детали был наиболее производительным и экономичным.

Теоретический расчет элементов режима резания производится в следующем порядке.

1. Выбирают подачу в зависимости от характера обработки, требуемого качества обработанной поверхности, прочности сверла и других технологических и механических данных. Подача, выбранная по справочным таблицам, корректируется паспортными данными сверлильного станка (берется ближайшая меньшая).

2. Определяют скорость резания, допускаемую режущими свойствами сверла. При сверлении сверлом из быстрорежущей стали скорость резания находят по формуле

$$v = \frac{C^* D^{zy}}{T^{ms} uv} \text{ к м/мин,}$$

где C^* — постоянный коэффициент, характеризующий металл и условия его обработки;
 D — диаметр сверла, мм;
 T — стойкость сверла, мин;
 s — подача, мм/об;
 m^* — показатель относительной стойкости;
 z, y, v^* — показатели степеней;
 k — общий поправочный коэффициент.

3. По найденной скорости резания подсчитывают число оборотов

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} \text{ об/мин,}$$

где D — диаметр сверла, мм;
 v — скорость резания, м/мин;
 π — постоянная величина, равная 3,14.

Полученное число оборотов корректируется по паспортным данным станка (принимается ближайшее меньшее или ближайшее большее, если оно не более чем на 5% отличается от расчетного).

4. Определяют действительную скорость резания, с которой будет производиться обработка

$$v_d = \frac{\pi D n_d}{1000} \text{ м/мин,}$$

где n_d — скорректированное по паспорту станка число оборотов.

5. Проверяют выбранные элементы режима резания по прочности слабого звена механизма главного движения и мощности электродвигателя станка.

6. Подсчитывают основное (технологическое) время T_0 обработки детали.

При сверлении, рассверливании, зенкерования и развертывании основное (машинное) время определяется по формуле

$$T_0 = \frac{L}{s_m} i = \frac{l + l_1 + l_2}{n s_0} i \text{ мин,}$$

где L — длина пути, проходимого инструментом в направлении подачи, мм;
 l — длина обрабатываемого отверстия, мм;
 l_1 — величина врезания инструмента, мм;
 l_2 — величина перебега инструмента, мм;
 n — число оборотов инструмента в минуту;
 s_m — минутная подача инструмента, мм;
 s_0 — подача инструмента за один оборот, мм;
 i — число проходов инструмента.

При сверлении стали, чугуна, твердой бронзы нормальными сверлами с углом $2\varphi = 116—118^\circ$ $l_1 = 0,3 D$ мм (где D — диаметр сверла, мм); $l_2 = 0,5—3$ мм (для сверл диаметром от 2 до 60 мм).

При рассверливании: $l_1 = 0,61 t D$ мм (где t — глубина резания в мм); $l_2 = 1—3$ мм (для глубины резания от 2 до 25 мм).

При зенкерования и развертывании:

для инструментов с углом $2\varphi=3-75^\circ$, $D=5-70$ мм,
 $t=0,05-4$ мм, $l_1=0,05-7$ мм;
 для зенкеров $l_2=0,05-7$ мм;
 для разверток $l_2=0,3-0,5$ длины калибрующей
 части.

Обычно в производственных условиях при выборе элементов режима резания, сверления, зенкерования, развертывания и нарезки внутренних резьб пользуются данными технологических карт и таблиц справочников.

Ниже приводится пример выбора режима резания при сверлении на основании данных официального издания Машгиза «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на сверлильных станках», 1959 г.

Пример. Исходные данные: деталь — вилка; операция — сверление отверстия диаметром 28 мм под зенкерование; станок — вертикально-сверлильный, модель 2А150

Лекция 24 (2 часа)

Тема: Обработка материалов на станках фрезерной группы.

1.22.1 Вопросы лекции:

1. Сущность процесса фрезерования. Основные типы фрез.
2. Элементы режима резания при фрезеровании. Геометрические параметры режущей части фрезы.
3. Типы фрезерных станков. Работы, выполняемые на фрезерных станках.
4. Универсально-делительная головка УДГ-135

1.22.2 Краткое содержание вопросов:

1. Сущность процесса фрезерования. Основные типы фрез.

Фреза представляет собой режущий инструмент в виде тела вращения, по образующей поверхности или на торце которого расположены режущие зубья. При фрезеровании каждый отдельный зуб фрезы за время одного полного ее оборота находится в контакте с обрабатываемой поверхностью детали лишь относительно малое время: большую часть времени зуб проходит по воздуху и при этом охлаждается, что является положительным фактором. Врезание зуба фрезы в заготовку сопровождается ударом, что осложняет работу фрезы и станка.

Типы фрез

Фрезы классифицируются по характеру выполняемой работы, по конструкции и креплению зубьев, по положению зубьев относительно оси фрезы и другим признакам. Большинство конструкций фрез стандартизировано. В таблице 1 приведена классификация фрез по технологическому назначению.

Цилиндрические фрезы применяют для обработки открытых плоскостей, изготавливают с правыми и левыми канавками. При больших сечениях стружки для обеспечения работы без вибрации применяют крупнозубые цилиндрические фрезы с неравномерным шагом.

Торцевые фрезы имеют зубья на цилиндрической и торцевой поверхностях. Эти фрезы применяют для обработки открытых плоскостей, их изготавливают со вставными резцами, закрепленными в массивном корпусе.

Дисковые фрезы применяют для обработки уступов, пазов, лы-сок, многогранных и других боковых плоскостей на прямоугольных и круглых заготовках. Дисковые фрезы могут быть одно-, двух-, трехсторонними. Односторонняя дисковая фреза имеет режущие кромки только на цилиндрической части, двухсторонняя имеет режущие кромки и на одном торце и на цилиндрической части, трехсторонняя - на обоих торцах и на цилиндрической части.

Прорезные и отрезные фрезы применяются для прорезки узких пазов (шлицы винтов и др.) и отрезки (разрезания) заготовок.

Концевые фрезы применяются для обработки плоскостей, уступов, пазов и криволинейных контуров по разметке и копиру. Концевые фрезы имеют режущие кромки на цилиндрической части (обычно расположенные по винтовой линии и на торце).

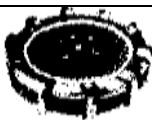
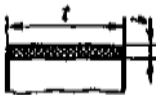
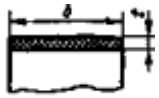
Угловые фрезы применяют для обработки поверхностей, расположенных под некоторым углом друг к другу.

Фасонные фрезы применяют для изготовления сложно-фасонных поверхностей; профиль фасонной фрезы соответствует обрабатываемой детали.

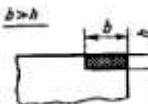
Резьбовые фрезы предназначены для фрезерования резьбы на специальных резьбофрезерных станках. Резьбовые фрезы бывают двух видов: дисковые и гребенчатые. Гребенчатые фрезы предназначены для нарезания коротких треугольных резьб, а дисковые - для нарезания длинных резьб (винтов).

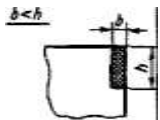
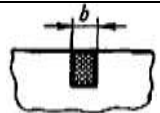
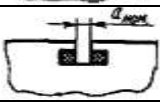
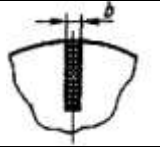
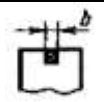
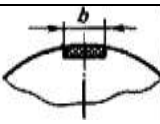
Фрезы для обработки легких сплавов и пластмасс имеют отличительные особенности в конструкции: малое число зубьев (двузубые и трехзубые концевые фрезы, четырех-, восьмизубые торцевые и дисковые фрезы. Фрезы для обработки пластмасс имеют особую форму и резбонаправленность зубьев. Эти фрезы имеют большое число зубьев (малый угловой шаг).

Классификация фрез

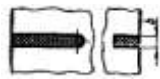
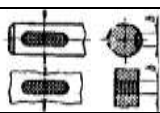
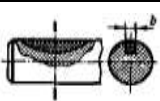
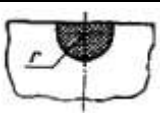
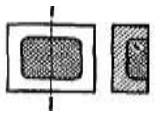
№ п/п	Наименование фрез	Эскиз	Технологическое назначение	
			для образования (обработки)	эскиз
1	2	3	4	5
1	Торцовые проходные с углом $\varphi < 90^\circ$			
2	Цилиндрические		Плоскостей (граней)	
3	Угловые (концевые) для снятия фасок		Плоских кромок (фасок)	

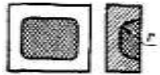
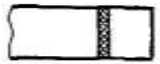
продолжение

1	2	3	4	5
4	Одноугловые, дисковые			
5	Четвертькруглые вогнутые, концевые		Закругленных кромки	
6	Четвертькруглые вогнутые, дисковые		Закругленных кромки	
7	Полукруглые вогнутые, дисковые		То же	
8	Торцовые упорные с углом $\varphi = 90^\circ$		Прямоугольных уступов (ступеней)	

9	Дисковые двусторонние		Прямоугольных уступов (ступеней)	
10	Одноугловые (для пазов)		Пазов типа «ласточкин хвост»	
11	Трехсторонние дисковые		Прямоугольных пазов различного назначения	
12	Для Т-образных пазов		Т-образных пазов	
13	Трехсторонние дисковые узкие		Прямоугольных пазов в роторах электродвигателей	
14	Шлицевые дисковые		Прорезей, шлиц	
15	Пазовые дисковые		Пазов под шпонки клиновые и призматические	

продолжение

1	2	3	4	5
16	Концевые		Сквозных и открытых пазов	
17	Шпоночные, концевые		Закрытых пазов и окон	
18	Для пазов под сегментные шпонки		Пазов под сегментные шпонки	
19	Полукруглые выпуклые (дисковые)		Канавок радиусных	
20	Двуугловые симметричные (дисковые)		Канавок призматических	
21	Копирные с цилиндрической рабочей частью и закругленным торцом		Впадин (штампов, пресс-форм) с отвесными стенками	
22	Копирные с конической рабочей частью и закругленным торцом		Впадин (штампов, пресс-форм) с наклонными стенками	

23	Копирные с конической рабочей частью и закругленными углами		Предварительно имеющих впадин, окон	
24	Отрезные		Отрезка, разрезка	

Наборы фрез применяются для одновременного фрезерования нескольких поверхностей. Подбираются по заданной форме и размеру и закрепляются на одной оправке.

Составляются такие наборы, как из стандартных фрез, так и из специально изготовленных фрез.

2. Элементы режима резания при фрезеровании. Геометрические параметры режущей части фрезы.

Не менее важным фактором, влияющим на производительность резания, являются *геометрические параметры режущей части фрезы*, которые представляют совокупность элементов (режущих углов, размеров и форм) зуба фрезы, что часто называют сокращенно геометрией фрезы.

Не менее важным фактором, влияющим на производительность резания, являются *геометрические параметры режущей части фрезы*, которые представляют совокупность элементов (углов заточки, размеров и форм) зуба фрезы, что часто называют сокращенно геометрией фрезы.

Не менее важным фактором, влияющим на выбор режимов резания, являются *геометрические параметры режущей части фрезы* (режущих углов, размеров и формы зуба), что часто называют геометрией фрезы. Ранее, в § 7, рассмотрены значение и влияние каждого из элементов геометрии зуба фрезы в процессе резания, здесь же рассмотрим рекомендуемые геометрические параметры режущей части фрез из быстрорежущей стали P18 и с пластинками твердого сплава.

Углы заточки фрез определяют по аналогии с углами резца (см. рис. 6). Эти углы измеряются в различных плоскостях сечения зуба (рис. 245).

Главный передний угол γ - угол между касательной к передней поверхности и осевой плоскостью, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке и проходящей через данную ее точку.

У цилиндрических фрез из быстрорежущих сталей (рис. 245, а) главный передний угол выбирают в пределах $5^\circ \div 25^\circ$, у торцовых твердосплавных фрез (рис. 245, б) - в пределах $-10^\circ \div +10^\circ$.

Иногда передние углы задают в плоскости, нормальной к оси фрезы, так называемый поперечный передний угол γ' . Существуют формулы перехода от угла γ' к углу γ :

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cdot \cos \omega$$

для цилиндрических фрез,

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \omega \cdot \cos \varphi$$

для торцовых фрез.

Главный задний угол α - угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке главной режущей кромки и касательной к окружности вращения данной точки, измеряемый в плоскости, нормальной к оси фрезы и проходящей через данную точку главной режущей кромки. Иногда задний угол задают в нормальном сечении к главной режущей кромке - задний угол нормальный α_n . Они связаны между собой соотношениями:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \cos \omega$$

для цилиндрических фрез,

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n / \sin \varphi$$

для торцовых фрез.

Главный задний угол α у фрез выбирают в пределах 10 - 25

Угол наклона главной режущей кромки λ - угол между главной режущей кромкой и проекцией ее на осевую плоскость, проходящую через вершину угла между главной и вспомогательной режущими кромками, измеряемый в продольной плоскости, проходящей через данную точку режущей кромки. У цилиндрических, концевых и дисковых фрез угол λ , равен углу наклона винтового зуба, т. е. $\lambda = \omega$. Угол λ влияет на прочность и стойкость зуба фрезы. Его выбирают в пределах от 0 до 15°.

Главный угол в плане угловой кромки φ - угол между проекцией главной режущей кромки на осевую плоскость, проходящую через рассматриваемую точку кромки, и торцовой плоскостью. Главный угол в плане обычно выбирают в пределах 45 - 60°. Малые значения угла $\varphi = 10 - 30^\circ$ требуют от станка повышенной жесткости и виброустойчивости.

Вспомогательный угол в плане φ_1 - угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на осевую плоскость, проходящей через рассматриваемую точку кромки, и торцовой плоскостью. Он служит для уменьшения трения вспомогательной режущей кромки об обработанную поверхность и выбирается для торцовых фрез в пределах 1 ÷ 10°.

Главный угол в плане переходной кромки φ_0 - угол между проекцией переходной кромки на осевую плоскость, проходящей через рассматриваемую точку и торцовой плоскостью.

Его выбирают в пределах 15 ÷ 30°.

Значения геометрических параметров для различных фрез и условий обработки приведены в справочниках по режимам фрезерования, в справочниках технолога или фрезеровщика.

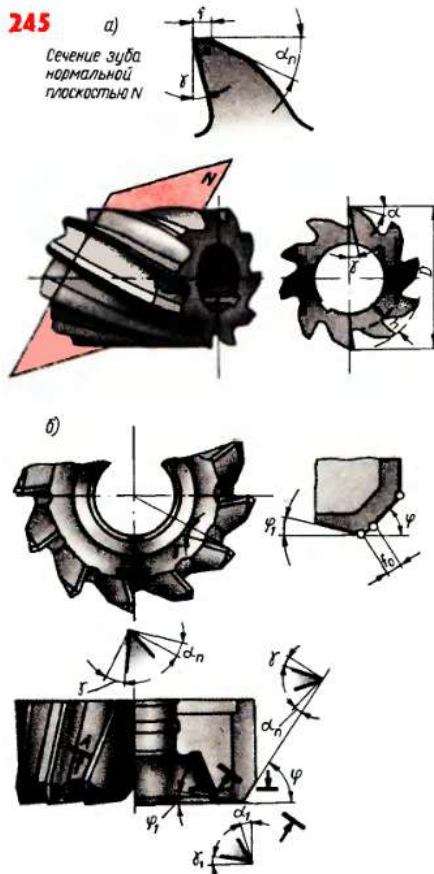
Выбору режима резания должен предшествовать выбор типа и диаметра фрезы, выбор материала и *геометрических параметров режущей части фрезы*. При выборе режима резания для конкретных условий необходимо располагать паспортными данными станка, на котором производится обработка. Выбранные параметры режима резания корректируются по паспортным данным.

Скорость резания при фрезеровании зависит от обрабатываемого металла, материала режущей части фрезы, от режима резания, а также от конструкции и *геометрических параметров режущей части фрезы*.

Скорость резания, допускаемая фрезой, зависит от свойств обрабатываемого материала и материала режущей части фрезы, от элементов режима резания, конструкции и *геометрических параметров режущей части фрезы*, а также от охлаждения.

Исходные данные: профиль детали (поверхность, которую необходимо получить на детали при фрезеровании); диаметр фрезы D и ее радиус K ; *геометрические параметры режущей части фрезы* - углы γ .

Соответствующими ГОСТам, и фрезеровщику в отличие от строгальщика почти невозможно изменять эти углы путем заточки. Приведенные в табл. 5 - 10 *геометрические параметры режущей части*



Геометрические параметры режущей части фрезы

фрез помогут фрезеровщику правильно выбрать соответствующую данной обработке фрезе из имеющихся в инструментальной кладовой стандартных фрез.

В этой главе излагаются методика и результаты опытов по определению силы резания при цилиндрическом и дисковом фрезеровании слоистых пластмасс твердосплавными фрезами. Устанавливается характер влияния режима резания, *геометрических параметров режущей части фрез*, износа фрезы на силу резания. Для сравнения приводятся результаты опытов по определению силы резания при фрезеровании слоистых пластмасс с различными наполнителями, а также при фрезеровании некоторых металлов.

Применительно к конкретным условиям производства эти данные можно уточнить для обеспечения наивысшей производительности труда и экономичности обработки заготовок фрезерованием. Скорость резания при фрезеровании зависит от обрабатываемого металла, глубины резания, подачи, ширины фрезерования, а также от материала конструкции и *геометрических параметров режущей части фрезы*.

Не менее важным фактором, влияющим на выбор режимов резания, являются геометрические параметры режущей части фрезы (режущих углов, размеров и формы зуба), что часто называют геометрией фрезы. Ранее, в § 7, рассмотрены значение и влияние каждого из элементов геометрии зуба фрезы в процессе резания, здесь же рассмотрим рекомендуемые *геометрические параметры режущей части фрез* из быстрорежущей стали Р18 и с пластинками твердого сплава.

3. Типы фрезерных станков. Работы, выполняемые на фрезерных станках.

Фрезерные станки предназначены для обработки деталей и заготовок с плоскими и фасонными поверхностями. Широко распространены в металлообрабатывающей области промышленной сферы. Несмотря на разнообразие видов станка основные элементы конструкции схожи. Технологические возможности фрезерного станка расширяются с помощью следующих дополнений:

- Универсальной, вертикальной или долбежной головки;
- Универсального делительного аппарата;
- Круглого делительного стола;
- Устройства для нарезания гребенок и т. д.

Остановимся на каждом виде фрезерного станка подробнее.

Вертикально-фрезерные станки

(Рис. 1) Данное оборудование предназначено для металлообработки заготовок с помощью торцевых, фасонных, цилиндрических и концевых фрез. Не исключено выполнение сверлильных работ. Применяется для обработки зубчатых колес и пазов, углов и рамок, вертикальных и горизонтальных плоскостей, выполненных из чугуна, стали, цветных металлов и различных сплавов.

Стоит отметить, в таких станках отсутствует консоль, а стол перемещается по направляющим станины. Благодаря такой конструкции станок обладает предельной жесткостью, что обеспечивает сравнительную точность обработки. Шпиндельная головка является и коробкой скоростей. Имеет установочное передвижение по вертикальным направляющим. Обращаем ваше внимание, что шпиндель вместе с гильзой можно сдвигать в осевом направлении.

Также вертикально-фрезерный станок имеет два вида:

- Вертикальный консольно-фрезерный станок;
- Вертикальный фрезерный станок без консоли.

Примеры: 6Р12П, 6Р13, Кратон WMM-2, 25.

Горизонтально-фрезерные станки

(Рис. 2) Данный тип оборудования имеет горизонтально расположенный шпиндель. Применяется для обработки небольших деталей/заготовок. Конструкция станка позволяет обрабатывать винтовые и фасонные, горизонтальные и вертикальные поверхности, а также углы и пазы. Работы выполняются с помощью дисковых и цилиндрических, угловых и концевых, торцевых и фасонных фрез. Обработка, требующая винтового движения или деления возможна только с применением дополнительных приспособлений.

Отличительной особенностью станка является возможность перемещать стол как перпендикулярно, так и параллельно оси шпинделя. Все «жизненно важные» узлы оборудования установлены на станине, внутри которой также находится коробка скоростей и шпиндельный узел. Коробка подач размещена на консоли, та в свою очередь перемещается по вертикальным направляющим. А оправку с инструментами поддерживает хобот с серьгами.

Приведем несколько моделей в качестве примера: НГФ-110-Ш4, 6П80Г, 6М82ГБ (на базе станка 6М82Г).

Сверлильно-фрезерные станки

(Рис. 3) Сверлильно-фрезерные станки по металлу предназначены для обработки горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также пазов в крупногабаритных заготовках. Благодаря отличному совмещению двух наиболее часто выполняемых операций в одном станке, существенно экономится производственное пространство и материальные средства. Стоит отметить, что сверлильно-фрезерная головка позволяет производить обработку наклонных поверхностей и сверлить под углом. Также головка оснащена автоматическим реверсивным циклом.

Приведем несколько известных моделей: ВСМ-029, СФ-1, Stalex ZX50C, Stalex ZX7550C с УЦИ.

Универсальный фрезерный станок

(Рис. 4) Данный вид станков используется для изготовления деталей методом фрезерования в мелкосерийном производстве, в инструментальных цехах и небольших ремонтно-механических мастерских. Применяется для обработки вертикальных и горизонтальных плоскостей, моделей штампов, спиралей и т. д.

Коробка скоростей и шпиндельный узел размещены внутри станины вместе с основными узлами оборудования. Консоль передвигается по вертикальным направляющим, а по консольным направляющим перемещаются салазки с поворотным устройством, на котором располагается специальный стол, он в свою очередь, перемещается в горизонтальной плоскости под разными углами относительно оси шпинделя. Благодаря конструкционным особенностям, производимые работы выполняются быстро и качественно.

Некоторые модели: XW6136, X6436, XN6336C, PROMA FVV-30, Optimum MF1 Vario.

Настольные фрезерные станки

(Рис. 5) Благодаря своей компактности этот тип станков обрел широкую популярность среди ремонтных мастерских и автосервисов, школ и ПТУ. С его помощью выполняются такие операции — сверление отверстий, нарезание резьбы, горизонтальное фрезерование цилиндрическими, дисковыми, фасонными, и другими фрезами, вертикальное фрезерование торцевыми, концевыми, шпоночными и другими фрезами.

Среди конструктивных особенностей выделяют особую жесткость (при правильной установке станка), благодаря чему все работы выполняются с относительной точностью. Данный тип станков применяют для серийного производства различных деталей. Основные преимущества настольных фрезерных станков это низкий уровень потребления энергии, мобильность, невысокая стоимость и компактность. *Приведем несколько моделей: Optimum BF16 Vario, ВМД-16В (WMD16V), ВМД-20В (WMD20V).*

Настольные фрезерные станки с ЧПУ

(Рис. 6) Данный тип станков предназначен для выполнения фрезерных работ, сверления, зенкерования и растачивания отверстий на деталях из черных и цветных металлов, их сплавов и пластмасс в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Это оборудование оснащается приводами, которые управляются контроллерами, подключенными к любому IBM PC совместимому персональному компьютеру.

Среди основных преимуществ отмечают:

- Значительное увеличение производительности по сравнению со станками ручного управления;
- Очевидное снижение необходимости в квалифицированных работниках;
- Существенное уменьшение сроков перехода на изготовление новых деталей;
- Более простое и практичное технологическое оснащение;
- Значительное сжатие сроков производственного цикла.

4. Универсально-делительная головка УДГ-135

Делительная головка служит для периодического поворота заготовок на равные или неравные углы (например, при фрезеровании многогранников, зубьев колес) и для непрерывного вращения заготовок, согласованного с продольной подачей (например, при нарезании спиральных канавок у сверл, зенкеров или при фрезеровании косозубых колес). Делительные головки находят применение также и на долбежных станках. В комплект наиболее распространенной универсальной лимбовой делительной головки (рис. 11.1, а) входят делительная бабка /, задняя бабка 2 и люнет 3.

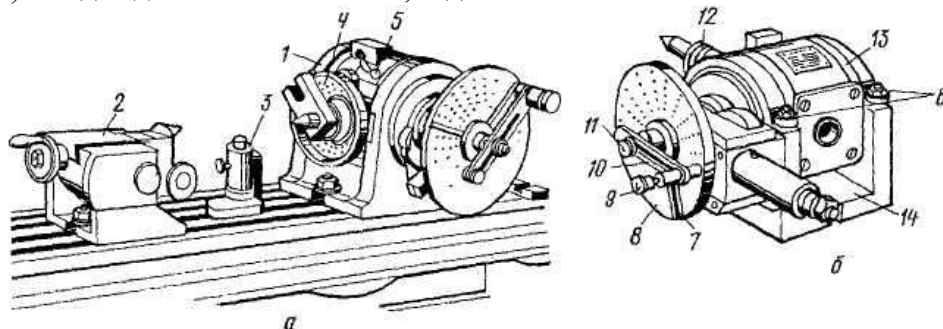


Рис. 11.1. Универсальная делительная головка (а) и делительная бабка (б).

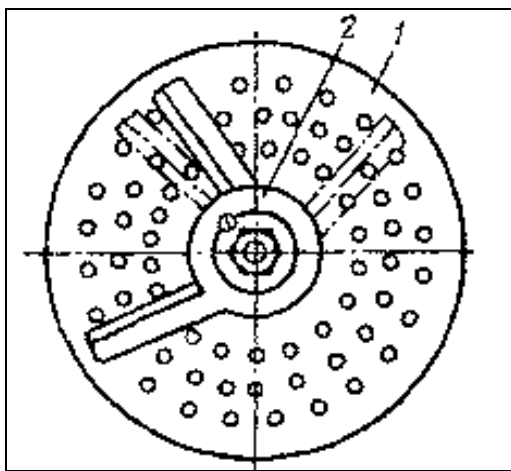


Рис. 11.2. Схема делительного диска.

Делительную бабку (рис. 11.1, б) устанавливают на правой стороне стола фрезерного станка. Она, в свою очередь, состоит из основания 14 и корпуса 13. Основание неподвижно крепится на столе фрезерного станка болтами, которые своими головками входят в Т-образный паз стола. Корпус вместе со шпинделем лежит в основании на шейках и может поворачиваться в вертикальной плоскости на угол от -10 до $+90^\circ$. В требуемом положении корпус закрепляют гайками 6. Поворот корпуса применяют для установки обрабатываемых деталей, закрепляемых в патроне, под углом. Справа корпуса головки располагаются гитары настройки (на рис. 11.1, б не показаны).

Для подсчета требуемого угла поворота шпинделя 7, а следовательно, и обрабатываемой детали служит делительный диск (лимб) 8, имеющий с обеих сторон несколько рядов отверстий, расположенных по концентрическим окружностям. Например одна сторона диска может иметь 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 и 43 отверстия; вторая сторона - 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 и 66 отверстий. Отверстия на диске служат для фиксации рукоятки в определенных положениях. Для установки фиксатора рукоятки на любой ряд отверстий делительного лимба рукоятку 9 вместе с планкой 10 опускают или поднимают по пазу и закрепляют гайкой 11. Для быстрого и точного подсчета требуемого числа отверстий на диске находится раздвижной сектор 12.

На рисунке 11.2 отдельно изображены делительный лимб 1 и раздвижной сектор 2.

Характеристикой головки K называется величина, обратная передаточному числу червячной передачи (обычно $K=40$).

Заднюю бабку комплекта делительной головки устанавливают на левой стороне стола фрезерного станка. Она служит для поддержания второго конца обрабатываемой детали или оправки. Посредством задней бабки центр перемещается в продольном и вертикальном направлениях и устанавливается под углом $\pm 10^\circ$. Люнет служит опорой при обработке длинных и тонких деталей. Периодический поворот обрабатываемой детали

на определенный угол с помощью делительной головки достигается способами непосредственного, простого и сложного (дифференциального) делений.

Лекция 25 (2 часа)

Тема: Обработка материалов на станках строгальной группы.

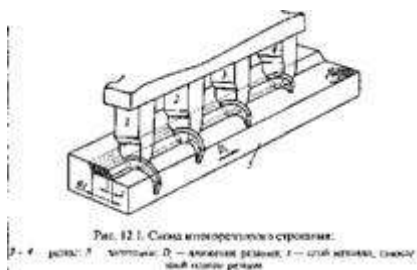
1.22.1 Вопросы лекции:

1. Схема резания при строгании и долблении. Элементы режима резания при строгании и долблении.
2. Краткие сведения и работы выполняемые на станках строгальной группы.
3. Сущность процесса протягивания. Типы протяжек, конструктивные и геометрические параметры режущей части протяжек.

1.22.2 Краткое содержание вопросов:

1. Схема резания при строгании и долблении. Элементы режима резания при строгании и долблении.

Строгание представляет собой процесс лезвийной обработки открытых поверхностей, имеющих прямолинейную или винтовую образующую. Резец (или группа резцов) совершает возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости, а подача заготовки производится перпендикулярно вектору его движения. Схема многорезцового строгания показана на рис. 12.1. Долбление на долбежных станках является разновидностью строгания, когда



главное движение придается режущему инструменту в вертикальной плоскости.

Процесс резания при строгании или долблении — прерывистый, и удаление материала происходит только при прямом (рабочем) ходе инструмента. Обратный холостой ход служит для охлаждения последнего, что позволяет не применять СОТЖ при обработке.

Прерывистое резание при строгании вызывает ударное врезание инструмента в материал заготовки, что ведет к высоким динамическим нагрузкам на технологическую систему станок — приспособление — инструмент — деталь. Поэтому при строгании применяют массивные быстрорежущие инструменты и низкие скорости резания. Наличие холостых ходов определяет низкую производительность обработки.

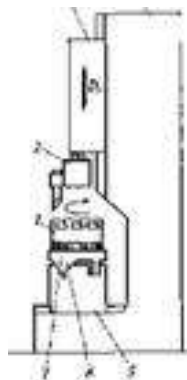
На строгальных станках обрабатывают плоские поверхности, уступы, пазы, рифления и фасонные линейные поверхности. На долбежных станках обрабатывают плоские вертикальные поверхности, шпоночные пазы, многогранники, некруглые отверстия, фасонные поверхности, в частности зубчатые венцы. Внешний вид долбежного станка показан на рис. 12.2, где станина 4 служит его основанием, на горизонтальных направляющих которой установлены поперечные 5, продольные 6 и поворотные 7 салазки с рабочим столом 1. По вертикальным направляющим станины перемещается ползун 3 с суппортом 2 и резцедержателем.

Поперечно-строгальные станки (рис. 12.3, а) применяют в единичном и серийном производстве и во вспомогательных цехах машиностроительных заводов для обработки заготовок длиной не более 1 000 мм.

На вертикальных направляющих станины 7, установленной на фундаментной плите 6, перемещается траверса 5 с горизонтальными направляющими, на которых консольно установлен стол 1. Заготовка и рабочее приспособление устанавливаются на столе, вертикальное перемещение которого осуществляется домкратом 8. На верхнем торце станины выполнены горизонтальные направляющие, по ним перемещается

Рис 12.2. Долбежный, станок: 1 — рабочий стол; 2 — суппорт, 3 — ползун; 4 — станина, 5, 6, 7 — поперечные, продольные, поворотные салазки соответственно, Д. — движение вращается ползун 4. На переднем торце ползуна выполнены вертикальные направляющие для перемещения вертикального суппорта 3 с качающейся плитой 2 и резцедержателем. Для строгания наклонных поверхностей вертикальный суппорт имеет возможность поворачиваться вокруг горизонтальной оси.

Крупные и тяжелые заготовки обычно обрабатывают на продольно-строгальных станках (рис. 12.3, б). Ход стола у этих станков 1,5... 12 м, ширина строгания 0,7... 4 м. Основанием станка служит станина 8, вдоль которой расположены направляющие (правая 9 — плоская, левая 10 — У-образная). По направляющим перемещается



стол 7/, на котором устанавливают заготовки. Стол приводится в движение от собственного электродвигателя постоянного тока 7, что позволяет бесступенчато регулировать скорость прямого и обратного ходов. Портал состоит из левой 12 и правой 5 стоек, соединенных поперечиной 3. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 1 и каретки боковых суппортов: правого 6 и левого 13. На траверсе размещены левый 2 и правый 4 вертикальные суппорты. Каждый суппорт снабжен собственной коробкой передач, может быть повернут на угол 60° и перемещаться в вертикальном и горизонтальном направлении.

Расчёт режимов резания при строгании и долблении

Глубина резания. При всех видах строгания и долбления глубину резания назначают так же, как и при точении.

Подача. При черновом строгании подачу, мм/дв. ход, выбирают максимальной из допустимых значений по табл. 4 в соответствии с глубиной резания, сечением державки и прочностью пластинки.

Скорость резания. При строгании плоскостей проходными резцами, при прорезании пазов, отрезании скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам для точения с введением дополнительного поправочного коэффициента K_{yv} учитывающего ударную нагрузку (см. табл. 28).

Зная скорость резания, определяют число двойных ходов инструмента в минуту

$$m = \frac{1000 \cdot V}{L(k+1)}, \quad (34)$$

где L - расчётная длина хода инструмента (см. формулу 40), мм;

k - коэффициент, показывающий отношение скоростей рабочего и холостого ходов. Если скорости равны, $k = 1$.

Сила резания. Составляющие силы резания рассчитывают по формулам для точения.

Режимы резания для строгания плоскостей широкими резцами приведены в табл. 29.

Мощность резания рассчитывают по той же формуле, что и для точения при аналогичных режимах.

2. Краткие сведения и работы выполняемые на станках строгальной группы

Работы, выполняемые на строгальных станках

Строгание применяют для обработки плоских и несложных фасонных поверхностей с прямолинейными образующими в единичном и мелкосерийном производстве. Некоторые примеры работ, выполняемых на строгальных станках: строгание горизонтальной плоской поверхности при поперечной подаче стола (рис. 10.1,а), строгание вертикальной плоской поверхности при вертикальной подаче суппорта (рис. 10.1,б), строгание пазов и канавок (рис. 10.1,в), когда широкие пазы выполняют последовательно за несколько проходов резца; строгание Т-образных пазов за три приема, обработка средней части паза, обработка левой части, обработка правой части паза (рис. 10.1,г); строгание наклонных плоских поверхностей при установке суппорта под углом 45 градусов (рис. 10.1,д); строгание фасонных поверхностей (рис. 10.1,е).

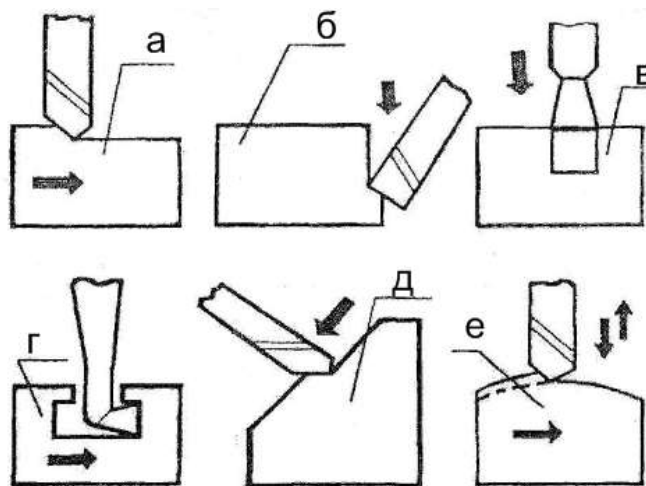


Рис. 10.1. Работы, выполняемые на строгальных станках

3. Сущность процесса протягивания. Типы протяжек, конструктивные и геометрические параметры режущей части протяжек.

Протягивание — высокопроизводительный процесс обработки отверстий различной формы сложных наружных контуров с помощью многозубого инструмента — протяжки. При протягивании достигается высокая точность обработки (до 2—3-го классов точности) и высокая чистота поверхности (до 9-го класса). Протягиванием обрабатывают шпоночные канавки, шлицы в отверстиях, квадратные, прямоугольные и фасонные отверстия, зубья зубчатых колес с внутренним зацеплением, наружные плоскости, наружные фасонные поверхности. Сущность процесса протягивания состоит в том, что инструмент получает перемещение в продольном направлении относительно неподвижно закрепленной на кронштейне 2 протяжного станка заготовки 3. Протяжка 4 состоит из хвостовика, шейки 9, передней направляющей 8, рабочей части и концевой направляющей 5. Рабочая часть подразделяется на режущую 7 и калибрующую 6. Зубья режущей части выполнены так, что каждый последующий зуб выше предыдущего на величину толщины срезаемого им слоя. Значит, первый зуб протяжки начинает резание, а последний его заканчивает. Таким образом, за один ход инструмента снимается весь припуск. Зубья калибрующей части делаются одинаковой высоты, они калибруют поверхность, при давая ей нужную точность и чистоту. В поперечном сечении зубья рабочей части протяжки имеют форму обрабатываемой поверхности. Хвостовик протяжки служит для закрепления ее в патроне станка. Передняя и концевая направляющие дают ей нужное направление. Протяжные станки в зависимости от направления перемещения инструмента подразделяются на горизонтальнопротяжные и вертикальнопротяжные. И те, и другие изготавливаются как для наружного, так и для внутреннего протягивания. Принципиальное устройство их следующее. Внутри станины располагается гидравлический привод. При подаче масла в гидроцилиндр шток, заканчивающийся ползуном, с закрепленной в нем протяжкой получает поступательное перемещение. Протяжка, перемещаясь вдоль заготовки, производит ее обработку.

Протяжки являются многозубыми режущими инструментами, применяемыми для обработки отверстий, пазов и наружных поверхностей с простым или произвольным фасонным контуром. При резании протяжками используют только одно, обычно поступательное движение инструмента, скорость которого является скоростью резания. Движения подачи отсутствуют, а срезание слоев металла осуществляется за счет увеличения высоты или ширины последующего зуба относительно предыдущего зуба протяжки.

Если срезание слоев осуществляется за счет превышения высоты последующего зуба по отношению к предыдущему, то такая схема называется обычной или одинарной.

Если зубья протяжки разбиты на группы, в пределах которой зубья имеют одинаковую высоту, но различную длину режущей кромки последующего зуба по отношению к предыдущему, то такая схема срезания слоев металла называется групповой. В процессе резания стружка размещается во впадине между зубьями, размеры которой должны быть достаточными для полного размещения стружки.

Протягивание отверстий различной конфигурации с замкнутым контуром называется внутренним протягиванием, а образование наружных поверхностей с незамкнутым контуром с помощью протяжек — наружным протягиванием.

Основные типы внутренних протяжек следующие: круглые — для обработки круглых отверстий; квадратные — для протягивания квадратных отверстий из круглого; шпоночные — для обработки шпоночной канавки; шлицевые прямые или спиральные — для обработки многошпоночных (шлицевых) отверстий; фасонные (эвольвентные, остроугольно-шлицевые и т. д.) — для обработки отверстий фасонного профиля; комбинированные и т. п.

Конструкция внутренних протяжек предусматривает следующие составные части хвостовик / с длиной /х, предназначенный для закрепления протяжки в патроне; шейка 2 длиной /ш, с переходным конусом 3 соединяющая хвостовик с передней направляющей частью; передняя направляющая 4 с длиной /п-н, обеспечивающая центрирование или направление протяжки в начальный момент работы рабочих зубьев; рабочая часть с длиной /р, состоящая из рабочих зубьев; калибрующая часть с длиной 1К, состоящая из 4—8 калибрующих зубьев; задняя направляющая часть 5 с длиной /З н, предназначенная для поддержки и центрирования протяжки при выходе из контакта последних зубьев; задний хвостовик, предназначенный для соединения протяжки с патроном на станках для автоматического протягивания.

Для изготовления протяжек применяют в основном инструментальную сталь ХВГ и быстрорежущие стали Р9, Р12 и Р18. Для обработки твердых материалов, имеющих включения, используют сборные протяжки, оснащенные твердым сплавом.

Передние углы у протяжек измеряют в плоскости, нормальной к режущей кромке. Чем больше передний угол, тем меньше сила протягивания. Рекомендуемые значения переднего угла (средняя величина) зависят от обрабатываемого материала и вида зубьев.

Задние углы у протяжек измеряются в осевой плоскости, совпадающей с направлением перемещения протяжек при протягивании.

Средние значения задних углов зависят от типа протяжки и вида зубьев на протяжке.

На всех угловых переходах необходимо затачивать переходные режущие кромки длиной 0,3—0,5 мм. Задние углы на переходных кромках равны заднему углу на основных режущих кромках.

На калибрующих зубьях внутренних протяжек для сохранения размера задний угол на ленточке шириной 0,2—1,2 мм равен нулю или выполняется в пределах 0,5—Г.

Ширина ленточки на калибрующих зубьях минимальная у первого зуба (0,2 мм) и постепенно увеличивается к последнему калибрующему зубу.

Калибрующие зубья не имеют подъема зуба и не снимают стружку. По мере износа и переточки режущих зубьев калибрующие зубья последовательно переводят в режущие путем переточки.

Для уменьшения шероховатости и получения высокой точности в конце калибрующих зубьев часто делается несколько уплотняющих зубьев.

На режущих зубьях протяжек для дробления стружки и возможности ее удаления из впадины вышлифовываются стружкоде-лительные канавки. Угол между сторонами канавки принимается в зависимости от диаметра протяжки в пределах от 45 до 60°.

Количество канавок на круглых протяжках диаметром от 10 до 80 мм выбирается в пределах от 6 до 36 шт. с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было не более 5—7 мм. Ширина канавки — в пределах 0,6 — 1,2 мм, глубина впадины — от 0,4 до 0,8

мм, а радиус закругления дна впадины — от 0,2 до 0,4 мм в зависимости от диаметра протяжки. Примерно такие же размеры канавок делаются на шпоночных, шлицевых, прямоугольных и плоских протяжках.

Лекция 26 (2 часа)

Тема: Обработка материалов на станках шлифовальной группы.

1.22.1 Вопросы лекции:

1. Основные схемы резания при шлифовании. Понятие о выборе круга при шлифовании.
2. Элементы режима резания при шлифовании.
3. Устройство круглошлифовального станка и его гидрокинематическая схема.
4. Понятие о притирке, хонинговании, суперфинише, полировании и области их применения.

1.22.2 Краткое содержание вопросов:

СТАНКИ ШЛИФОВАЛЬНО-ОТДЕЛОЧНОЙ ГРУППЫ И РАБОТА НА НИХ

Шлифование — метод обработки материалов с помощью абразивных инструментов, режущими элементами которых служат твердые зерна абразивных материалов. В процессе резания снимается очень мелкая стружка. Шлифование во многих случаях служит окончательной обработкой детали, выполняемой после операций точения, фрезерования, строгания, а также термической. Шлифование обеспечивает 4... 10-й ($R_z = 40$ мкм — $R_a = 0,10$ мкм) классы шероховатости обработанной поверхности и точность размеров по 6—11-му квалитетам.

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

К абразивным инструментам относятся круги для шлифования деталей и затачивания Инструментов, для разрезания металлов, сегменты и бруски (табл. 19). Абразивные сегменты применяют для изготовления наборных шлифовальных кругов, бруски — при ручных работах и отделочных обработках (хонинговании, суперфинишировании).

Абразивный инструмент характеризуется формой и размерами, материалом абразивных зерен, связывающим веществом, зернистостью, твердостью и структурой.

Абразивные материалы. К абразивным материалам естественного происхождения относятся алмаз, корунд (содержит 80...95 % Al_2O_3), наждак (20...60 % Al_2O_3) и кварц (состоит из зерен кварца SiO_2 , связанных известью и глинистыми веществами). Естественный алмаз применяют для правки шлифовальных кругов и оснащения резцов для тонкого точения цветных металлов и сплавов. Наждак и кварц предназначены для изготовления ручных брусков и шлифовальных шкурок. Применение абразивных материалов естественного происхождения ограничено из-за нестабильности их физико-механических характеристик или их дефицита.

К абразивным материалам искусственного происхождения относятся электрокорунд, карбид кремния (карборунд), карбид бора, нитрид бора (эльбор) и синтетический алмаз.

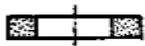
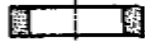
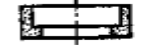
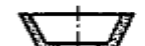
Электрокорунд — кристаллический оксид алюминия Al_2O_3 , полученный плавкой в электрических печах из бокситов. Имеются следующие разновидности электрокорунда: нормальный, белый, хромистый, титанистый, монокорунд.

Электрокорунд нормальный содержит 92...95 % Al_2O_3 (остальное примеси) и выпускается марок 12А, 13А, 14А, 15А и 16А. Электрокорунд белый содержит меньше примесей (включает 99 % Al_2O_3), имеет более высокую режущую способность, чем электрокорунд нормальный, и выпускается марок 22А, 23А, 24А и 25А.

Электрокорунд хромистый (технический рубин) содержит дополнительно до 0,3 % оксида хрома Cr_2O_3 , который добавляют в шихту перед плавкой, и бывает марок 32А,

33А и 34А. Зерна имеют розовую или темно-вишневую окраску и более высокую режущую способность. Электрокорунд титанистый 37А (технический сапфир) включает добавки оксида титана TiO_2 , что также способствует повышению режущей способности зерен.

19. Основные формы абразивных инструментов

Форма инструмента	Наименование, обозначение	Применение
	Плоские прямого профиля ПП	Круглое наружное и внутреннее, бесцентровое шлифование периферией круга, заточка резцов
	Плоские с двусторонней конической выточкой ПВДК	Круглое шлифование с подрезкой торца
 	Кольца К, чашки цилиндрические ЧЦ	Плоское шлифование торцом круга
 	Чашки конические ЧК, тарелки Т	Заточка инструмента
	Диски Д	Отрезание, прорезание пазов
	Бруски: квадратные БКв, круглые БКр, трехгранные БТ, полукруглые БПкр	Для ручных работ
	Бруски: квадратные БКв, плоские БХ	Для хонингования и суперфиниша
	Сегменты: плоские СП, выпукло-вогнутые 1С, 2С	Для наборных кругов в зависимости от типа станка и конструкции сегментной головки или оправки

Монокорунд (марки 43А, 44А и 45А) имеет форму правильных кристаллов, не подвергнутых дроблению и измельчению, содержит добавки сульфида железа (пирита). Благодаря правильной форме зерна монокорунд характеризуется повышенной прочностью и износостойкостью.

Электрокорунды применяют при обработке пластичных материалов (стали, ковкого чугуна, мягкой бронзы и др.).

Карбид кремния (карборунд) SiC получается в электрических печах спеканием угля с кварцевым песком. Он выпускается двух видов: черный (марок 52С...55С) и зеленый (марок 62С и 64С). Зеленый карбид кремния применяют при заточке твердосплавного инструмента, черный — при обработке серого чугуна, твердой бронзы и алюминиевых сплавов.

Карбид бора (B_4C) содержит до 94 % кристаллического карбида бора. Его применяют в виде порошка для доводки твердосплавного инструмента и при притирочных работах.

Нитрид бора (эльбор) — абразивный материал, состоящий из бора (43,6 %) и азота (56,4 %). Твердость кристаллов эльбора близка к твердости алмазов, а температурная стойкость достигает $1500^\circ C$, тогда как у алмаза она равна примерно $850^\circ C$. Выпускают нитрид бора марок ЛО и ЛП. Эльборные круги начинают применять для заточки инструментов из быстрорежущей стали, обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, бруски — для хонингования закаленной стали. Синтетические алмазы (АС) изготавливают из графита в специальных камерах при высоком давлении (10000 МПа) и температуре $2500...2300^\circ C$. В зависимости от размера зерен, метода их получения и контроля они

делятся на две группы: шлифпорошки зернистостью 630...50 мкм и микропорошки — 40...3 мкм. Шлифпорошки бывают пяти марок:

ДСО — обычной прочности для инструментов на органических связках;

АСР — повышенной прочности для инструментов на керамических и металлических связках;

ДСВ — высокой прочности для инструментов на металлических связках, работающих при повышенных удельных нагрузках;

АСК — более прочные, чем АСВ, рекомендуются для инструментов на металлических связках, применяют в особо тяжелых условиях работы (хонингование закаленных чугунов и др.);

АСС — характеризуются наибольшей из всех марок порошков прочностью, рекомендуются для инструмента, применяемого в процессе правки абразивных кругов.

Микропорошки выпускают двух марок: АСМ — нормальной абразивной способности для обработки твердых сплавов, стали, чугуна, стекла и др.; АСН — повышенной абразивной способности для обработки алмазов, корундов и других особо твердых материалов.

Зернистость абразивных материалов. Зернистость характеризует размеры зерен. В зависимости от размеров абразивные зерна разделяют на три группы: шлифовальные зерна (шлифзерна); шлифовальные порошки (шлифпорошки); микропорошки. В таблице 20 дано обозначение номеров зернистости. Номер зернистости для шлифзерна и шлифпорошков — величина отверстия сита (в сотых долях миллиметра), на котором задерживается зерно основной фракции, или минимальный размер зерна основной фракции в сотых долях миллиметра. Номер зернистости микропорошков — максимальный размер зерен основной фракции в микрометрах.

20. Зернистость абразивных материалов

Группа материалов	№ зернистости	Крупность основной фракции, мкм	Группа материалов	№ зернистости	Крупность основной фракции, мкм
Шлифзерно	200	2500...2000	Шлифзерно	40	500...400
	160	2000...1600		32	400...320
	125	1600...1250		25	320...250
	100	1250...1000		20	250...200
	80	1000...800		16	200...160
	63	800...630		12	160...125
	50	630...500		10	125...100

Продолжение

Группа материалов	№ зернистости	Крупность основной фракции, мкм	Группа материалов	№ зернистости	Крупность основной фракции, мкм
Шлифпорошки	8	100...80	Микропорошки	M40	40...28
	6	80...63		M28	28...20
	5	63...50		M20	20...14
	4	50...40		M14	14...10
	3	40...28	Тонкие микропорошки	M10	10...7
Микропорошки	M63	63...50		M7	7...5
	M50	50...40		M5	5...3

Зернистость шлифовального круга выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала и технологических требований (шероховатости поверхности, точности). При черновом шлифовании применяют шлифовальные круги с более крупным зерном.

При обработке вязких металлов выбирают шлифовальные круги также более крупнозернистые, чем при обработке твердых и хрупких металлов, во избежание «засаливания» абразивного круга. При использовании крупнозернистых кругов достигается и большая производительность работы, однако необходимость получения более высокого класса шероховатости поверхности требует использования мелкозернистого абразивного инструмента. По содержанию основной фракции

абразивного порошка круги имеют индекс зернистости: В (зерен основной фракции 55...60 %), П (45...55), Н (40...45), Д (39...41 %).

Связки абразивных инструментов. При изготовлении шлифовальных кругов и брусков абразивные зерна соединяют связующим веществом или связкой. Связующие вещества бывают неорганическими (керамическая, магнезиальная и силикатная связки), органическими (бакелитовая и вулканитовая связки) и металлическими.

Керамическую связку К готовят из огнеупорной глины, полевого шпата, кварца, талька, мела и жидкого стекла. В зависимости от содержания различных компонентов выпускают керамические связки марок К1...К8. У кругов на керамической связке высокая прочность, они огнеупорны, обладают химической стойкостью, не боятся влаги, хорошо сохраняют профиль. Они обеспечивают высокую производительность и наиболее распространены. К их недостаткам следует отнести относительно большую хрупкость.

Бакелитовая связка Б представляет собой искусственную смолу, полученную из карболовой кислоты и формалина. Абразивные инструменты на бакелитовой связке прессуют в формах, после чего подвергают термической обработке. Круги на бакелитовой связке прочны, эластичны и могут работать при больших окружных скоростях; их применяют при отрезании, прорезке канавок и бесцентровом шлифовании деталей. Недостаток таких кругов — их разрушение от действия щелочной охлаждающей жидкости (при содержании щелочи свыше 1,5 %). Кроме того, при температуре более 180...200 °С прочность связки резко уменьшается.

Вулканитовая связка В состоит из каучука (основа) и серы. В зависимости от содержания компонентов вулканитовые связки выпускают трех марок — В1, В2 и В3. Круги на вулканитовой связке прочны, эластичны и допускают окружные скорости до 75 м/с. Шлифовальные круги на вулканитовой связке применяют при отрезке, прорезке и бесцентровом шлифовании. Недостаток шлифовальных кругов на вулканитовой связке — низкая теплостойкость. При температуре свыше 150...200 °С вулканитовая связка теряет прочность. Поэтому при работе необходимо применять обильное охлаждение.

Металлические связки бывают порошковыми и гальваническими. Первые получают спеканием порошков из медных и алюминиевых сплавов. Вторые (обычно на никелевой основе) выполняют способом гальванического закрепления зерен на металлическом корпусе. Металлические связки на основе бронз и алюминий-цинковых сплавов соответственно обозначают М1 и М5. Металлические связки характеризуются высокой прочностью, и их применяют для крепления алмазных и эльборных зерен в кругах и брусках.

Твердость абразивного инструмента. Твердость (табл. 21) характеризует сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности под действием внешних сил. Ее определяют вдавливанием шарика, сверлением лунки, пескоструйной обработкой. Абразивные инструменты на керамической связке имеют все категории твердости, инструменты на бакелитовой связке — от СМ1 до Т1. Твердость инструмента на вулканитовой связке не фиксируется.

21. Обозначение твердости абразивного инструмента

Категория твердости	Обозначение	Обозначение с учетом степени твердости
Мягкий	М	М1, М2, М3
Среднемягкий	СМ	СМ1, СМ2
Средний	С	С1, С2
Среднетвердый	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердый	Т	Т1, Т2
Весьма твердый	ВТ	ВТ1, ВТ2
Чрезвычайно твердый	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2

Примечание. Цифры 1...3 справа от буквенного обозначения характеризуют твердость в порядке ее возрастания.

В процессе резания по мере затупления зерен возрастают силы резания. В случае правильного выбора твердости шлифовального круга при возрастании сил резания зерна вырываются из связки. При равномерном вырывании зерен по всей поверхности круга на место выпавших зерен в процессе резания вступают новые острые зерна, и таким образом произойдет самозатачивание абразивного инструмента. Если твердость круга излишне высока, то сила резания не в состоянии вырвать зерно из связки, и в этом случае происходит «засаливание» круга, что приводит к резкому ухудшению качества поверхности обработанной детали трижог, увеличение шероховатости и др.). Однако излишне мягкие круги применять также нецелесообразно. Они требуют частых правок, так как зерна легко вырываются из связки и круги теряют свою форму.

Шлифовальные круги по твердости выбирают на основе следующих общих положений. Твердые материалы необходимо обрабатывать мягкими кругами (М...СМ...С). При обработке вязких материалов (цветных металлов, мягких сталей) также необходимо выбирать мягкие круги (М...СМ), но более крупнозернистые. При шлифовании фасонных поверхностей следует применять более твердые круги для сохранения фасонного профиля круга.

Структура абразивного инструмента. Под структурой абразивного инструмента понимают соотношение между абразивными зернами, связкой и порами. Различают четыре группы структуры (плотная, средняя, открытая, очень открытая), включающие номера от 0 до 20 в зависимости от объемного содержания абразивных зерен в инструменте. Плотные структуры имеют номера 0...3 и содержат соответственно абразивных зерен (по объему) 62...56 %, средние — 4...8 и 54...46, открытые — 9... 12 и 44...38 % абразивных зерен. Номера очень открытых структур 13...20 при содержании абразивных зерен 36...22 %.

Шлифовальные круги плотных структур применяют на доводочных операциях, средних — для обработки вязких материалов и финишного шлифования, открытых — для шлифования на высоких режимах резания, очень открытых — для шлифования резины, пластмасс, дерева и кожи.

Маркировка абразивных инструментов. Стандартные абразивные инструменты маркируют на нерабочих поверхностях. В маркировке указывают: абразивный материал, зернистость, индекс зернистости, твердость, номер структуры, связку, класс круга и допустимую окружную скорость.

Класс круга определяет допуски на его размеры, геометрическую форму и некоторые другие параметры. Круги бывают трех классов: АА, А и Б. Круги класса АА наиболее точные, а класса Б наименее точные. Например, маркировка L5A25HC17K1A35 м/с обозначает: электрокорунд нормальный марки 15А, зернистость 25, индекс зернистости Н, твердость средняя С1, структура № 7, связка керамическая К1, класс круга А, допустимая окружная скорость 35 м/с. Работать кругами на скоростях, которые выше предельно допустимых, запрещается.

Выбор, испытание и установка абразивных кругов. Техника безопасности. Корундовые круги применяют для шлифования деталей из стали, ковкого чугуна, твердой бронзы, для заточки инструментов из инструментальных сталей. Круги из карбида кремния применяют для шлифования деталей из серого чугуна, мягкой бронзы, латуни, алюминия и для заточки инструментов, оснащенных твердыми сплавами. В таблице 22 даны некоторые рекомендации для выбора шлифовального круга при круглом наружном и внутреннем шлифовании (связка керамическая, зернистость 40...25). Шлифовальные круги работают при высоких окружных скоростях (до 70 м/с). Поэтому во избежание разрыва шлифовальных кругов во время работы, что может привести к тяжелому несчастному случаю, круги перед установкой на станок испытывают на специальном стенде.

22. Рекомендации по выбору абразива и твердости круга

Материал детали	Марка абразива	Твердость
Сталь:		
незакаленная	15А, 23А	С1...СТ2
закаленная	15А, 23А	СМ1...СМ2
Чугун	53С	М2...СМ2

Испытание проводят в течение 5... 10 мин со скоростью, превышающей рабочую на 50...60 %.

Круг следует устанавливать на станок очень тщательно с обязательной балансировкой. Правильное и надежное крепление круга должно обеспечить его безопасную работу. Круг должен быть зажат между двумя фланцами одинакового размера концентрично оси вращения шпинделя станка. Между зажимными фланцами и кругом с обеих сторон ставят прокладки из упругого материала (картона, резины, кожи и др.) толщиной 0,5...3 мм. Прокладка должна перекрывать зажимную поверхность фланцев и выступать по окружности на несколько миллиметров. При установке круга необходимо выверить концентричность периферии круга относительно оси шпинделя и перпендикулярность его боковых сторон.

Недопустимо устанавливать круг на шпиндель, имеющий радиальное биение более 0,03...0,05 мм. Перед установкой шлифовальный круг осматривают для выявления наружных дефектов и проверяют, слегка ударяя деревянным молотком по боковой поверхности. Шлифовальные круги при рабочем использовании на соответствующих станках должны быть надежно защищены специальными кожухами.

Для предохранения от попадания абразивной пыли в глаза рабочего на станках устанавливают экраны из двухслойного стекла в металлической рамке. Шлифовщики и заточники имеют специальные очки для защиты глаз от пыли. Станки снабжают вентиляционными и пылеотсасывающими устройствами.

При ручной заточке инструмента на заточных станках последние снабжают подручниками (опорами для инструментов). Зазор между краем подручника и рабочей поверхностью круга должен быть менее половины толщины затачиваемого инструмента, но не более 3 мм. Подручник должен обеспечивать соприкосновение инструмента с кругом на уровне центра круга или несколько выше его (до 10 мм).

Алмазный инструмент. Такой инструмент выпускают в виде кругов, брусков, эластичных лент, резцов и паст. Круги применяют для шлифования и заточки, бруски — для хонингования и суперфиниша, эластичные ленты — для полирования, пасты — для притирки. Алмазное шлифование и заточку в основном используют при обработке твердых сплавов, другие методы алмазной обработки применимы для стали и чугуна.

Алмазный круг состоит из корпуса (сталь, алюминий, пластмасса) и алмазоносного кольца (часто толщиной 1,5...3 мм). Алмазоносный слой состоит из алмазного порошка (чаще синтетического), связки, наполнителя и пр. Алмазные бруски делают в виде колодки (сталь, пластмасса) с алмазоносным слоем.

Для изготовления алмазного инструмента типа кругов и брусков применяют связки трех видов: органические, металлические и керамические. В распространенных органических связках в качестве связующей основы использован порошкообразный бакелит с наполнителями в виде карбида бора (Б1), железного порошка (Б2), белого электрокорунда (Б3), зеленого карбида кремния (Б4). Металлические связки состоят из различных композиций металлов. Наиболее распространены металлические связки М1 (на бронзовой основе), МСЗ, МП2.

На керамической связке (К1) изготавливают круги, предназначенные для заточки твердосплавного инструмента вместе со стальной державкой.

Важная характеристика алмазных инструментов, определяющая их производительность и стоимость, — концентрация (содержание) алмазов. За 100%-ную концентрацию принято содержание 4,39 карата алмазов в 1 см³ алмазоносного слоя (или 0,878 мг в 1 мм

), что занимает около 25 % его объема. Инструмент выпускают с концентрацией в пределах от 25...200 % (с интервалом в 25 %). Наиболее распространена 100%-ная концентрация алмазов.

Алмазные ленты характеризуются материалом основы, маркой, зернистостью и концентрацией алмазов, родом связки, а также формой и размерами лент. В качестве материала основы применяют стальные ленты толщиной 0,025...0,1 мм, капрон, лавсан и другие ткани. Хорошие результаты при полировании шеек коленчатых валов и кулачков распределительных валов двигателей показали ленты марки Р9 из лавсановой ткани с алмазоносным слоем, состоящим из алмазов и каучуковой связки.

Алмазные пасты при притирке и полировании обеспечивают получение 9... 14-го классов шероховатости поверхности. В зависимости от процентного содержания алмазов алмазные пасты изготовляют нормальной (Н) и повышенной (П) концентраций. В зависимости от зернистости содержание по массе алмазов в пасте концентрации Н составляет 1...10 %, при концентрации П — 2...20 %. Зернистость паст бывает от 60 до 1 мкм. По консистенции различают твердые пасты Т и мазеподобные М.

ВИДЫ ШЛИФОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Виды шлифования. Различают наружное круглое, внутреннее круглое, бесцентровое, плоское, фасонное и другие виды шлифования (резьбошлифование, зубошлифование, шлицешлифование и др.). Наиболее распространенные виды шлифования — наружное круглое, внутреннее круглое и плоское. К особой разновидности относится скоростное шлифование, т. е. шлифование особыми кругами при высоких скоростях шлифовального круга.

Наружное шлифование с продольной подачей (рис. 10.1, а) осуществляют при вращении в одну сторону шлифовального круга и обрабатываемой детали. Кроме того, обрабатываемая деталь (иногда круг) имеет продольное перемещение параллельно оси вращения круга (детали). В конце каждого одинарного или двойного прохода шлифовальный круг получает поперечное перемещение на глубину резания. По этой схеме обрабатывают относительно длинные детали.

Шлифование с поперечной подачей — врезное шлифование (рис. 10.1, б) применяют для деталей, у которых длина обрабатываемой поверхности меньше или равна ширине круга.

При круглом внутреннем шлифовании (рис. 10.1, в) круг и обрабатываемая деталь имеют вращательное движение. Кроме того, круг имеет возвратно-поступательное движение подачи и поперечную подачу (на глубину резания) в конце каждого двойного хода. Условия резания при круглом внутреннем шлифовании менее благоприятны, чем при наружном (меньшая жесткость шпинделя, большая длина соприкосновения круга и детали). Поэтому параметры режима резания берут примерно в 1,5...2 раза меньшими, чем при наружном шлифовании.

Круглое бесцентровое наружное шлифование (рис. 10.1, г) применяют для шлифования гладких валов. Обрабатываемую деталь 2 располагают на упоре 4 между шлифовальным / и ведущим 3 кругами. Шлифовальный круг вращается с окружной скоростью, равной примерно 30...40 м/с, ведущий круг — со скоростью 10...80 м/мин.

Ведущий круг располагается под углом $\alpha = 1,5...5^\circ$ к шлифующему кругу, благодаря чему обрабатываемая деталь получает от ведущего круга вращательное и поступательное движение (вращательную v_p , и продольную s_{np} подачи). Скорость продольной подачи s_{np} возрастает с увеличением угла α .

Плоское шлифование осуществляется торцом (рис. 10.1, д) и периферией круга (рис. 10.1, е). Обрабатываемой детали сообщается поступательно-возвратное движение, а шлифовальному кругу — вращательное движение и, кроме того, после каждого двойного хода — перемещение в поперечном направлении.

При скоростном шлифовании скорость круга достигает 50...70 м/с, т. е. примерно в 2 раза больше, чем скорость при обычном шлифовании. Скоростное шлифование можно применять только с использованием высокопористых кругов на керамической связке с повышенной прочностью. Такие круги имеют меньшую объемную массу, что уменьшает центробежную силу и обеспечивает достаточную прочность круга при высоких скоростях. Кроме того, при наличии пористой (открытой) структуры создаются вихревые воздушные потоки, интенсивно охлаждающие обрабатываемую деталь.

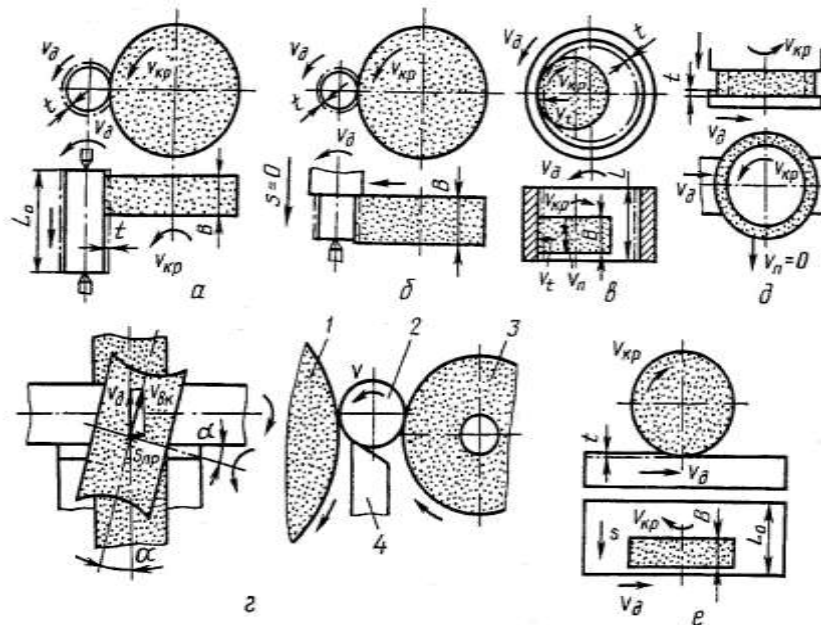


Рис. 10.1. Схемы шлифования:
а...е — возможные варианты

Износ шлифовального круга зависит от обрабатываемого материала, характеристики круга (материала абразивных зерен, зернистости, твердости, структуры) и режима резания. При работе происходят износ круга, затупление зерен, а также заполнение пространства между зернами металлической пылью (стружкой). Поэтому даже при правильном выборе абразивного инструмента и наличии явления самозатачивания приходится периодически править круг для придания ему правильной формы. Износ шлифовального круга по его ширине происходит неравномерно: наиболее интенсивно изнашивается та часть круга, которая встречается с обрабатываемой деталью, — эта часть округляется и выполняет роль заборной части. Затупление круга характеризуется увеличением шероховатости обработанной поверхности, снижением точности обработки, появлением прижогов, уменьшением производительности и появлением дополнительного шума.

Правкой круга называется процесс удаления с поверхности круга слоя затупившихся абразивных зерен для восстановления (режущей способности, придания кругу правильной геометрической формы и балансировки). Средняя стойкость шлифовальных кругов при круглом наружном шлифовании $T = 30...40$ мин. Правят круги с помощью алмазов, заделанных в оправке, алмазных карандашей (мелкие алмазы, сцементированные сплавом вольф-рамма, меди и алюминия в виде цилиндров) и металлических шарошек, которые крепят в ручных державках, не показанных на рисунке 10.2.

Элементы процесса шлифования. Припуски (на диаметр) на шлифование валов в зависимости от диаметра, длины детали, наличия или отсутствия термической обработки находятся в пределах 0,2... 1,2 мм. Элементами режима резания при круглом наружном шлифовании (см. рис. 10.1, а) служат: глубина резания (поперечная подача), продольная подача, окружные скорости круга и детали.

Глубина резания / — толщина снимаемого слоя металла за один проход шлифовального круга. Глубина резания совпадает с поперечной подачей круга, которая осуществляется в крайнем положении круга

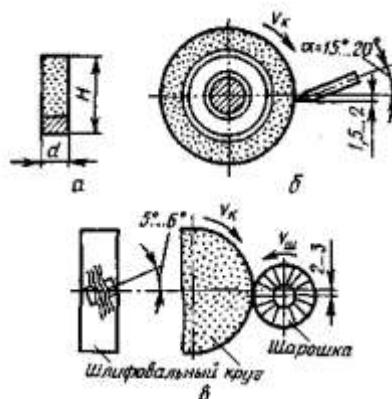


Рис. 10.2. Схемы правки шлифовальных кругов:
а — алмазным кланцаном; б — алмазом;
в — шарошкой

относительно обрабатываемой поверхности детали, когда круг по ширине частично выходит за пределы детали. При черновом шлифовании глубину резания (поперечную подачу) берут в пределах 0,01...0,08 мм и при чистовом — 0,005...0,015 мм. Продольная подача s — это продольное перемещение обрабатываемой детали (или круга) в миллиметрах за один оборот детали (мм/об). Подачу берут в долях от ширины B шлифовального круга. Так, при черновом шлифовании $s = (0,3...0,7)D$ мм/об, и при чистовом — $s = (0,2...0,4)B$, мм/об. Скорость резания, м/с, — окружная скорость шлифовального круга

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60},$$

где D_k — диаметр круга, мм; n_k — частота вращения круга, мин⁻¹.

Окружную скорость кругов берут в пределах 30...35 м/с. Для специальных высокоскоростных кругов окружная скорость может достигать до 70 м/с.

Скорость вращения детали, м/мин,

$$v_d = \frac{\pi D_d n_d}{1000},$$

где D_d — диаметр детали, мм; n_d — частота вращения детали, мин⁻¹.

Обычно при шлифовании окружные скорости вращения обрабатываемой детали из стали и чугуна находятся в пределах 20...60 м/мин.

Объем металла, мм², срезаемого за один оборот обрабатываемой детали,

$$Q = \pi D_R t s,$$

где D_R — диаметр обрабатываемой детали, мм; t — глубина резания, мм; s — продольная подача, мм.

Силы резания и мощность при шлифовании. Сила резания P , действующая на обрабатываемую деталь, может быть разложена на три составляющие (рис. 10.3): касательную P_z , радиальную P_y и осевую P_x . При шлифовании сила $P_y = (1,5...3)P_z$.

Мощность резания рассчитывают по эмпирическим формулам. Для наружного и внутреннего круглого шлифования конструкционных сталей и чугунов мощность резания, кВт,

$$^k_k = C V_{np} c w V^5_{п'оп'}$$

где $s_{проа}$ — продольная подача, мм/об; U_d — окружная скорость детали, м/мин; $s_{ноп}$ — поперечная подача, мм/дв. ход. Коэффициент

где C_o — коэффициент для наружного шлифования с продольной подачей составляет 0,029, с радиальной подачей (врезное шлифование) — 0,0184 и внутреннего с продольной

подачей — 0,0322; D_R — диаметр детали, мм; λ — показатель степени (для наружного шлифования $\lambda = 0,2$ и для внутреннего $\lambda = 0,3$); κ_x — поправочный коэффициент на твердость круга (для М $\kappa = 0,9$; СМ $\kappa = 1$; С $\kappa = 1,16$; СТ1 и СТ2 $\kappa = 1,36$; СТ3 и Т1 $\kappa = 1,58$); κ_B — поправочный коэффициент на ширину круга (при $B = 26 \dots 40$ $\kappa = 0,8$; $B = 40 \dots 63$ $\kappa = 0,9$; $B = 63 \dots 100$ $\kappa = 1$); κ_b — поправочный коэффициент на материал (для серого чугуна $\kappa_b = 0,9$, сырой стали $\kappa_b = 1$, закаленной стали $\kappa_b = 1,1$).

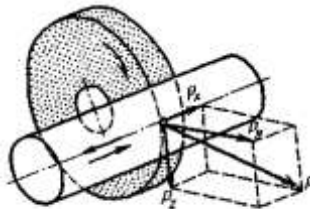


Рис. 10.3. Силы, действующие при шлифовании на деталь

Зная мощность резания N_K , можно определить касательную составляющую силы резания

$$P_z = \frac{1000 N_K}{v_K}$$

Мощность на вращение детали $N_{\lambda x}$ примерно в 60...100 раз меньше мощности $7V_K$ из-за медленного вращения детали.

Основное (машинное) время шлифования. Для круглого шлифования с продольной подачей основное (машинное) время определяют по формуле

$$T_{\text{маш}} = \frac{2Lh}{n_s s} k,$$

где L — длина продольного хода стола (круга), мм; h — припуск на сторону, мм; n — частота вращения обрабатываемой детали, мин^{-1} ; s — продольная подача, мм/об; Γ — глубина резания, мм (поперечная подача в мм/дв. ход); k — поправочный коэффициент, учитывающий добавочное число проходов без поперечной подачи (на vyhаживание): для грубого шлифования $k = 1,2 \dots 1,4$, для чистого $k = 1,25 \dots 1,7$.

Если подача происходит в конце каждого хода, то вместо $2L$ в формуле берут L .

Режим резания. Сначала определяют характеристику шлифовального круга (форму, размеры, материал абразива, зернистость, индекс зернистости, твердость, структуру, связку и класс круга), глубину резания, число проходов и продольную подачу в долях ширины круга. Затем определяют скорость и частоту вращения детали, которые корректируют по паспорту станка. По принятой фактической частоте находят фактическую окружную скорость детали. После этого выбирают окружную скорость вращения шлифовального круга (скорость резания), тщательно учитывая недопустимость превышения этой скорости против указанной в характеристике круга, и находят мощность, необходимую для шлифования. Эта мощность должна быть менее или равна мощности на шпинделе станка. Затем подсчитывают машинное время.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Различают станки следующих типов: круглошлифовальные (для шлифования наружных цилиндрических поверхностей); внутришлифовальные (для обработки отверстий); плоскошлифовальные; специальные (зубошлифовальные, резьбошлифовальные, шлицешлифовальные) и заточные (для заточки инструментов). Из них на ремонтных предприятиях сельскохозяйственного профиля наиболее часто применяют круглошлифовальные, плоскошлифовальные, а также специальные станки, например станки для шлифования шеек коленчатых валов, кулачков распределительных валов. Рассмотрим некоторые из них.

Круглошлифовальные станки. От электродвигателя 4 (рис. 10.4) через клиноременную передачу вращение передается на вал //, на котором закреплен шлифовальный круг 19. Шпинделю вращение передается от электродвигателя / с помощью двух ременных передач и вала /. Обрабатываемую деталь закрепляют в патроне, который наворачивают на

шпиндель 2 или устанавливают в центрах. В последнем случае ее приводят во вращение с помощью поводковой планшайбы.

Продольную подачу производят с помощью гидропривода. Насос 17 подает масло по трубопроводу 22 в реверсивный золотник 28. В положении, показанном на рисунке, масло поступает по трубопроводу 26 в правую полость силового цилиндра 3, закрепленного на валу III. При этом стол станка будет перемещаться справа налево. Из левой полости цилиндра 3 масло вытесняется поршнем в трубопровод 27 и далее через золотник 28, управляющий золотник 29 и дроссель 30 сливается обратно в бак. Когда стол достигнет упора 39, рычаг 25 преодолеет защелку 23 и займет второе положение. При этом золотник 28 переместится влево, поток масла пойдет по трубопроводу 27 и стол начнет двигаться вправо.

Масло от насоса через управляющий золотник по трубопроводу 31 непрерывно подается также в цилиндр 32. Шток поршня, перемещаясь, выводит из зацепления зубчатые колеса 36 и 37 кинематической цепи ручной подачи стола.

Для остановки стола необходимо рукоятку 24 переместить вправо до перекрытия потока масла к дросселю. Тогда масло начнет выливаться из полости цилиндра 32 и пружина введет в зацепление колеса 36 и 37. В этом случае с помощью маховика 33 через зубчатые пары 34—35 и 36—37, а также реечной пары 38 станет возможным перемещение стола вручную.

Поперечную подачу осуществляют путем поворота на некоторый угол ходового винта IV. Масло от насоса 17 подается к золотнику 20. С помощью упора, закрепленного на столе, и рычага в этом золотнике поршень опускается. Затем масло поступает по трубопроводу 21 в цилиндр 15, перемещает поршень и дает периодический поворот храпового колеса 11. Посредством зубчатых колес 9—10 и 7—8 винт IV получает движение.

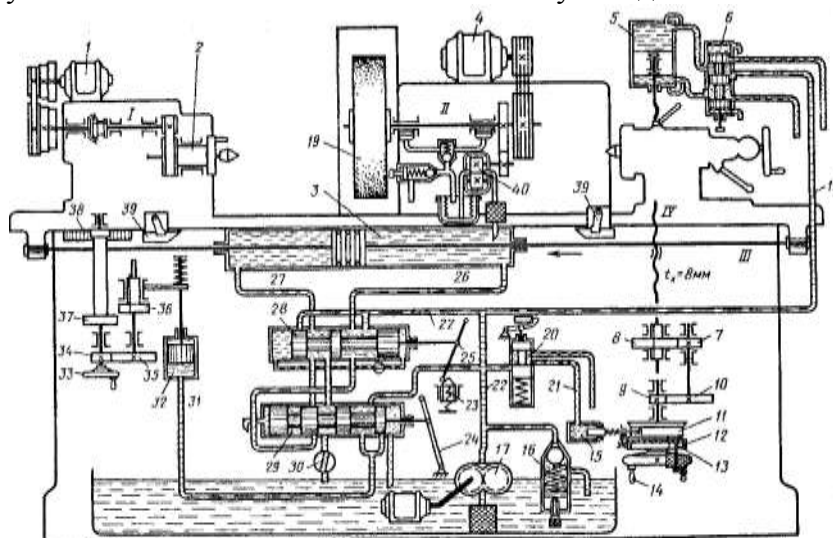


Рис. 10.4. Схема круглошлифовального станка 3150

На станке также предусмотрено устройство для быстрого отвода и подвода шлифовального круга путем осевого перемещения винта IV одновременно с шлифовальной бабкой. На конце винта IV свободно насажен поршень цилиндра 5. По трубопроводу 18 масло подается в трехпозиционный золотник 6, который в крайних положениях направляет его в одну из полостей цилиндра 5. Маховик 14 служит для быстрого ручного перемещения шлифовальной бабки через зубчатые колеса 9—10, 7—8 и винт IV. Ручную поперечную подачу осуществляют поворотом рукояткой (расположена в правой части маховика 14) зубчатого колеса 13, находящегося в зацеплении с колесом 12 (с внутренними зубьями) и далее через колеса 9—10, 7—8 на винт IV. Опоры шпинделя и другие узлы станка смазывают с помощью шестеренного насоса 40. В системе установлен предохранительный клапан 16.

Плоскошлифовальные станки. Такие станки разделяют на станки, работающие периферией или торцом круга. Их выпускают с круглым или прямоугольным столом. В ремонтном производстве применяют в основном плоскошлифовальные станки, работающие периферией круга и с прямоугольным столом.

Общая схема плоскошлифовального станка, работающего периферией круга, приведена на рисунке 10.5, *а*. В станине / размещены детали гидропривода. На направляющих станины помещается стол 10, получающий возвратно-поступательное движение от штока 5 рабочего цилиндра гидросистемы. На столе имеются Т-образные пазы для крепления деталей, приспособления или магнитной плиты 9.

Величину хода L стола регулируют кулачками 6, которые предварительно устанавливают и закрепляют в требуемом положении. В любом из крайних положений стола соответствующий кулачок поворачивает рычаг 3, осуществляя тем самым реверсирование гидропривода подачи стола. Таким образом, длина рабочего хода стола определяется расстоянием L между кулачками. Пуск и останов станка выполняют от кнопочной станции 2. На станине станка неподвижно закреплена колонна 7, на которой размещена шлифовальная бабка, перемещаемая в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Рукоятки 8 и 4 служат для перемещения шлифовальной бабки.

Шлифовальный круг вращается с постоянной частотой вращения от отдельного электродвигателя. В процессе шлифования стол с изделием движется возвратно-поступательно, осуществляя продольную подачу. Поперечная подача производится передвижением шлифовальной бабки с кругом. Плоскошлифовальные станки, работающие торцом круга, могут иметь вращающийся или продольно-перемещающийся стол. Эти станки более производительны по сравнению со станками, работающими периферией круга. Плоскошлифовальные станки с вращающимся столом предназначены для шлифования сравнительно небольших деталей, обычно закрепляемых на магнитной плите. Станки с продольно-перемещающимся столом применяют для шлифования больших поверхностей крупных деталей.

На рисунке 10.5, *б* приведена общая схема плоскошлифовального станка, работающего торцом круга, с вращающимся столом. В полый коробчатой станине 1 размещены механизмы привода станка и подачи шлифовальной бабки. На станине закреплена колонна 11 с направляющими, по которым может перемещаться в вертикальном направлении шлифовальная бабка 19 с шлифовальным кругом 18. По направляющим станины могут перемещаться салазки, на которых расположен вращающийся стол 15 с электромагнитной плитой 17. На станке имеются электродвигатель привода стола 13, кнопки управления 16, рукоятки управления 14 и маховичок 12; последний осуществляет быстрое перемещение шлифовальной бабки при наладке станка.

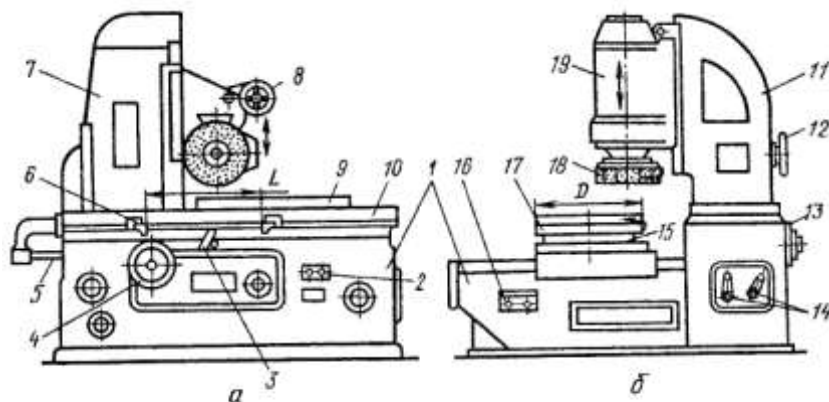


Рис. 10.5. Схемы плоскошлифовальных станков, работающих:
а — периферией круга; *б* — торцом круга

ОТДЕЛОЧНЫЕ МЕТОДЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Для получения особо высоких классов шероховатости обрабатываемой поверхности (7...14-й классы) и точности обработки (5...7-й квалитеты) применяют отделочные методы обработки, к которым относятся притирка, хонингование, суперфиниш и полирование.

Притирка (или доводка). Эта операция заключается в удалении с поверхности обрабатываемой детали весьма незначительного слоя металла посредством применения особо мелкозернистого абразивного материала в среде смазки, нанесенного на поверхность инструмента, называемого притиром.

При доводке отверстий используют притир, представляющий собой разрезную втулку с внутренним коническим отверстием. С помощью конического штифта втулку разжимают и контактируют ее рабочую поверхность с поверхностью обрабатываемого отверстия. Притир для вала — также разрезная втулка, устанавливаемая в стальном разрезном корпусе. Давление на обрабатываемую поверхность вала создают стяжным болтом разрезного корпуса. При обработке параллельных плоскостей притирки служат диски, между которыми размещают детали. Притиры (или детали) совершают один относительно другого сложные движения. Например, при обработке внутренних и наружных цилиндрических поверхностей притиры (детали) имеют вращательное и поступательно-возвратное движение.

Притиры обычно изготавливают из серого чугуна, реже меди и свинца, а в некоторых случаях из пластмассы и дерева. В качестве абразивных материалов применяют порошки алмаза, корунда, карборунда, наждака зернистостью 100...1 мкм и пасты ГОИ (76 % окиси хрома, 22 % стеарина, 2 % керосина).

Притиркой можно доводить плоские, цилиндрические и более сложные формы обрабатываемых поверхностей, для чего необходимо придавать соответствующую форму самим притирам. Широко распространена взаимная притирка клапанов и седел двигателей внутреннего сгорания на специальных станках.

Хонингование — это метод отделочной обработки цилиндрических отверстий с помощью мелкозернистых абразивных брусков, совершающих вращательное и возвратно-поступательное движение вместе с особой державкой, называемой хон (хонголовкой).

Бруски для хонингования изготавливают из электрокорунда (для обработки стали) и карбида кремния (для чугуна и цветных сплавов) на керамической связке. Хорошие результаты при хонинговании дает применение алмазных брусков. При их использовании значительно повышаются стойкость инструмента и класс шероховатости поверхности.

В пазах корпуса 3 (рис. 10.6) хонинговальной головки размещены колодки 5 с абразивными брусками 6. Колодки 5 коническими выступами прижимаются с помощью круговых пружин 4 к нажимным шайбам 7, закрепленным на стержне 1 с прямоугольным отверстием под палец 2. Палец служит для крепления хонинговальной головки на шпинделе станка, а конус 8 — для центрирования головки в отверстии.

В процессе работы хон совершает вращательное и возвратно-поступательное движение. В конце двойного хода (вниз и обратно) стержень 1 продвигается вниз относительно корпуса 3 и нажимными шайбами 7 раздвигает на несколько микрон колодки с абразивными брусками, т. е. производит радиальную подачу брусков. При наличии на станке гидравлической или пневматической подачи стержень 1 все время находится под давлением, т. е. происходит непрерывный прижим брусков 6 к обрабатываемой поверхности детали.

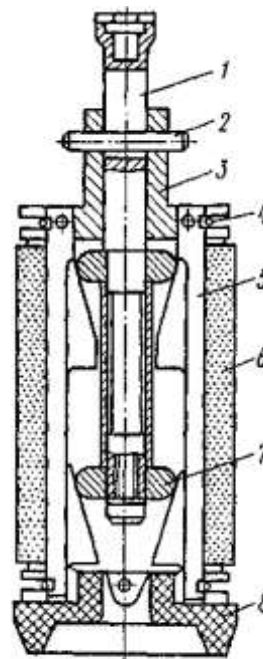


Рис. 10.6. Схема хонинговальной головки

Окружная скорость вращения хона при обработке закаленной стали 10...25 м/мин, серого чугуна 30...70 м/мин. Скорость осевого движения хона составляет примерно 1/2... 1/5 окружной скорости.

Хонингование стальных и чугунных деталей происходит со смазочно-охлаждающей жидкостью, состоящей из смеси керосина и масла (10...30 %). При ее использовании снижается температура в зоне резания и смываются абразивные зерна с обрабатываемой поверхности.

Предварительно поверхность цилиндра обрабатывают шлифованием или тонкой расточкой. Припуск под хонингование на диаметр составляет 0,01...0,04 мм и иногда доходит до 0,5 мм. Точность обработки соответствует 5...7-му классам, шероховатость обработанной поверхности—9...13-му классам ($R_a \sim 0,32...0,0125$ мкм). Недостаток хонингования — невозможность исправления положения оси отверстия относительно торца детали. Хонингование (черновое и чистовое) — заключительная операция при обработке отверстий гильз цилиндров ДВС, режущих зубчатых колес и др.

Суперфиниширование — окончательная обработка предварительно шлифованных поверхностей (чаще наружных цилиндрических) с помощью мелкозернистых, абразивных или алмазных брусков, совершающих сложное движение с целью получения поверхности высокого качества. Брусочки для суперфиниша изготавливают из шлиф- и микропорошков. В качестве СОЖ применяют керосин с добавкой 5... 10 % масла.

При суперфинише наружной цилиндрической поверхности обрабатываемая деталь 1 (рис. 10.7) совершает вращательное движение ($v \gg 5...15$ м/мин), брусочки 2 — колебательное движение с длиной хода 1,5...6 мм и частотой 250...1000 двойных ходов в 1 мин, а также движение подачи вдоль обрабатываемой поверхности 0,1...2 мм/об. При суперфинишировании точность размеров деталей повышается незначительно, но обеспечивается минимальная шероховатость поверхности, соответствующая 9...14-му классам ($R_a = 0,63...0,008$ мкм). Суперфиниширование — заключительная операция при обработке шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания.

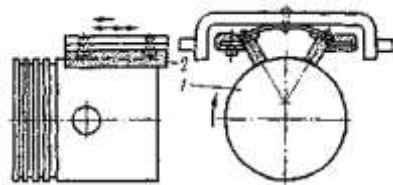


Рис. 10.7. Схема суперфиниширования поршня

Полирование — обработка деталей с помощью особо мелкозернистой абразивной (полировальной) пасты, нанесенной на эластичный полировальный круг изготавливаемый из войлока, кожи и парусины. В качестве абразива применяют порошки окиси хрома, крокуса (окись железа), венской извести, иногда корунда и карбида кремния.

Окружная скорость вращения круга при полировании деталей из стали и чугуна 3.0...35 м/с. Деталь прижимается к кругу с силой, равной примерно 20...50 Н. Полирование обычно применяют в качестве декоративной отделки деталей, а также подготовительной операции перед никелированием, хромированием и другими гальваническими покрытиями. Шероховатость поверхности после полирования соответствует 7... 12-му классам ($R_a = 1,25...0,025$ мкм). Сравнительно недавно для полирования деталей стали применяют лепестковые круги, которые состоят из радиально расположенных лепестков шлифовальной водостойкой шкурки, закрепленных в ступице эпоксидной композицией или склеенных блоками и соединенных металлическими фланцами.

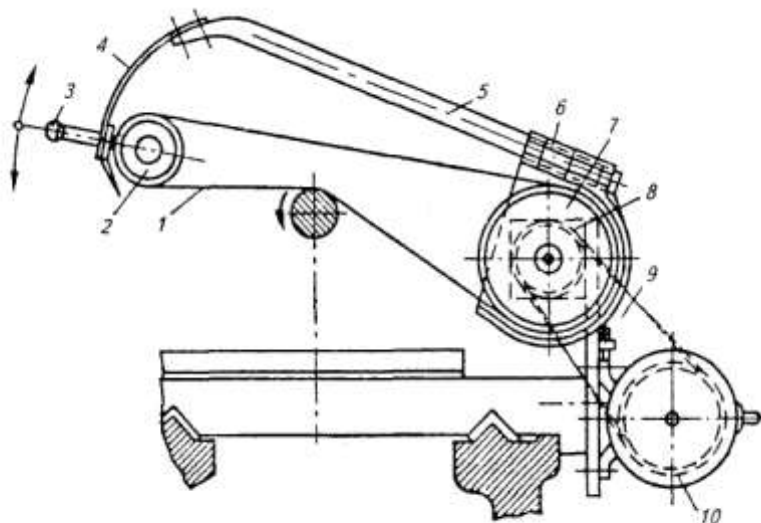


Рис. 10.8. Схема устройства к токарному станку для полирования валов бесконечной абразивной лентой

Находят применение круги плоскопараллельной (ЛКП) и чашечной (ЛКТ) форм. Диаметры плоскопараллельных кругов 40...1100 мм, высота 5...135 мм, а диаметры торцовых кругов чашечной формы 100...800 мм. Окружная скорость вращения лепестковых кругов 35 м/с. Используют круги на различных шлифовальных станках и обрабатывают цилиндрические (наружные и внутренние), плоские и другие поверхности. Полируют коренные и шатунные шейки тракторных двигателей, валы, оси, цапфы, шейки зубчатых колес, штоки гидроцилиндров и др. Обработка лепестковыми кругами не повышает точности деталей, но снижает шероховатость их поверхности с 7-го до 9-го класса (от $R_a = 1,25$ до $R_a = 0,32$ мкм).

Особая разновидность полирования — полирование бесконечной лентой цилиндрических, эксцентричных и фасонных деталей. В частности, можно полировать шейки и галтели коленчатых валов. Обрабатывают на ленточно-шлифовальных или при дооборудовании на токарных и круглошлифовальных станках.

На рисунке 10.8 показана схема устройства к токарному станку для полирования деталей типа тел вращения бесконечной алмазной (абразивной) лентой. Устройство установлено на продольном суппорте токарного станка. Бесконечная лента / надета на ролик 2 и шкив 7, получающий вращение от электродвигателя 10 мощностью 1 кВт через клиноременную передачу 9 и дифференциальный механический вибратор 8. Последний служит для придания ленте 1 (совместно с роликом 2 и шкивом 7) колебательного движения, параллельного оси детали. С помощью рукоятки 3 через упругую пластину 4, стержень 5 и кронштейн 6 ленту опускают на деталь.

Для обработки восстановленных деталей используют бесконечную ленту длиной 1500...2200 мм и шириной до 60 мм. Применяют абразивную ленту типа ЛСВТ зернистостью 8...М28 или алмазную типа АЛШБ АСО-100 %-Р9 зернистостью 80/63...40/28. Скорость перемещения ленты 35 м/с, поперечное колебательное движение с амплитудой 2...6 мм и частотой 300...900 колебаний в 1 мин при наличии вращательного движения детали и движения продольной подачи ленты (устройства) от станка.

Процесс обеспечивает получение 9...11-го классов шероховатости поверхности при исходной 7...8-го классов.

По аналогичной схеме (см. рис. 10.8) на ленточно-шлифовальных станках возможно шлифование деталей со снятием припусков до 0,1...0,3 мм при использовании лент большей зернистости.

Контрольные вопросы и задания. 1. Назовите абразивы, применяемые для шлифования деталей из стали и чугуна. 2. Расскажите об основных видах связок для абразивных инструментов. 3. Что такое 100%-ная концентрация алмазов в алмазном инструменте? 4.

Как правят абразивные круги? 5. Как выбирают продольную подачу круга при наружном шлифовании с продольной подачей? 6. Каковы сущность и назначение притирки, хонингования, суперфиниша и полирования?

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В промышленности получают все большее распространение электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Эти методы обработки разделяют на четыре группы. К первой группе относятся электроэрозионные методы обработки токопроводящих материалов, основанные на использовании энергии электрических разрядов, разрушающих обрабатываемый материал (электроискровой и электроимпульсный методы). Вторая группа методов охватывает способы обработки токопроводящих материалов концентрированными лучами с высокой плотностью энергии (светолучевая и электронно-лучевая). Третья группа включает методы импульсного ударного воздействия на заготовку частиц абразива с частотой ударов, соответствующей ультразвуковому диапазону (ультразвуковая обработка). В четвертую группу входят методы, основанные на явлении анодного растворения, состоящего в том, что обрабатываемая деталь, подключенная к положительному полюсу — аноду, растворяется.

Электрофизическими и электрохимическими методами обрабатывают детали из материалов с низкой обрабатываемостью резанием (твердые и жаропрочные сплавы, молибденовые, титановые, вольфрамовые и другие специальные сплавы), а также детали с размерами и формами поверхностей, обработка которых обычными механическими методами затруднительна (детали с малыми и криволинейными отверстиями, узкими прорезями, с углублениями сложных форм и др.).

Лекция 27 . (2 часа)

Тема: Физико-химические способы обработки металлов. Станки с ЧПУ

1.22.1 Вопросы лекции:

1. Электрофизические и электрофизические методы обработки металлов.
2. Современные станки с ЧПУ. Электронный токарный станок Smart-turn.

1.22.2 Краткое содержание вопросов:

1. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ.

В основу электроискрового и электроимпульсного методов обработки металлов положен процесс электроэрозии, заключающийся в разрушении металла под воздействием электрических разрядов, посылаемых источником электрического тока. Электрические разряды характеризуются малой длительностью (от долей мкс до нескольких сотен мкс), энергией (до 4...5 Дж) и высокой частотой (до $1,5 \cdot 10^6$ кГц).

Электроискровая обработка. При соприкосновении электрода-инструмента 4 (рис. 11.1) с контактом 3 конденсатор 2 разряжается от источника тока 1. При перемещении электрода-инструмента 4 вниз в момент сближения его с электродом-деталью 6 до образования зазора 5, измеряемого в микронах (0,1... 1 мкм), происходит разрядка конденсатора в виде кратковременной искровой вспышки между электродами.

Под воздействием высокой температуры, создаваемой электрическими разрядами, возникающими при движении электрода вниз, разрушается металл с образованием углубления в обрабатываемой детали. При этом электрод-инструмент, сохраняя

межэлектродный промежуток, постепенно углубляется в обрабатываемую деталь и придает ей форму, соответствующую форме электрода-инструмента.

Электроискровую обработку обычно проводят в условиях, когда электрод-деталь включен на анод, а электрод-инструмент — на катод; при этом происходит наиболее быстрое разрушение металла детали.

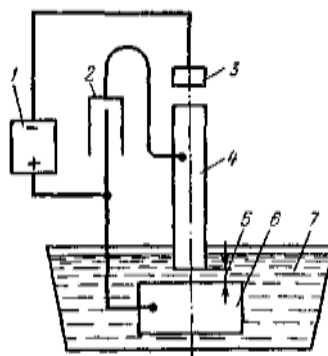


Рис. 11.1. Схема электроискровой обработки металлов

Во избежание переноса расплавленного металла с детали на инструмент процесс обработки происходит в диэлектрической жидкости 7 (керосине, машинном масле). В этих условиях расплавленные частицы металла, смываясь жидкостью, остывают в ней и в форме мельчайших шариков падают на дно ванны.

Электроды-инструменты изготовляют из латуни, медно-графитовой массы, меди и других токопроводящих материалов. Производительность электроискровой и электроимпульсной обработок металлов, шероховатость и точность обработанных поверхностей определяют мощностью и длительностью электрических разрядов, т. е. электрическим режимом работы.

Электроискровую обработку проводят на черновых, чистовых и отделочных режимах. Выбранный режим определяет производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности. Рабочее напряжение на электродах 70...200 В. При черновом режиме энергия единичного импульса примерно 0,5...5 Дж, сила тока в цепи разряда > 100 А, емкость конденсаторов > 100 мкФ. При отделочном режиме энергия единичного импульса 0,005...0,05 Дж, сила тока ниже 10 А, емкость конденсаторов менее 10 мкФ. Малая мощность и кратковременность разрядов — условия для получения обработанной поверхности до 6...8-го классов шероховатости ($R_a = 2,5... 0,40$ мкм). Электроискровым методом можно обрабатывать ограниченную поверхность (250... 1500 мм); производительность процесса 35... 1200 мм/мин.

Электроискровую обработку деталей проводят на специальных электроискровых станках, в которых главными элементами служат генератор импульсов и следящее устройство для регулирования устойчивости и мощности разрядов, станина станка, механизмы для перемещения и установки электродов (инструмента и детали), ванна с жидкостью. Электроискровую обработку применяют для прецизионной обработки небольших деталей топливной аппаратуры (мелкие отверстия, шлифовальные операции), вырезки фасонных контуров твердосплавных вырубных штампов проволочным электродом, деталей радиоэлектронной промышленности. При этом достигается относительно низкая шероховатость поверхности R_n — 1 ...2,5 мкм и точность обработки 0,05...0,8 мм.

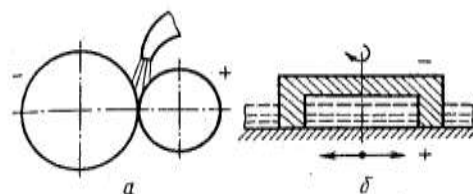


Рис. 11.3. Схемы электроэрозионного шлифования:
а — круглого; б — плоского

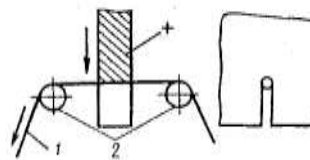


Рис. 11.4. Схема обработки электродом-проволокой

Электроимпульсная обработка. По сравнению с электроэрозионной обработкой процесс характеризуется увеличением мощности единичных разрядов, длительностью импульсов, обратной полярностью (анод — инструмент, катод — заготовка), применением пониженных напряжений и относительно большими значениями средних токов. В результате производительность процесса по сравнению с электроискровой обработкой во многих случаях в 8...10 раз выше. Этим методом обрабатывают большие площади (до 240 см^2) с высокой производительностью (до $5000 \text{ мм}^3/\text{мин}$); шероховатость обработанной поверхности на один—три класса ниже, чем при обработке электроискровыми методами.

На рисунке 11.2 приведена одна из схем электроимпульсного метода обработки металлов. Электрод-инструмент 3 и электрод-деталь 2, погруженные в ванну / с жидкостью, присоединяют через выпрямитель 5 к машинному преобразователю 4, преобразующему переменный ток промышленной частоты в ток повышенной частоты низкого напряжения. Жидкой средой служат масла низкой вязкости (индустриальное, трансформаторное), керосин и др. В межэлектродном пространстве возникают электрические разряды определенной длительности, сопровождающиеся выделением теплоты. Под действием теплоты металл разрушается на поверхности электродов. Электрические режимы назначают в зависимости от характера обработки и от площади обрабатываемой поверхности. При площади обрабатываемой поверхности 20...240 см черновую обработку проводят при силе тока 50...500 А, а чистовую — при 5...50 А. Верхнее значение напряжения 24...26 В, а нижнее 11...12 В.

Недостаток электроискрового и электроимпульсного методов — малая стойкость электрода-инструмента, который приходится заменять после обработки пяти—десяти деталей.

Электроимпульсную обработку проводят на специальных электроимпульсных станках, на которых обрабатывают пресс-формы, вырубные, просечные и чеканочные штампы и прошивают отверстия любой конфигурации в закаленных деталях.

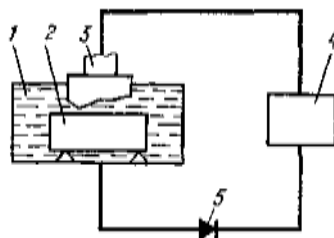


Рис. 11.2. Схема электроимпульсной обработки металлов

Электроэрозионное шлифование. Металл при данном виде шлифования удаляется под действием импульсных разрядов между вращающимся электродом-инструментом и заготовкой. Электроэрозионное шлифование может быть аналогично абразивному: круглым, внутренним и плоским (рис. 11.3). Обрабатывают при напряжении постоянного

тока 25...30 В и силе тока 5...300 А. Частота вращения инструмента 25...30 м/с. В зону резания подается масло, или обработка ведется под слоем масла.

Обработка электродом-проволокой. Этот способ применяют для прецизионной вырезки заготовок простой и сложной конфигураций, реза щелей, снятия больших пропусков с заготовок и др. Тонкая проволока / (рис. 11.4) (диаметром от нескольких микрометров до 0,5 мм) из латуни, меди или вольфрама, подключенная к катоду, перематывается с одной катушки 2 на другую. Заготовка, подключенная к аноду, имеет подачу на проволоку.

Таким способом обрабатывают детали (вырубные штампы, части призматических резцов и др.) из твердых сплавов, полупроводниковых материалов, вольфрама, магнитных материалов. Точность обработки 0,005 мм, шероховатость обработанной поверхности $R_a = 0,63...1,25$ мкм. Производительность процесса оценивают площадью обработанной поверхности (по контуру обработки) в единицу времени. При толщине заготовки 20 мм и использовании дистиллированной воды в качестве рабочей жидкости производительность процесса для цветных металлов 10...20, сталей 5...8 и твердых сплавов 6... 12 мм²/мин,

Лучевая обработка

Светолучевую обработку материалов проводят с помощью оптических квантовых генераторов-лазеров, которые создают узкие направленные пучки видимого света с чрезвычайно высокой плотностью тепловой энергии на единицу площади. С помощью лазеров можно обрабатывать (образование отверстий, резка, сварка) сверхтвердые и тугоплавкие материалы. Лазеры бывают трех видов: твердотельные, газовые и жидкостные.

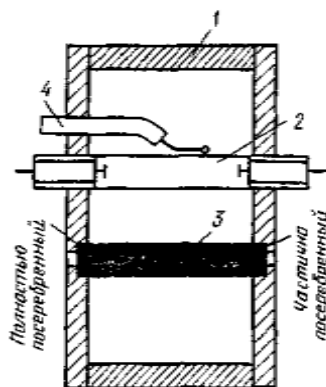


Рис. 11.5. Схема лазера

В эллиптическом корпусе 1 (рис. 11.5) расположены в фокальных осях синтетический рубиновый стержень 3 и ксеноновая импульсная лампа 2 с электродом 4 для поджига импульсной лампы. Стержень 3 — основной рабочий элемент, изготавливаемый из розового рубина (с концентрацией 0,065 % CrO_3 в Al_2O_3). Стержень диаметром 20... 10 мм и длиной 20...300 мм с высокой степенью параллельности твердых плоскостей имеет одну торцовую поверхность, полностью отражающую световые лучи (полностью посеребрена), а другую — частично отражающую (частично посеребрена).

Импульсная лампа 2 имеет рабочий период около нескольких миллисекунд при потребляемой энергии 1000...2000 Дж. При вспышке импульсной лампы 2 происходит непосредственное световое облучение рубинового стержня 3, а также облучение отражением от зеркала эллиптического корпуса. Часть энергии, излучаемой импульсной лампой 2 в виде голубого и зеленого излучения, поглощается рубином и обеспечивает его возбуждение. Свет в рубине многократно отражается от посеребренных торцов и усиливается. Примерно через 0,6 миллисекунды от начала облучения (когда возбуждение рубина превысит определенную величину) через частично посеребренный торец выходит световой импульс высокой энергетической плотности. Излучение лазера концентрируется на обрабатываемой заготовке с помощью оптической системы.

Кристаллические стержни лазеров делают также из стекла (длиной до 2000 мм), иттриево-алюминиевого граната с примесью неодима (длиной до 120 мм). Срок службы твердотельных лазеров до 1500 ч. В ряде случаев применяют лазеры на основе газовых смесей (например, смесь гелия и неона). В качестве жидких активных сред используют растворы органических красителей, неорганических соединений редкоземельных элементов и др. Жидкие лазеры накачиваются лампой-вспышкой.

Лазеры с помощью генератора в несколько киловатт дают поток излучения в зоне обработки до 10^{10} Вт/см². Температура в зоне воздействия луча лазера достигает 5000...9000 °С, что ведет к испарению или выгоранию обрабатываемого материала. Время излучения при импульсном воздействии 0,001...0,00001 с. С помощью лазерных установок получают отверстия диаметром 0,01...0,6 мм в заготовках толщиной 0,1...6 мм, режут заготовки толщиной до 9 мм из стали, тугоплавких и цветных сплавов, алмаза, рубина, керамики и др.

Электронно-лучевая обработка. Электронный луч формируется с потоком энергии значительной концентрации. Фокусирование электронного луча в какой-либо точке обрабатываемой заготовки создает очень высокую температуру, при которой материалы плавятся и даже испаряются. Обработку ведут в глубоком вакууме (до 10^{-7} Па).

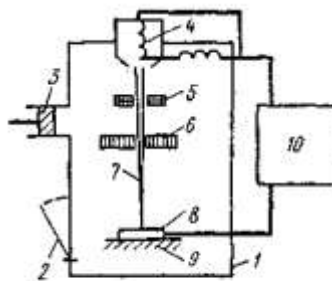


Рис. 11.6. Схема установки для электронно-лучевой обработки

В камере 1 (рис. 11.6) располагается катод 4 (электронная пушка), создающий облако свободных электронов, образование которых происходит за счет термоэлектронной эмиссии. Катоды изготовляют из вольфрама и тантала. С помощью электронно-магнитных систем (магнитная линза 5 и отклоняющая система 6) электроны формируются в направленный и сконцентрированный луч 7. В держателе и подающем механизме 9 располагается заготовка 8. Источник 10 обеспечивает ток высокого напряжения. В качестве источника тока могут применяться импульсные генераторы. Вакуум в установке создается диффузионным насосом 3. Люк 2 служит для установки заготовки. Рабочее напряжение в электронной пушке достигает 150 000 В.

С помощью электронного луча можно получить поток энергии громадной концентрации (порядка 10^9 Вт на 1 см²). Скорость электронов в луче до 100 000 км/с. Электронно-лучевую обработку целесообразно применять для получения мелких отверстий в твердых труднообрабатываемых материалах и резки твердых заготовок из вольфрама, титана, твердых сплавов и синтетических камней. При этом методе обработки можно получить диаметр отверстия или ширину реза 1...2 мкм. Электронно-лучевую обработку используют также для сварки и плавки металлов. Недостаток метода — необходимость проведения обработки в глубоком вакууме, что значительно усложняет процесс.

Ультразвуковая обработка

При ультразвуковом методе обработки материалов инструменту придают колебания высокой частоты (свыше 20 тыс. колебаний в 1 с) с небольшой амплитудой (0,01...0,06 мм). Жидкость (чаще вода), омывающая инструмент и обрабатываемую деталь, содержит большое количество мелких абразивных зерен размером 150...180 мкм. Весовое соотношение абразива к воде от 1:1 до 1:2. Эти зерна под воздействием ультразвуковых колебаний попадают в пространство между электродами и

осуществляют съем металла. В качестве абразивных зерен используют кристаллы карбида бора, карбида кремния и другие материалы. Инструменты, имеющие форму в соответствии с формой обрабатываемой поверхности, обычно изготавливают из инструментальной стали.

Для получения ультразвуковых колебаний применяют пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи. Применение пьезоэлектрических преобразователей основано на способности некоторых материалов (кварца, турмалина) изменять свои геометрические размеры (сжиматься и расширяться) под воздействием электрических зарядов. В основу магнитострикционного преобразователя положено использование свойств некоторых материалов (никеля, кобальта, пермалоя и др.) деформироваться (сжиматься и расширяться) под воздействием магнитного поля. Трубку из указанных материалов помещают в катушку, через которую проходит переменный ток высокой частоты. Под воздействием магнитного поля геометрические размеры трубки меняются с ультразвуковой частотой. Этот метод чаще используют при обработке сверлением и фрезерованием деталей из стекла и кварца, полупроводников, алмазов, реже из твердых сплавов и труднообрабатываемых сталей. Ультразвуковая обработка стальных деталей обеспечивает получение шероховатости поверхности до 9-го класса ($R_a = 0,32$ мкм) и точности до 5 мкм.

На рисунке 11.7 приведена схема установки с магнитострикционным преобразователем. Электрические колебания от звукового генератора / усиливаются усилителем 2 и поступают в катушку 6 вибратора 4, который, создавая переменное магнитное поле, заставляет сердечник и инструмент 7 колебаться с высокой частотой. Постоянные магниты 5 получают питание от селенового выпрямителя 3.

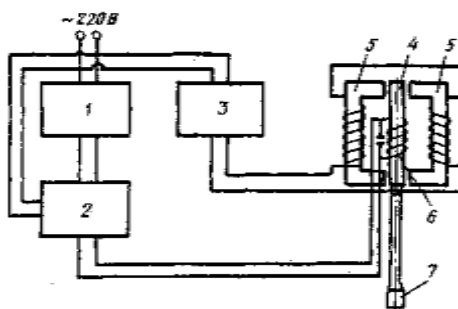


Рис. 11.7. Схема ультразвуковой установки

Производительность ультразвуковой обработки зависит от обрабатываемого материала и мощности установки. Так, удельная производительность при обработке стекла до 4000, а твердого сплава до 40 мм Д_{мин}-кВт).

Анодно-механическая обработка

Анодно-механическую обработку применяют для резки металлов и заточки инструментов. При анодно-механической обработке используют постоянный ток напряжением 20...30 В. Силу тока выбирают в зависимости от размеров обрабатываемой детали (80...300 А).

Деталь соединяют с положительным полюсом источника тока, а обрабатывающий токопроводящий инструмент — с отрицательным. Между обрабатываемой деталью и обрабатывающим токопроводящим инструментом вводится специальная рабочая жидкость (водный раствор жидкого стекла). Под действием электрического тока на поверхности обрабатываемой детали образуется защитная пленка с высоким электрическим сопротивлением. Обрабатывающий инструмент непрерывно удаляет значительную часть пленки с поверхности детали и тем самым открывает возможность прохождения тока через обрабатываемую поверхность детали.

В результате электрохимического действия и электроискрового процесса металл снимается с обрабатываемой поверхности детали.

При большой плотности тока возникает большое количество теплоты и металл снимается в основном за счет электроискрового действия.

Положительный полюс подводят к резцу 1 (рис. 11.8), а отрицательный — через скользящий контакт к токопроводящему кругу 2. Рабочая жидкость — водный раствор жидкого стекла — подается через шланг 6 в зону обработки в количестве 8...10 л/мин. Скорость вращения диска 10...18 м/с. Одновременно резцу придается возвратно-поступательное движение небольшой амплитуды. После анодно-механической обработки отсутствуют дефекты, характерные для абразивной заточки (микротрещины, прижоги и т. д.), отпадает необходимость в применении шлифовальных кругов. Производительность анодно-механической заточки ниже абразивной.

Электроабразивная обработка. Такая обработка основана на электрохимическом растворении твердого сплава при одновременном механическом удалении продуктов растворения из зоны обработки. При этом используют электропро-

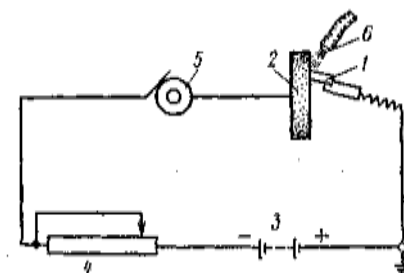


Рис. 11.8. Схема анодно-механической заточки:

1 — резец; 2 — токопроводящий круг; 3 — источник питания; 4 — реостат; 5 — контакт; 6 — шланг

2. СОВРЕМЕННЫЕ СТАНКИ С ЧПУ. ЭЛЕКТРОННЫЙ ТОКАРНЫЙ СТАНОК SMART-TURN 7/200 1000.

2.1 Пути автоматизации ОМР

Чтобы повысить производительность и качество ОМР, рациональнее использовать рабочее время станочника и повысить эффективность его труда, проводят постоянную работу по автоматизации и механизации металлорежущих станков. *Автоматизация — это процесс создания приборов, устройств и механизмов, которым частично или полностью передаются функции управления станком и контроля качества обработки деталей. Механизация — это оснащение станка устройствами, которые облегчают труд токаря и освобождают его от выполнения физически тяжелых, трудоемких и утомительных работ.*

К средствам механизации относят транспортные средства, зажимные устройства (самозажимные поводковые патроны, патроны с пневмо- или гидрозажимом, заднюю бабку с гидро- или пневмоприводом пиноли), механизированный привод подачи резцовых салазок, задней бабки, а также гидросуппорт, который позволяет обрабатывать заготовки по копиру, закрепляемые в центрах и в патроне, по наружным и внутренним поверхностям.

Гидросуппорт устанавливают вместо обычного суппорта. Задающим движением для суппорта является продольная (для обработки наружных или внутренних поверхностей) или поперечная (при обработке торцовых поверхностей) подача.

К средствам автоматизации можно отнести устройства управления (датчики, кулачки, ограничители, конечные выключатели, упоры) и измерения, загрузочные устройства, устройства уборки стружки, действие которых скоординировано с работой станка и

требуется вмешательства рабочего только при наладке станка или при подналадке в процессе работы.

При обслуживании станка применяют различные загрузочные устройства для сортового материала (прутков, труб, проволоки и т.п.) и штучных заготовок (поковок, штамповок, отливок). Загрузочные устройства для штучных заготовок в зависимости от степени автоматизации делят на механизированные (подъемно-транспортное оборудование), полуавтоматические (магазинные устройства), автоматические (бункерные устройства, роботы-манипуляторы).

Работа на автоматизированных станках в значительной степени сокращает ручной труд и сводит роль рабочего только к наладчиванию определенных механизмов, контролю за их работой и исправлению этих механизмов в случае неполадок. Одним из условий повышения производительности в металлообработке является увеличение степени автоматизации станков. Станки с высокой степенью автоматизации обычно делят на две группы: автоматы и полуавтоматы. Автоматами называют такие станки, у которых все рабочие приемы, за исключением загрузки заготовок на партию деталей и контроля размеров, производятся автоматически. Полуавтоматами называют станки, у которых цикл работы также автоматизирован, но рабочий должен устанавливать и снимать каждую заготовку и производить пуск станка и контроль размеров деталей. В условиях серийного производства деталей эффективно использование автоматов и полуавтоматов, обрабатывающих детали типа втулок, колец, валов, включая контроль их размеров, автоматически, без участия рабочего, который следит за исправной работой автомата, периодически загружает его заготовками и контролирует качество обработки.

Обработка деталей на полуавтомате производится с участием рабочего, который производит смену заготовки, пуск станка, измерение обработанной детали и др.

Токарные автоматы и полуавтоматы в зависимости от ориентации оси шпинделя подразделяют на горизонтальные и вертикальные, в зависимости от количества шпинделей – на одношпиндельные и многшпиндельные, в зависимости от применяемой заготовки (пруток, труба, поковка, отливка, штамповка и др.) – на прутковые и патронные. Автоматы и полуавтоматы, связанные между собой транспортными и загрузочными устройствами, образуют автоматизированные участки (если имеется возможность переналадки на обработку другой детали) или автоматическую линию (если такая возможность практически отсутствует).

2.2 Операции, выполняемых на станках с автоматическим и полуавтоматическим циклом работы.

Работа на автоматизированных станках в значительной степени сокращает ручной труд и сводит роль рабочего только к наладчиванию определенных механизмов, контролю за их работой и исправлению этих механизмов в случае неполадок. Одним из условий повышения производительности в металлообработке является увеличение степени автоматизации станков. Станки с высокой степенью автоматизации обычно делят на две группы: автоматы и полуавтоматы. Автоматами называют такие станки, у которых все рабочие приемы, за исключением загрузки заготовок на партию деталей и контроля размеров, производятся автоматически. Полуавтоматами называют станки, у которых цикл работы также автоматизирован, но рабочий должен устанавливать и снимать каждую заготовку и производить пуск станка и контроль размеров деталей. Специализированные автоматы и полуавтоматы изготавливают детали с достаточной точностью и обеспечивают высокую производительность при обработке деталей одного вида. Они успешно применяются в массовом и крупносерийном производстве. Но переход на таких станках к обработке другой детали, даже незначительно отличающейся от предыдущей, связан с изготовлением новой оснастки и трудоемкой переналадкой станка. В станках с числовым

программным управлением (ЧПУ) можно без значительных затрат времени и средств изменять программу работы в широких пределах. В станках с программным управлением сочетаются производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования. Станкостроительной промышленностью не только изготавливаются высокоавтоматизированные станки, но и строятся автоматические линии, цехи и заводы, в которых много станков соединено таким образом, что детали автоматически проходят на них последовательную обработку.

2.3 Многорезцовые и гидрокопировальные токарные полуавтоматы

Чтобы повысить производительность и качество токарной обработки, рациональнее использовать рабочее время токаря и повысить эффективность его труда, проводят постоянную работу по автоматизации и механизации токарных станков. Автоматизация – это процесс создания приборов, устройств и механизмов, которым частично или полностью передаются функции управления станком и контроля качества обработки деталей. Механизация – это оснащение станка устройствами, которые облегчают труд токаря и освобождают его от выполнения физически тяжелых, трудоемких и утомительных работ. Технические средства автоматизации и механизации токарного станка схематически представлены на рисунке. К средствам механизации относят транспортные средства, зажимные устройства (самозажимные поводковые патроны, патроны с пневмо- или гидрозажимом, заднюю бабку с гидро- или пневмоприводом пиноли), механизированный привод подачи резцовых салазок, задней бабки, а также гидросуппорт, который позволяет обрабатывать заготовки по копиру, закрепляемые в центрах и в патроне, по наружным и внутренним поверхностям.

Гидросуппорт устанавливают вместо обычного суппорта. Задающим движением для суппорта является продольная (для обработки наружных или внутренних поверхностей) или поперечная (при обработке торцовых поверхностей) подача.

К средствам автоматизации можно отнести устройства управления (датчики, кулачки, ограничители, конечные выключатели, упоры) и измерения, загрузочные устройства, устройства уборки стружки, действие которых скоординировано с работой станка и требует вмешательства рабочего только при наладке станка или при подналадке в процессе работы.

При обслуживании станка применяют различные загрузочные устройства для сортового материала (прутков, труб, проволоки и т.п.) и штучных заготовок (поковок, штамповок, отливок). Загрузочные устройства для штучных заготовок в зависимости от степени автоматизации делят на механизированные (подъемно-транспортное оборудование), полуавтоматические (магазинные устройства), автоматические (бункерные устройства, роботы-манипуляторы).

В условиях серийного производства деталей эффективно использование автоматов и полуавтоматов, обрабатывающих детали типа втулок, колец, валов, включая контроль их размеров, автоматически, без участия рабочего, который следит за исправной работой автомата, периодически загружает его заготовками и контролирует качество обработки.

Обработка деталей на полуавтомате производится с участием рабочего, который производит смену заготовки, пуск станка, измерение обработанной детали и др.

Токарные автоматы и полуавтоматы в зависимости от ориентации оси шпинделя подразделяют на горизонтальные и вертикальные, в зависимости от количества шпинделей – на одношпиндельные и многошпиндельные, в зависимости от применяемой заготовки (пруток, труба, поковка, отливка, штамповка и др.) – на прутковые и патронные. Автоматы и полуавтоматы, связанные между собой транспортными и загрузочными устройствами, образуют автоматизированные участки (если имеется возможность переналадки на обработку другой детали) или автоматическую линию (если такая возможность практически отсутствует).

2.4 Современные станки с ЧПУ

Но переход на таких станках к обработке другой детали, даже незначительно отличающейся от предыдущей, связан с изготовлением новой оснастки и трудоемкой переналадкой станка. Польза от станков с программным управлением неоценима. Их легко перестроить при запуске в производство новой детали.

В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) можно без значительных затрат времени и средств изменять программу работы в широких пределах. В станках с программным управлением сочетаются производительность и точность специализированного станка с быстротой переналадки универсального оборудования.

Станкостроительной промышленностью не только изготавливаются высокоавтоматизированные станки, но и строятся автоматические линии, цехи и заводы, в которых много станков соединено таким образом, что детали автоматически проходят на них последовательную обработку.

Числовое программное управление (ЧПУ) означает компьютеризованную систему управления, считывающую инструкции специализированного языка программирования (например, G-код) и управляющую приводами металло-, дерево- и пластмассообрабатывающих станков и станочной оснасткой. Станки, оборудованные числовым программным управлением, называются станками с ЧПУ. Помимо металлорежущих (например, фрезерные или токарные), существует оборудование для резки листовых заготовок, для обработки давлением.

Система управления на ЧПУ-станке компьютеризована, и компьютер считывает инструкции и управляет приводами обрабатывающих станков и станочной оснасткой. Оборудование с ЧПУ характеризуется исключительно высокой скоростью, точностью и надежностью работы. Для обслуживания такого оборудования требуется гораздо меньше работников. Еще один плюс станков с ЧПУ – возможность реализовывать сложные и невыгодные проекты с точки зрения ручной обработки.

Станки с ЧПУ должны обеспечивать высокие точность и скорость отработки перемещений, заданных УП, а также сохранить эту точность в заданных пределах при длительной эксплуатации. Конструкция станков с ЧПУ должна, как правило, обеспечивать совмещение различных видов обработки, автоматизацию загрузки и выгрузки деталей, автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента, возможность встройки в общую автоматическую систему управления. Высокая точность обработки определяется точностью изготовления и жесткостью станка. В конструкциях станков с ЧПУ используют короткие кинематические цепи, что повышает статическую и динамическую жесткость станков. Для всех исполнительных органов применяют автономные приводы с минимально возможным числом механических передач. Эти приводы должны иметь высокое быстродействие. Точность станков с ЧПУ повышается в результате устранения зазоров в передаточных механизмах приводов, уменьшения потерь на трение в направляющих и механизмах, повышения виброустойчивости, снижения тепловых деформаций.

Станки с ЧПУ по сравнению с обычными имеют следующие преимущества: повышение производительности и сокращение времени переналадки станка с одной детали на другую; сокращение сроков подготовки производства и др.

Высокая эффективность достигается при использовании станков с ЧПУ для обработки деталей со сложными криволинейными поверхностями. Большинство токарных станков с ЧПУ применяют для обработки ступенчатых валов, осей, втулок, фланцев, дисков и др. Токарные станки с ЧПУ имеют высокую степень автоматизации. У них может быть автоматизировано (кроме формообразующих движений) переключение частот вращения шпинделя, смена инструментов, включение и выключение охлаждения, регулирование расхода СОЖ, Включение и выключение механизмов стружкодробления и

стружкоудаления. По характеру управления движения органов станка системы ЧПУ делят на позиционное, контурное и смешанное.

Позиционное программное управление – это управление станками, необходимое для автоматической установки рабочего органа в позицию, заданную программой.

Контурное числовое программное управление применяется для обработки деталей сложной формы с криволинейными поверхностями. Это управление обеспечивает автоматическое перемещение рабочего органа по траектории, заданной программой.

Комбинированное числовое программное управление сочетает функции контурного и позиционного программного управления.

Современное состояние металлорежущего оборудования с программным управлением предусматривает следующие основные типы этого оборудования и управляющих систем.

Станки с оперативными системами программного управления, обеспечивающими подготовку управляющей программы непосредственно на рабочем месте, на основе широкого использования типовых технологических циклов обработки, хранящихся в памяти устройства. Эта группа станков должна заменить наиболее распространенные универсальные токарные станки. Станки с оперативными системами управления рассчитаны на обслуживание рабочим, способным в режиме диалога с системой управления сформировать управляющую программу, вводя конкретные значения в стандартный технологический цикл обработки. На станках этой группы обрабатывают партии деталей в полуавтоматическом режиме; при работе на них производительность повышается в 1,5-2 раза по сравнению с универсальным оборудованием.

Многоцелевые станки оснащают многопроцессорными, продуктивными системами управления, обеспечивающими резкое упрощение формирования управляющей программы, введение необходимых коррекций на отклонение заготовки, инструментов, режимов обработки, предусматривающих наличие устройства для диагностики состояния всех основных систем станка, предупреждение брака и другие функции. Эта группа станков ориентирована на серийное производство деталей и обеспечивает рост производительности в 2-3 раза по сравнению с универсальными станками с ручным управлением.

Для обработки наиболее сложных и дорогих деталей, в первую очередь деталей тяжелого машиностроения, предусмотрен выпуск станков, характеризующихся наличием универсальных систем программного управления со встроенными ЭВМ и свободным программированием необходимых алгоритмов обработки, повышением роли системы управления в коррекции погрешностей механических сборочных единиц станка и измерительных систем.

Оборудование с функциональными системами программного управления, обеспечивающими управление режимом обработки (главным приводом и приводом подачи), последовательностью работы механизмов станка, предельными перемещениями по осям координат. К этой группе относятся автоматические линии для механической обработки, у которых повышается коэффициент использования за счет применения электронного управления циклами работы, счетчиков работы инструментов с одновременным использованием центральной ЭАМ для диагностики и планирования работы всего комплекса; автоматы и агрегатные станки с переналаживаемыми циклами работы, пригодные к использованию в крупносерийном производстве; токарно-револьверные станки с автоматическим циклом работы, задаваемым электронной системой управления.

Гибкие производственные системы на основе совместного использования станков с программным управлением и промышленных роботов для комплексной обработки широкой номенклатуры деталей, а также выполнения ряда сборочных операций. Высокоавтоматизированные, гибкие производственные модули с программным управлением, требующие ограниченного вмешательства обслуживаемого персонала,

способные автономно функционировать в течение одной – двух смен и предназначенные для обработки деталей типа тел вращения и корпусных деталей.

Огромное число морально устаревших станков может быть рационально использовано путем модернизации силами предприятия. Модернизация оборудования не является временным мероприятием. В связи с тем, что моральное старение станочного оборудования происходит значительно быстрее его физического износа, промышленные предприятия вынуждены постоянно заниматься вопросами модернизации станков.

Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС) разработал ряд типовых проектов модернизации наиболее распространенных моделей станков. Однако по этим проектам можно модернизировать лишь малую часть устаревших станков как вследствие многообразия их моделей, так и из-за разнообразия целей модернизации.

Ниже перечислены основные задачи модернизации токарных станков:

повышение мощности и быстроходности станка, достигаемое модернизацией привода главного движения;

увеличение подачи путем модернизации привода подачи;

повышение степени автоматизации станка для сокращения вспомогательного времени обработки;

автоматизация цикла обработки;

расширение технологических возможностей станка.

2.5 Электронный токарный станок Smart-turn7 /200 1000

Современная молодежь не хочет работать на ручных металлообрабатывающих станках (токарной, фрезерной и др. групп) и для того чтобы облегчить работу молодого персонала на заводах приходит на помощь компания «Ирлен Рос», которая специализируется на поставке современного металлообрабатывающего оборудования из Европы. *(фильм)*

Компания предлагает комплексное решение задач по поставке и внедрению нового оборудования из Европы, выбор наиболее эффективного оборудования и инструмента, проведение пуско-наладочных работ и обучение персонала заказчика.

Само время диктует создание учебно-производственного центра, в котором на самом современном оборудовании можно проводить обучение молодых специалистов чтобы заводам не пришлось их переучивать.

Если ранее в мире промышленность выпускала 9 типов станков (токарные, сверлильные и т.д.) и были соответствующие профессии (токарь...), то сегодня производимые станки можно разделить лишь на 2 группы: простые и сложные.

Простые: это станки заготовительной группы т.е. предназначены для изделий которые в дальнейшем пойдут на доработку в других станках или к потребителю без обработки

Сложные: это различные токарные, фрезерные, многофункциональные и специализированные станки, которые позволяют нам получить готовое изделие.

Электронный токарный станок смарт-турн занимает промежуточное положение между обычным токарным станком и многофункциональным металлообрабатывающим станком.

Он состоит из цельнолитой чугунной станины на которую смонтированы: шпиндельная и задняя бабка, а также суппорт с резцедержателем, но помимо этого он оснащен системой ЧПУ Fanuc с интерактивным управлением.

Станок смарт-турн сохраняет простоту управляемости ручного токарного станка, обеспечивая повышенную точность, высокую производительность и автоматизацию процесса обработки деталей.

Станок предназначен для токарной обработки с использованием встроенных автоматических циклов, которые позволяют в дальнейшем, многократно, повторять токарную обработку, а нам нужно только устанавливать новую заготовку.

Все встроенные автоматические циклы настраиваются под выбранную нами обработку и объединяются в одну программу. При запуске программы в автоматическом режиме циклы будут выполняться последовательно производя обработку и автоматически производить смену каждого цикла.

Для более сложной обработки в одну программу можно соединить до 40 автоматических циклов.

Операторы использующие ручные токарные станки могут использовать SMART TURN, не имея опыта работы с ЧПУ.

Сенсорный LCD монитор с крупным графическим отображением функций, которые ведут оператора.

Электронные маховички приспособлены для работы в ручном режиме как на обычном токарном станке.

Механическая обработка выполняется используя всесторонний выбор автоматических циклов на сенсорном экране.

Полный перечень автоматических токарной обработки:

- торцевание;
- черновая и чистовая обработка внешних и внутренних цилиндрических и конических поверхностей;
- работа на ограниченной длине;
- создание и обработка произвольного контура;
- нарезание резьбы на внешних и внутренних цилиндрических и конических поверхностях, с возможностью выбора способа врезания;
- возможность восстановления старой резьбы;
- автоматическое сверление и нарезание резьбы метчиком;
- точение канавок на наружных, внутренних и торцевых поверхностях.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

Тема: «Измерение твердости металлов»

2.1.1 Цель работы. Ознакомление с методикой и средствами измерения твердости материалов, приобретение практических навыков работы на твердомерах.

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и технические возможности твердомеров Бринелля и Роквелла.
2. Определить твердость металлических образцов.
3. Составить отчет.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Твердомер Бринелля
2. Твердомер Роквелла
3. Твердомер электронный ТЭМП -2
4. Образцы металлов

2.1.4 Описание (ход) работы:

Лабораторная работа 1

Измерение твердости металлов

1. Общие сведения

Твердость – сопротивление материала местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела.

Таковыми телами на твердомерах являются **инденторы**. Инденторы: стальной закаленный шарик, конус или пирамида из твердого сплава или алмаза. Индентор, закрепленный в держателе представляет собой **наконечник**.

Твердость материалов (металлов) – сложное свойство, зависящее от их прочности и пластичности, а также от метода измерения.

Новые методы основаны на использовании ультразвуковых колебаний (фиксировании изменения собственной частоты колебательной системы в процессе опыта); на измерении разности скоростей падения и отражения ударника от испытуемой поверхности (электронный твердомер). По способу Шора твердость металлов определяют по высоте отскокивания бойка от испытуемой поверхности, что зависит от упругости материала.

Твердость минералов оценивают методами: царапания (более твердым эталоном), шлифования или вдавливания.

Наиболее распространены методы Бринелля, Роквелла и Виккерса, основанные на вдавливании индентора и оценке твердости материала по размерам полученного отпечатка.

2. Метод Бринелля

Сущность метода

На специальном приборе (твердомере) стальной закаленный шарик диаметром D (рис. 1) под действием нагрузки P вдавливается в испытуемый объект (деталь, заготовку, образец).

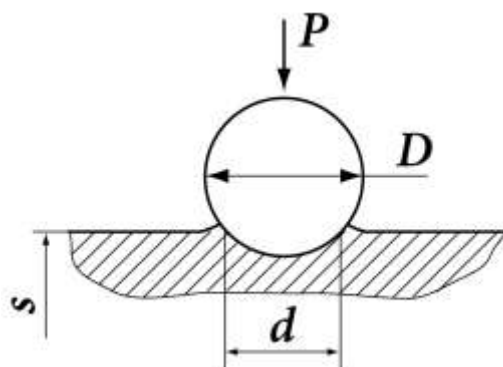


Рис. 1. Схема испытания на твердость по методу Бринелля

По истечении времени τ нагрузка снимается, а на поверхности изделия остается отпечаток. По его площади (диаметру d) определяют значение твердости соответствующего материала.

Выбор параметров испытания

В зависимости от толщины изделия S выбирают наконечник с шариком соответствующего диаметра.

Таблица 1. К выбору диаметра шарика

S , мм	до 3	3-6	более 6
D , мм	2,5	5,0	10

Нагрузку рассчитывают по зависимости

$$P = k \cdot D^2, \text{ кг [F, кН]}$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Таблица 2. К выбору значений k и τ

Материал	k	τ , с
Черный металл	30	10
Сплав цветных металлов	10	30
Цветной металл	2,5	60

2.3 Устройство и работа твердомера

Твердомер Бринелля (рис. 2) имеет тонкостенный чугунный корпус, в верхней части которого винтом к подпружиненному шпинделю 3 прикреплен сменный наконечник с шариком 1. На шпиндель через рычаги 4 и 6 передается усилие от подвески 7 с набором грузов 8.

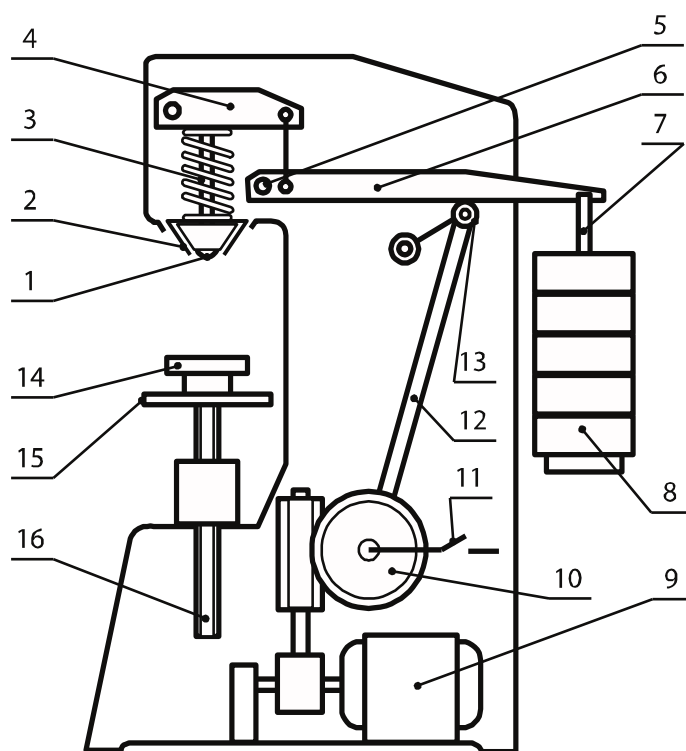


Рис. 2. Схема твердомера Бринелля

Под наконечником расположен плоский (для изделий круглого сечения призматический) столик 14. В корпусе размещены электродвигатель 9 и червячный редуктор с шатуном 12. Испытуемое изделие укладывают на предметный столик, а затем вращением маховика 15 с винтом 16 перемещают его к наконечнику.

При включении электродвигателя колесо 10 начнет медленно поворачиваться по часовой стрелке вместе с шатуном 12 и упорным роликом 13. При этом ролик с шатуном будет опускаться, под действием грузов 8 через подвеску рычаг 6 станет поворачиваться на оси 5 и поворачивать рычажок 4, который через шпindel 3 будет вдавливать шарик в образец. Нагрузка на шарик по мере поворота червячного колеса возрастает и достигает полной в момент отрыва ролика 13 от рычага. Это происходит при остановке шарика, шпинделя и рычагов. В этот момент включится контрольная лампочка и начнется отсчет времени опыта. При замыкании электрической цепи контактом 11, связанным с колесом 10, двигатель переключится на обратный ход, ролик 13 с шатуном пойдет вверх и, поворачивая рычаг 6, разгрузит наконечник. Электродвигатель отключится. В момент касания пары ролик-рычаг лампочка выключится.

2.4 Требования к образцам

Образец должен иметь параллельные поверхности. При испытании изделий круглого сечения под шарик опиливают лыску.

Образец должен быть чистым (без влаги, краски, ржавчины и т.д.) со шлифованной или обработанной напильником испытуемой поверхностью. При малых нагрузках (P) требуется малая шероховатость поверхности.

2.5 Правила безопасности

- Соблюдать общие правила работы с электроприборами.
- Тщательно устанавливать образец на предметном столике.
- Стоять при испытании сбоку твердомера.
- При испытании только наблюдать за работой прибора.

2.6 Порядок испытания

- На подвеску 7 навесить необходимый набор грузов.
- Установить в нужное положение подвижный контакт 11.

- Положить на столик испытуемое изделие. При необходимости придерживать его, подвести к наконечнику и слегка поджать.
- Убедиться в том, что требования по установке соблюдены (табл. 3).

Таблица 3. Требования к установке образцов на твердомере Бринелля

Твердость образца	Расстояния	
	Между центром отпечатка и краем образца	Между центрами отпечатков
До 35НВ	$\geq 3,0 \cdot d$	$\geq 6 \cdot d$
Более 35 НВ	$\geq 2,5 \cdot d$	$\geq 4 \cdot d$

- Вращая маховик 15 до заметного сопротивления, сжать калиброванную пружину шпинделя.
- Нажатием кнопки включить электродвигатель. Замерить время действия полной нагрузки по периоду свечения контрольной лампочки.
- После выключения двигателя повернуть маховик 15 против часовой стрелки и снять образец.

2.7. Определение значения твердости

Диаметр отпечатка d измеряют с помощью специальной лупы, снабженной шкалой с делениями. Измерения выполняют в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 3) и вычисляют среднее значение. Испытание каждого образца должно быть двукратным.

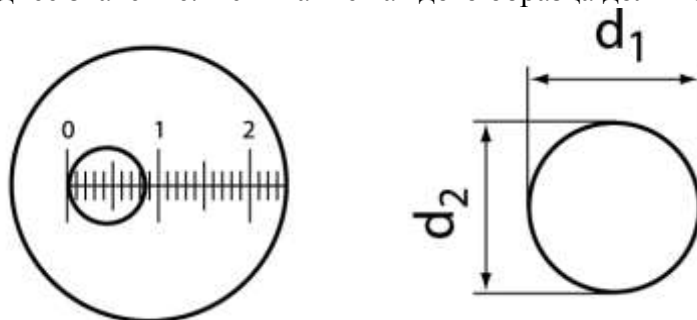


Рис. 3. Схема измерения диаметра отпечатка с помощью лупы

Твердость по Бринеллю (НВ – Hart Brinell) как отношение нагрузки (кгс) к поверхности отпечатка (мм^2) получает такую же размерность, что и прочность ($\text{кгс}/\text{мм}^2$ или $\text{Н}/\text{мм}^2$). На практике значения твердости приводят безразмерные (например, НВ 200 – твердость по Бринеллю 200 единиц) и не рассчитывают, а находят по таблице (Приложение 1).

Ограничения:

- толщина образцов должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка ($S > 1-2 \text{ мм}$);
- твердость образцов не должна превышать НВ 450.

3. Метод Роквелла.

Устройство и работа твердомера

Твердомер Роквелла устроен и работает подобно твердомеру Бринелля, но он оставляет отпечатки гораздо меньших размеров. Это обеспечивают инденторы – конус с углом при вершине 120° (алмазный или твердосплавный) и стальной закаленный шарик диаметром $1/16''$ (около 1,588 мм). Рабочая нагрузка не превышает 150 кгс, поэтому прибор компактен. Вместе с тем он позволяет измерять твердость в более широком диапазоне значений, фиксируемых большой стрелкой 15 индикатора 1 (рис.4). На индикаторе нанесены три шкалы: А, В и С, а измеряемым параметром является глубина отпечатка. Твердость обозначается буквами HR с добавлением шкалы и цифр (например: HRA 70, HRB 25–твердость по шкале А Роквелла 70 единиц и т.п.).

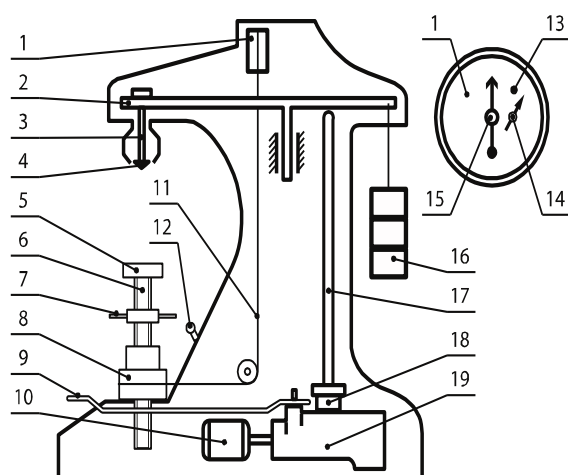


Рис. 4. Схема твердомера Роквелла

Твердомер имеет литой чугунный корпус, снаружи которого размещены: наконечник 4, опорный столик 5, подъемный винт 6 с маховиком 7, подвеска с грузами 16. В корпусе установлен электродвигатель 10 с двухступенчатым редуктором 19, от которого при включенном с помощью клавиши 9 храповом механизме кулачок 18 поворачивается на один оборот и осуществляет цикл наложения (нормальный – 4с, ускоренный – 2с) и снятия испытательной нагрузки через шток 17 и рычажную систему 2.

Затем кулачковый вал отключается от двигателя. При длительных перерывах в работе электродвигатель выключают тумблером 12.

3.2. Требования к образцам

Поверхность испытуемого изделия должна иметь низкую шероховатость ($Ra \approx 1.25$ мкм. Это обеспечивает чистовое шлифование, чистовое точение). На опорной поверхности тонких изделий не должно быть отпечатков от предыдущих испытаний. Толщина образца или глубина испытуемого слоя должны превышать остаточную глубину вдавливания в 8 и более раз. Допускается испытывать изделия с изогнутой поверхностью при радиусе кривизны не менее 5 мм.

3.3. Порядок испытания

3.3.1. Выбор шкалы и нагрузки

Выбрать шкалу измерения твердости, нагрузку и вид индентора, руководствуясь следующими указаниями.

Шкала А – для измерения твердости тонких пластинок, твердых поверхностных слоев (0,3-0,5 мм глубиной) и очень твердых металлов при нагрузке 60 кгс.

Шкала В – для испытания мягких металлов, $P=100$ кгс.

Шкала С – для материалов высокой твердости (закаленных сталей и т.п.) с твердостью более 450 НВ, материалов средней твердости (от НВ 230) и поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм (например, цементованных) при $P=150$ кгс.

Инденторы: при замерах по шкалам А и С – конус; по шкале В – шарик.

3.3.2. Испытание

На предметный столик 5 (рис. 4) поместить испытуемое изделие так, чтобы расстояние от оси шарика до центра имеющегося отпечатка или края образца составляло не менее 4 мм, а от оси конуса – не менее 2,5 мм.

Установить предварительную нагрузку $P_0 = 98$ Н (10 кгс), поджимая изделием наконечник (с помощью маховика 7) до совмещения малой стрелки 14 индикатора с красной меткой 13. Стрелка 15 при этом должна остановиться в секторе ± 5 делений шкалы от вертикали.

Установить ноль шкалы С против конца большой стрелки, поворачивая барабан 8 с тросиком 11. Тумблер 12 установить в положение «Включено».

Включить в работу привод механизма нагружения плавным нажатием на клавишу 9. После остановки стрелки 15 прочесть показания по соответствующей шкале. На образце выполнить не менее трех замеров. Значительно отличающиеся показания исключить и сделать дополнительный замер.

Опустить столик прибора, снимая предварительную нагрузку.

Предварительная нагрузка P_0 исключает влияние неодинаковой шероховатости образцов на точность показаний прибора. Последующая установка стрелки 15 на нуль вычитает соответствующую нагрузке P_0 глубину h_0 (рис. 5). Полная нагрузка P внедряет конус на глубину h_1 . Значение твердости материала определяет глубина $h < h_1$ из-за работы сил упругости, возникающей после снятия дополнительной нагрузки $P_d = P - P_0$.

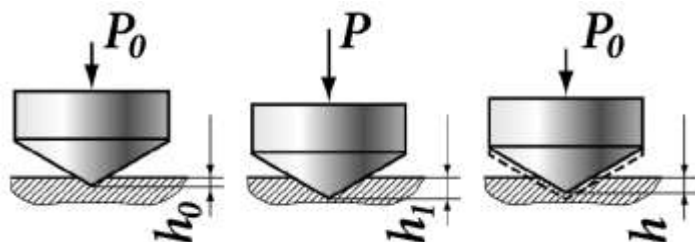


Рис. 5. Последовательность нагружения индентора при замере твердости по Роквеллу

Единице шкалы Роквелла соответствует перемещение наконечника на 0,002 мм.

Шкала С в связи с заменой эталона изменена. Поправки по новой шкале HRC₃ определяют по таблице.

4. Твердомер электронный ТЭМП -2

4.1. Общие сведения о приборе

Твердомер представляет собой портативный электронный программируемый прибор динамического действия. Состоит из электронного блока и датчика с экранированным кабелем (рис. 6).

На корпусе прибора расположены дисплей (жидкокристаллический индикатор) и кнопки управления, на правой боковой поверхности – толкатель, служащий для «загрузки» ударника – перемещения его в исходное рабочее положение и сжатия пружины.

Принцип измерения твердости прибором основан на определении соотношения скоростей падения и отскока ударника со стальным шариком (диаметром 3 мм и твердостью HV 1600).

Твердомер предназначен для экспрессного (за 5 с) измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля, Роквелла (С), Шора (HSD) и Виккерса, а также определения предела прочности R_m (т.е. σ_b , кгс/мм²) углеродистых сталей. Кроме того в память прибора можно записать дополнительно пять шкал твердости для других материалов (чугун, резина и др.).

4.2. Требования к образцам и их установке

К испытываемой поверхности предъявляются высокие требования – шероховатость не более R_a 2,5 мкм. Поэтому при необходимости в зоне измерения нужно зачистить шлифовальной машинкой площадку диаметром не менее 20 мм. Предварительно поверхность очищают, а перед замером протирают ветошью.

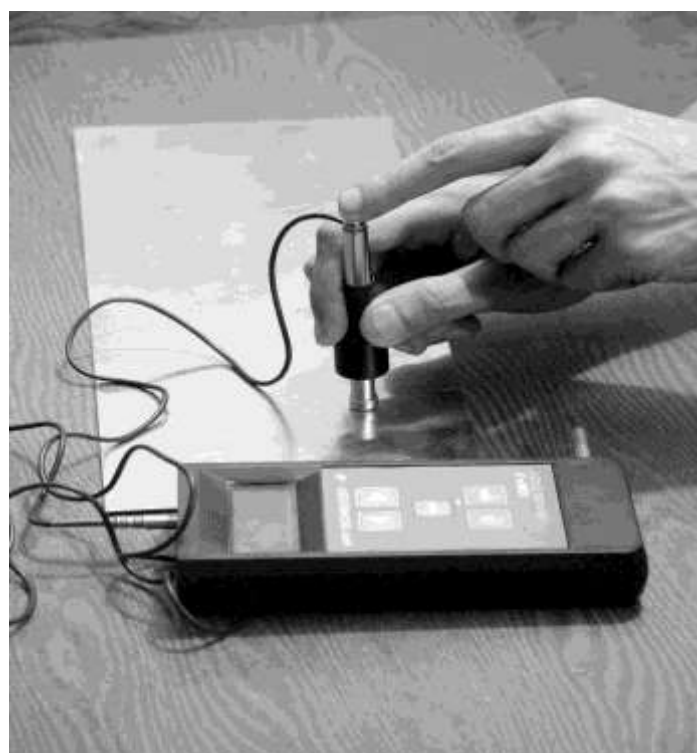


Рис. 6. Твердомер ТЭМП-2
и измерение твердости прибором

Допустимо измерение твердости на вогнутых и выпуклых образцах (R кривизны ≥ 15 мм).

1 2 3 4 5 6

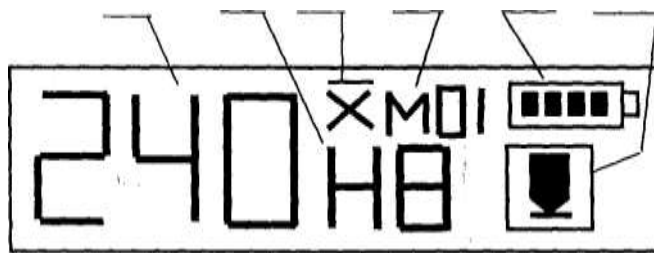


Рис.7. Схема индикации дисплея:

- 1 – значение твердости;
- 2 – шкала твердости или прочности;
- 3 – индекс усредненного результата;
- 4 – число измерений;
- 5 – указатель разряженности батареи;
- 6 – указатель положения датчика.

Расстояние между отпечатками не менее 3 мм. Число измерений от 3 до 99. Минимальная масса контролируемого изделия 1.5 кг. Легкие изделия необходимо притирать на массивную плиту.

4.3. Порядок работы

- Включить прибор кнопкой «MOD» - на дисплее появится индикация (рис. 7).
- Повторным нажатием кнопки «MOD» перейти в режим выбора шкалы твердости.
- Выбрать шкалу кнопками «◀▶».
- Выбрать положение датчика (горизонтально, сверху вниз, снизу вверх) дополнительным нажатием кнопки «MOD» и кнопок «◀▶».

Подобным образом можно выбрать режим подсветки («OFF» - выключена, «ON» - включена и т.д.).

Индикация дисплея сохраняется 3-4 с, поэтому режимы выбирать быстро.

- В корпус датчика вставить толкатель и плавно переместить его до защелкивания (сжатия пружины).
- Установить датчик нормально к испытываемой поверхности, плотно прижать его и другой рукой нажать на спусковую кнопку.

На дисплее появится значение твердости по выбранной шкале.

- Повторить замеры твердости.
- Среднее значение результатов измерений определить нажатием кнопки «X». Прибор отключается автоматически чрез 2 минуты после окончания работы.

Специальным кабелем можно соединить твердомер с компьютером и, используя соответствующую программу, вывести результаты измерений на его дисплей, сохранить и распечатать их.

5. Общая характеристика методов измерения твердости материалов

Твердость измерить проще, в том числе на деталях. Прочность - важнейший показатель механических свойств материала, определить сложнее. Для этого необходимы специальные образцы и более сложное оборудование.

Зная значение твердости можно ориентировочно найти прочность по зависимости

$$\sigma_b = K \cdot HB, \text{ МПа,}$$

где K: для сталей	3,4 - 3,5;
для алюминия и сплавов	3,5 - 3,6;
для меди и сплавов	4,0 - 5,5.

Возможности разных методов различны, что следует учитывать при выборе наиболее эффективного способа с учетом материала, ожидаемого значения твердости, размеров и формы изделия.

Форма и размеры индентора, прилагаемая нагрузка должны соответствовать целям испытания, состоянию поверхности, структуре и свойствами материала. Так, для сплавов, состоящих из крупных структурных составляющих различных по свойствам (серый чугун, подшипниковые сплавы), нужно использовать шарик большого диаметра. Если структура металла мелкозернистая и однородная, то можно вдавливать тела меньших размеров (шарик, конус, пирамиду) и на меньшую глубину.

Наиболее предпочтительным является метод Виккерса, дающий твердость в широком диапазоне значений по одной шкале.

Сравнительные параметры по основным современным методам измерения твердости материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристика основных методов измерения твердости

Метод (твёрдомер)	ГОСТ	Ограничения: S – толщина изделия, S _c – толщина поверхностного слоя, мм; R _a – шероховатость, мкм	Пределы измерения, ед. твердости	Точность измерения отпечатка, мм
Бринелля	9012-59	S > 1-2, мелкие детали и образцы	HB ≤ 450	0,05
Роквелла	9013-59	S = 0,3-0,5 S = 0,8-2,0 S _c > 0,5 R _a ≈ (1,25)	A: 70-85 B: 25-100 C: 20-67	0,002
Виккерса	2999-75	S = 0,3-0,5 S = 0,03-0,05 R _a ≤ 1,25	HV от 100 ...	0,001
ИТ 5010 ТЭМП-2		R _a ≤ 2,5 мкм Масса изделия от 1,5 кг	HV от 8 до 2000 HB: 100-450 HRC: 22-68 HV: 100-950 HSD: 22-99	--

Форма отчета

Лабораторная работа 1 Измерение твердости металлов

1. Понятие «твердость» материала.
2. Схемы нагружения образцов на твердомерах Бринелля и Роквелла и принципы измерения твердости.
3. Таблица опытных данных.

Таблица. Результаты испытания образцов

Материал образца	Метод Бринелля					Метод Роквелла			
	P, кгс	D, мм	Выдерж- ка, с	d _{ср} , мм	HB	P, кгс	Нако- неч- ник	Шкала	HR HB

- 1.
- 2.
- 3.

и т.д.

4.Выводы.

Работу выполнил

Работу принял

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1.

Значения твердости по Бринеллю в зависимости от диаметра отпечатка

Диаметр отпечатка D_{10} или $2D_5$ или $4D_{2.5}$	Числа твердости по Бринеллю при нагрузке Р кг, равной			Диаметр отпечатка D_{10} или $2D_5$ или $4D_{2.5}$	Числа твердости по Бринеллю при нагрузке Р кг, равной		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
2,00	945	315	78,8	4,30	197	65,5	16,4
2,05	899	300	74,9	4,35	192	63,9	16,0
2,10	856	285	71,4	4,40	187	62,4	15,6
2,15	817	272	68,1	4,45	183	60,9	15,2
2,20	780	260	65,0	4,50	179	59,5	14,9
2,25	745	248	62,1	4,55	174	58,1	14,5
2,30	712	237	59,4	4,60	170	56,8	14,2
2,35	682	227	56,8	4,65	166	55,5	13,9
2,40	653	218	54,4	4,70	162	54,3	13,6
2,45	627	209	52,2	4,75	159	53,0	13,3
2,50	601	200	50,1	4,80,	156	51,9	13,0
2,55	578	193	48,1	4,85	152	50,7	12,7
2,60	555	185	46,3	4,90	149	49,6	12,4
2,65	534	178	44,5	4,95	146	48,6	12,1
2,70	514	171	42,9	5,00	143	47,5	11,9
2,75	495	165	41,3	5,05	140	46,5	11,6
2,80	477	159	39,8	5,10	137	45,5	11,4
2,85	461	154	38,4	5,15	134	44,6	11,2
2,90	444	148	37,0	5,20	131	43,7	10,9
2,95	429	143	35,5	5,25	128	42,8	10,7
3,00	415	138	34,6	5,30	126	41,9	10,5
3,05	401	134	33,4	5,35	123	41,0	10,3
3,10	388	129	32,3	5,40	121	40,2	10,1
3,15	375	125	31,3	5,45	118	39,4	9,86
3,20	363	121	30,3	5,50	116	38,6	9,66
3,25	352	117	29,3	5,55	114	37,9	9,46
3,30	341	114	28,4	5,60	111	37,1	9,27
3,35	331	110	27,5	5,65	109	36,4	9,10
3,40	321	107	26,7	5,70	107	35,7	8,93
3,45	311	104	25,9	5,75	105	35,0	8,76
3,50	302	101	25,2	5,80	103	34,3	8,59
3,55	293	97,7	24,4	5,85	101	33,7	8,43
3,60	285	95,0	23,7	5,90	99,2	33,1	8,26
3,65	277	92,3	23,1	5,95	97,3	32,4	8,11
3,70	269	89,7	22,4	6,00	95,5	31,8	7,96
3,75	262	87,2	21,8	6,05	93,7	31,2	7,81
3,80	255	84,9	21,2	6,10	92,0	30,7	7,67

3,85	248	82,6	20,6	6,15	90,3	30,1	7,53
3,90	241	80,4	20,1	6,20	88,7	29,6	7,39
3,95	235	78,3	19,6	6,25	87,1	29,0	7,25
4,00	229	76,3	19,1	6,30	85,5	28,5	7,12
4,05	223	74,3	18,6	6,35	84,0	28,0	7,00
4,10	217	72,4	18,1	6,40	82,5	27,5	6,87
4,15	212	70,6	17,6	6,45	81,0	27,0	6,75
4,20	207	68,8	17,2	6,50	79,6	26,5	6,63
4,25	201	67,1	16,8				

Таблица П.2.

Соотношение чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

Твердость по Виккерсу	Твердость	Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу	Твердость	Твердость по Роквеллу		
	по	Шкала				по	Шкала		
	Бринеллю	С	В	А		Бринеллю	С	В	А
		150 кг	100 кг	60 кг			150 кг	100 кг	60 кг

1224	780	72	-	84	228	229	20	100	61
1116	745	70	-	83	222	223	19	99	60
1022	712	68	-	82	217	217	17	98	60
941	682	66	-	81	213	212	15	97	59
868	653	64	-	80	208	207	14	95	59
804	627	62	-	79	201	201	13	94	58
746	601	60	-	78	197	197	12	93	58
694	578	58	-	78	192	192	11	92	57
650	555	56	-	77	186	187	9	91	57
606	534	54	-	76	183	183	8	90	56
587	514	52	-	75	178	179	7	90	56
551	495	50	-	74	174	174	6	89	55
534	477	49	-	74	171	170	4	88	55
502	461	48	-	73	167	167	3	87	54
474	444	46	-	73	162	163	2	86	53
460	429	45	-	72	159	159	1	85	53
435	415	43	-	72	155	156	0	84	52
423	401	42	-	71	152	152	-	83	-
401	388	41	-	71	149	149	-	82	-
390	375	40	-	70	148	146	-	81	-
380	363	39	-	70	143	143	-	80	-
361	352	38	-	69	140	140	-	79	-
344	341	36	-	68	138	137	-	78	-
334	331	35	-	67	134	134	-	77	-
320	321	33	-	67	131	131	-	76	-
311	311	32	-	66	129	128	-	75	-
303	302	31	-	66	127	126	-	74	-
292	293	30	-	65	123	123	-	73	-
285	285	29	-	65	121	121	-	72	-
278	277	28	-	64	118	118	-	71	-
270	269	27	-	64	116	116	-	70	-
261	262	26	-	63	115	114	-	68	-
255	255	25	-	63	113	111	-	67	-
249	248	24	-	62	110	110	-	66	-
240	241	23	102	62	109	109	-	65	-
235	235	21	101	61	108	107	-	64	-

Таблица П.3.

Перевод чисел твердости HRC₃ шкалы С Роквелла
в числа твердости HRC

HRC ₃	HRC	HRC ₃	HRC	HRC ₃	HRC	HRC ₃	HRC
20,0	17,8	32,0	30,2	44,0	42,5	56,0	54,9
20,5	18,3	32,5	30,7	44,5	43,0	56,5	55,4
21,0	18,8	33,0	31,2	45,0	43,5	57,0	55,9
21,5	19,3	33,5	31,7	45,5	44,1	57,5	56,4
22,0	19,9	34,0	32,2	46,0	44,6	58,0	56,9
22,5	20,4	34,5	32,7	46,5	45,1	58,5	57,4

23,0	20,9	35,0	33,2	47,0	45,6	59,0	58,0
23,5	21,4	35,5	33,8	47,5	46,1	59,5	58,5
24,0	21,9	36,0	34,3	48,0	46,6	60,0	59,0
24,5	22,4	36,5	34,8	48,5	47,1	60,5	59,5
25,0	23,0	37,0	35,3	49,0	47,7	61,0	60,0
25,5	23,5	37,5	35,8	49,5	48,2	61,5	60,5
26,0	24,0	38,0	36,3	50,0	48,7	62,0	61,0
26,5	24,5	38,5	36,8	50,5	49,2	62,5	61,6
27,0	25,0	39,0	37,4	51,0	49,7	63,0	62,1
27,5	25,5	39,5	37,9	51,5	50,2	63,5	62,6
28,0	26,0	40,0	38,4	52,0	50,7	64,0	63,1
28,5	26,6	40,5	38,9	52,5	51,3	64,5	63,6
29,0	27,1	41,0	39,4	53,0	51,8	65,0	64,1
29,5	27,6	41,5	39,9	53,5	52,3	65,5	64,6
30,0	28,1	42,0	40,5	54,0	52,8	66,0	65,2
30,5	28,6	42,5	41,0	54,5	53,3	66,5	65,7
31,0	29,1	43,0	41,5	55,0	53,8	67,0	66,2
31,5	29,6	43,5	42,0	55,5	54,3	67,5	66,7

2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Микроанализ металлов и сплавов»

2.2.1 Цель работы: Изучение технологии приготовления микрошлифа, изучение устройства микроскопа и работы на нем, приобретение практических навыков микроисследования металлических структур.

2.2.2 Задачи работы:

1. Изучить материал по теме лабораторной работы.
2. Перешлифовать и отполировать микрошлиф.
3. Изучить и зарисовать структуру микрошлифа до и после травления.
4. Составить отчёт.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Микроскопы МИМ-6, МИМ-7;
2. шлифовальная бумага
3. полировальные машинки;
4. растворы кислот;

2.2.4 Описание (ход) работы:

1. Общие сведения

Микроанализ-изучение структуры вещества с помощью оптического микроскопа.

Металлографический микроскоп обеспечивает увеличение деталей структуры до 1500 раз, поэтому для работы с ним требуется специально приготовленный образец - микрошлиф.

Микрошлиф - вырезанный из соответствующего материала (изделия) образец с прямоугольным, квадратным, круглым сечением и размерами 10-20 мм, имеющий полированную поверхность.

Выявление микроструктуры (форма и размеры зёрен, их соотношение и расположение, наличие примесей и микродефектов, характер предшествующей обработки) позволяет оценивать механические свойства материала и его химический состав.

2. Подготовка микрошлифа

В зависимости от задач исследования выбирают место вырезки образца: по требованиям ГОСТа, вблизи от плоскости излома и т.д. Затем его вырезают фрезой, ножовкой или резцом, не допуская значительного нагрева чтобы не изменить структуру.

При небольших размерах объекта (проволока, мелкие детали) или очень твёрдый материал - его заливают легкоплавким составом запрессовывают в пластмассу или используют струбицы.

Поверхность, подлежащую обработке шлифуют на станках либо вручную. Для тонкой обработки используют шлифовальную бумагу пяти-шести номеров от 12 до 4 (что соответствует приблизительно размеру зерна в сотых долях миллиметра) по ГОСТ 6456-82.

Шлифуя вручную, шлифовальную бумагу укладывают на ровную металлическую (пластмассовую, стеклянную) пластину и выравнивают поверхность образца возвратно-поступательными прямолинейными движениями. При каждой замене шлифбумаги (от грубой до мелкозернистой) образец поворачивают на 90 градусов. Новые менее глубокие риски будут наноситься поперек предыдущих, что повышает качество обработки. После шлифования шлиф промывают водой или удаляют оставшиеся абразивные частицы воздухом.

Затем полируют шлифованную плоскость электрохимическим, химико-механическим или механическим способом. В последнем случае - на станке с вращающимся диском, на котором натянут полировальный материал (бархат, фетр, сукно) с нанесённым полирующим материалом (алмазная паста с микропорошком или паста ГОИ). При достижении зеркального блеска полирование прекращают и промывают шлиф водой, а если он быстро окисляется, то дополнительно - спиртом и просушивают фильтровальной бумагой или сжатым воздухом. Тщательно подготовленный микрошлиф не имеет царапин, рисок, вырывов частиц при наблюдении под микроскопом. Недостаток механической обработки - образование наклёпанного поверхностного слоя глубиной, превышающей размер абразивных частиц в 10-15 раз.

3. Изучение микроструктуры. Травление шлифа

Рекомендуется начинать изучение микроструктуры на нетравленном-полированном шлифе. Под микроскопом он имеет вид светлого круга, часто с небольшими тёмными участками (серого, жёлтого, чёрного цвета). Эти участки представляют собой оксиды (точечные и строчечные), силикаты, сульфиды, нитриды (неметаллические включения); кроме них могут проявляться структурные составляющие сплава (например, графитные фазы в чугунах), дефекты структуры: шлаковые включения, микропоры (их края при перемещении шлифа вверх-вниз, т.е. отклонении от фокусного расстояния, смещаются).

Для травления сталей и чугунов применяют 1-5 % раствор азотной кислоты в этиловом (метиловом) спирте. Микрошлиф полированной поверхностью погружают в раствор или тампоном наносят раствор на указанную поверхность. Выдержка - от нескольких секунд до минуты. Поверхность должна стать светло-матовой, если она очень тёмная, то шлиф снова полируют и травят. Затем образец промывают водой (спиртом) и просушивают фильтровальной бумагой.

Под микроскопом на микрошлифе будут отчётливо видны зёрна. Даже однородные зёрна чистого металла или твёрдого раствора на поверхности микрошлифа из-за неодинаковости кристаллографических плоскостей, и следовательно, из-за неодинаковой травимости будут по разному отражать световые лучи и различаться (рис. 1).

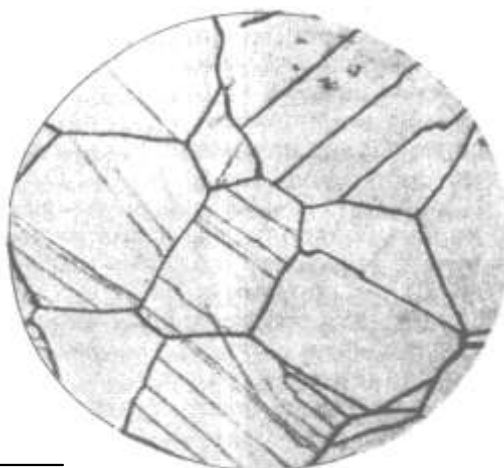


Рис 1. Микроструктура хромоникелевой нержавеющей стали (травление царской водкой); зерна аустенита. $\times 500$

По границам зёрен сосредоточены примеси, травимость их повышена и это усиливает контрастность изображения. В многофазных сплавах на шлифе образуется рельеф и возникает теневая картина (рис. 2).

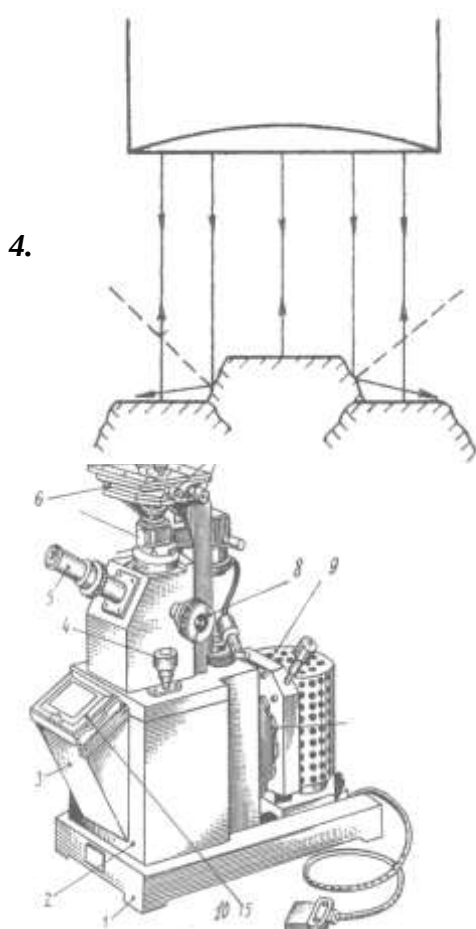


Рис.2. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа

Металлографический микроскоп МИМ-7

Микроскоп (рис.3) состоит из трёх главных систем: механической, оптической и осветительной. В механическую систему входят: корпус, макровинт, предметный столик и другие детали.

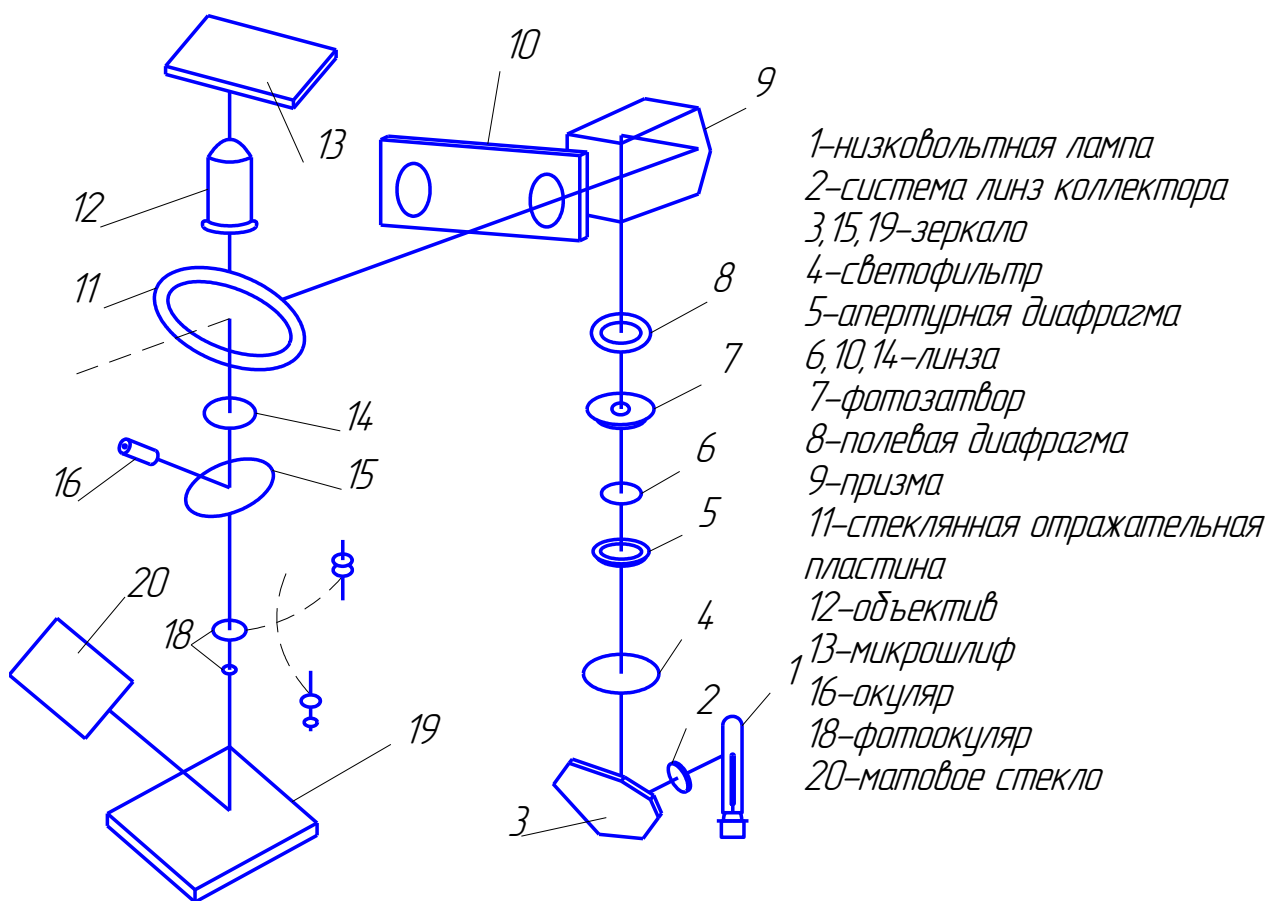
Рис. 3 Общий вид микроскопа МИМ-7:

- 1 — основание; 2 — корпус; 3 — фотокамера; 4 — микрометрический винт;
 5 — визуальный тубус с окуляром; 6 — предметный столик;
 7 — винты перемещения столика; 8 — макрометрический винт;
 9 — осветитель; 10 — рамка с матовым стеклом

Оптическая система включает (рис. 4) объектив и окуляр, а также вспомогательные элементы: призму, линзу, зеркала. Осветительная система: электролампа (17 В), линзы, светофильтры, диафрагмы.

Назначение этой системы- получение достаточно мощного и тонкого луча света за счет линз и диафрагм. Отраженный от микрошлифа луч несет информацию о микроструктуре. Соответствующее изображение увеличивается объективом, а затем окуляром. Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива и окуляра и составляет для МИМ-7 от 60 до 1440 раз.

Изучение шлифа позволяет выявить много особенностей микроструктуры. Можно измерить с помощью окуляра- микрометра (окуляра со шкалой-линейкой) размеры зерна, дефектов строения. Для равновесной структуры характерна полиэдрическая (многогранная) форма зёрен, пластически деформированный металл имеет вытянутые зерна и даже волокнистое строение, а в литой структуре имеются дендриты (рис. 5).



Оптическая схема микроскопа МИМ-7

Рис. 4. Оптическая схема микроскопа МИМ-7.



Рис.5. Макростроение слитка (поперечный разрез)
низкоуглеродистой стали (0,1 % C, 4 % Si)

При перегреве металла зерна укрупняются, а механические свойства ухудшаются. Многофазные сплавы могут иметь сложную структуру. (рис. 3,7,10 лаб.раб 7).

Работая с микрошлифом можно оценить доли структурных составляющих в сплаве, примерное содержание углерода в сталях и т.д.

Работа с микроскопом. Шлиф устанавливают обработанной поверхностью на предметный столик, убедившись, что луч попадает в отверстие столика. Затем, передвигая шлиф со столиком макрометрическим винтом, наводят его на фокус и стопорят винт. Точное фокусирование достигается микрометрическим винтом. Столик можно передвигать в двух направлениях в горизонтальной плоскости с помощью специальных винтов и просматривать при этом микроструктуру, не изменяя фокусного расстояния.

При фотографировании структуры тубус с окуляром и зеркалом выдвигают из корпуса микроскопа. Тогда световой луч проходит через сменный фотоокуляр и отражается от зеркала на матовое стекло или фотопластинку. Экспонирование осуществляют с помощью фотозатвора.

Форма отчета

Лабораторная работа 2 Микроанализ металлов и сплавов

1. Понятие о микро-, макро- и тонком анализе вещества и соответствующих средствах исследования.
2. Технология приготовления микрошлифа.
3. Рисунки микроструктур: полированной и травлёной.
4. Краткие сведения об изученных структурах.
5. Оптическая схема микроскопа.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Построение и анализ диаграмм состояния сплавов»

2.3.1 Цель работы: Закрепление и углубление знаний по теории сплавов.

- 2.3.2 Задачи работы:** 1. Повторить материал о методике построения диаграмм состояния.
2. Построить диаграмму состояния сплавов по заданию.
3. Выполнить анализ диаграммы.
4. Составить отчет.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Планшет «Диаграмма состояния сплавов Fe-C»

2.1.4 Описание (ход) работы:

Сплавы получают сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами. Они обладают характерными свойствами, присущими металлическому строению вещества. Химические элементы, образующие сплав, называют **компонентами**. Сплав может состоять из двух или большего числа компонентов.

Для рассмотрения строения и превращений в сплавах введены понятия фаза и структура, широко используемые в металловедении.

Фазой называют однородную часть вещества, имеющую определенный состав, кристаллическое строение и свойства, отделенную от остальных частей поверхностью раздела.

Система – это совокупность сплавов данных компонентов А и В (система Au – Ag и т.п.) в отличие от сплава данной концентрации.

Под **структурой** понимают внутреннее строение: форма, размеры, характер взаимного расположения составляющих элементов.

Структурными составляющими сплава называют отдельные его части, содержащие фазы в строго определенном количественном соотношении.

В сплавах в зависимости от взаимодействия компонентов в процессе кристаллизации возможно образование твердых растворов, химических соединений, эвтектик, смесей фаз.

Эвтектикой называют структурную составляющую фиксированного химического состава, кристаллизующуюся из жидкости при постоянной температуре и имеющую самую низкую для данной системы температуру плавления.

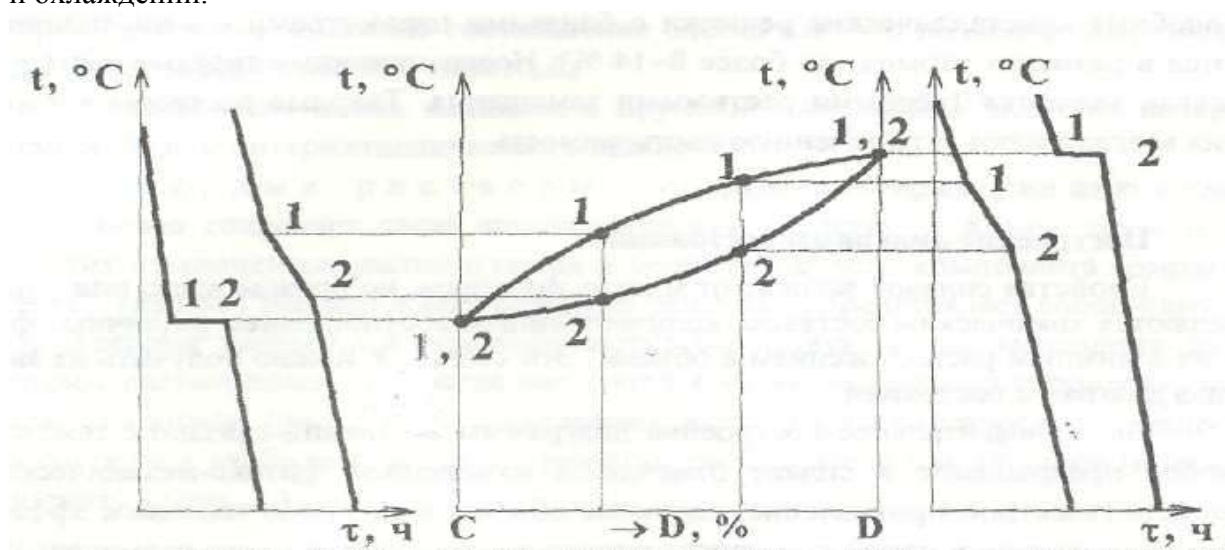
Свойства сплавов зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются химическим составом, количественным соотношением различных фаз и их взаимным расположением в объеме. Эти сведения можно получить из анализа диаграмм состояний. Экспериментальное построение диаграммы состояния основано на том, что любое превращение в сплаве отмечается изменением физико-механических свойств (электросопротивление, удельные объемы и др.) либо тепловым эффектом. Для изучения процессов кристаллизации применяется термический метод, основанный на регистрации тепловых эффектов на графиках охлаждения сплава в координатах «температура - время». По точкам перегиба или площадкам на этих графиках определяют критические температуры, соответствующие определенным фазовым превращениям. Для фиксации превращений в твердом состоянии, сопровождаемых малыми тепловыми эффектами, обычно наблюдают за изменением какой-либо физической характеристики, наиболее чувствительной к фазовым превращениям (электрические, магнитные и другие свойства).

Диаграммы состояния строят в координатах «температура - химический состав сплава». На горизонтальной оси диаграммы (рис. 1) левая крайняя точка соответствует 100% содержанию компонента С. Процентное содержание компонента D откладывают по этой оси слева направо. Таким образом, каждая точка на горизонтальной оси соответствует сплаву с определенным соотношением компонентов С и D.

Пример построения термическим методом одной из простейших диаграмм состояния сплавов, образованных компонентами С и D, представлен на рис. 1. Для этого берут серию сплавов с различным соотношением компонентов С и D. Для каждого сплава экспериментально определяют критические точки, т.е. температуры фазовых превращений.

Полученные температуры переносят на вертикальные линии диаграммы в соответствии с химическим составом сплавов. Соединяя критические точки, получают линии диаграммы состояния.

Линии на диаграмме состояний отражают процессы, происходящие в сплавах при нагреве и охлаждении.



100% C 70% C 30% D 70% D 100% D 70% D 100% D

Рис. 1. Построение диаграммы состояния
(неограниченный твердый раствор) термическим методом

На диаграмме верхнюю линию, как геометрическое место критических точек 1, при которых начинается процесс кристаллизации, называют линией **ликвидус**. Выше линии ликвидус сплав находится в жидком состоянии. Нижнюю линию, как геометрическое место критических точек 2, при которых заканчивается процесс кристаллизации, называют линией **солидус**. Ниже линии солидус сплав находится в твердом состоянии. Между этими линиями часть сплава существует в жидком состоянии, а часть - в твердом.

Положение линий диаграммы зависит от скорости охлаждения сплавов, поэтому температуры критических точек при построении диаграмм состояний определяют при очень медленных скоростях охлаждения, чтобы обеспечить прохождение всех процессов диффузии. Полученные таким образом диаграммы называют **равновесными**.

Итак, диаграммы состояния отражают все фазовые превращения в данной системе сплавов от комнатной температуры до плавления. Зная диаграмму состояний, можно представить полную картину формирования структуры сплава любого состава, определить оптимальную температуру разливки сплава для получения литых изделий, оценить жидкотекучесть выбранного сплава и возможность образования химической неоднородности, сделать заключение о технологичности и возможностях обработки давлением. Диаграмма состояния позволяет определить режимы термической обработки данного сплава.

Таблица. Характеристики металлов и сплавов

Вариант	Компоненты сплава и их концентрация, %	Температура критических точек, °C	Тип кристаллической решетки и ее параметры, нм
1.	2.	3.	4.

1.	Серебро - золото				Ag – Г.ц.к. a = 0,40862
	100	0	960		
	80	20	994	977	Au - Г.ц.к. a = 0,40785
	60	40	1015	1015	
	40	60	996		
	20	80	1033	1016	
	0	100	1050	1036	
			1063		
2.	Алюминий – медь				AL – Г.ц.к. a = 0,40496
	100	0	660		
	99,7	0,3	657	650	100
	98	2	650	610	400
	96	4	645	570	500
	94,3	5,7	640	548	
	85	15	620	548	Вторая фаза CuAl ₂
	75	25	580	548	
	67	33	548		
	60	40	585	548	
	55	45	600	548	
3.	Алюминий – кремний				
	99,95	0,05	659	200	
	99,75	0,25	650	640	400
	99,25	0,75	645	615	500
	98,75	1,25	642	595	550
	98,35	1,65	640	577	Si - полупроводник Решетка типа алмаза
	97,50	2,50	635	577	
	96,00	4,00	625	577	
4.	Алюминий – кремний				
	100	0	660	100	
	98,35	1,65	640	577	
	95,0	5,0	620	577	
	88,3	11,7	577		
	80	20	690	577	
	60	40	950	577	
	40	60	1150	577	
	20	80	1300	577	
	0	100	1414		
5.	Золото – палладий				Pd – Г.ц.к. a = 0,38824
	100	0	1063		
	90	10	1190	1100	
	80	20	1265	1175	
	60	40	1380	1285	
	40	60	1450	1350	
	20	80	1475	1380	
	10	90	1500	1450	
	0	100	1554		
6.	Золото – сурьма				Sb - ромбоэдрическая
	100	0	1063	200	

	98	2	1010	975	380	(тригональная). $a = 0,45064$ $\alpha = 57,1^0$
	96	4	950	700	380	
	90	10	800	380		
	80	20	600	380		
	68	32	380			
	60	40	415	380		
	40	60	470	380		
7.	Золото – кремний					
	100	0	1063			
	90	10	900	370		
	85	15	690	370		
	82	18	370			
	70	30	700	370		
	50	50	1050	370		
	30	70	1230	370		
	10	90	1360	370		
	0	100	1414			
8.	Висмут – сурьма					Bi – тригональная
	100	0	271			$a = 0,47457$
	90	10	340	280		$\alpha = 57^0 14^1$
	70	30	450	315		
	40	60	560	400		
	10	90	620	540		
	0	100	630			
9/	Медь – никель					Ni – Г.ц.к.
	100	0	1083			$a = 0,3524$
	80	20	1210	1160		
	60	40	1285	1215		
	40	60	1350	1280		
	20	80	1410	1365		
	0	100	1453			
10.	Ртуть – таллий					Hg – тригональная
	100	0	-39			$a = 0,3005$
	95	5	-50	-59		$\alpha = 70,5$
	91,5	8,5	-59			Tl – Г.п.у.
	85	15	-30	-59		$a = 0,34496$
	78	22	-3	-59	-100	$\alpha = 0,55137$
	77	23	0	-40		
	71	29	15			
11.	Свинец – сурьма					Pb – Г.ц.к.
	100	0	327			
	95	5	300	246		
	90	10	260	246		$a = 0,495$
	80	20	280	246		
	60	40	395	246		
	20	80	570	246		
	0	100	631			
12.	Свинец – олово					Sn – тетрагональная
	100	0	327			объемноцентрированная
	95	5	320	280	25	(при $t > 13^0 \text{ C}$),
	90	10	310	250	100	$a = 0,58312$
	81	19	290	183		

	60	40	240	183	$c = 0,31814$
	38	62	183		
	20	80	210	183	
	3	97	230	183	
	0	100	232	100	
13.	Олово – цинк				
	100	0	232		Zn – Г.п.у.
	95	5	210	198	
	91	9	198	198	$a = 0,2665$
	60	40	325	198	$c = 0,4947$
	30	70	400	198	
	0	100	418		
14.	Вольфрам – молибден				
	100	0	3400		W – о.ц.к.
	80	20	3310	3210	$a = 0,3165$
	60	40	3180	3040	
	40	60	3010	2880	Mo – о.ц.к.
	20	80	2830	2740	$a = 0,3146$
	0	100	2625		
15.	Вольфрам – ванадий				
	100	0	3400		V – о.ц.к.
	90	10	3280	2980	$a = 0,3028$
	80	20	3160	2780	
	60	40	2890	2480	
	40	60	2600	2260	
	20	80	2260	2080	
	0	100	1919		

Форма отчета

Лабораторная работа 3 Построение и анализ диаграмм состояния сплавов

1. Раскрыть понятия: сплав, компоненты, фаза.
2. Кратко изложить сущность термического метода построения диаграмм состояния.
3. Построить диаграмму по варианту задания, обозначить линии диаграммы и указать получаемые структуры. Изобразить кристаллические решетки компонентов.
4. Выполнить анализ диаграммы: указать к какому типу она относится, охарактеризовать образующиеся структурные составляющие.

Работу выполнил

Работу принял

2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Макроанализ металлов и сплавов»

2.4.1 Цель работы: Изучение методики макроанализа металлов и сплавов

2.4.2 Задачи работы:

1. Изучить теоретические вопросы.
2. Описать основные методы исследования макроструктуры.
3. Ознакомиться с изломами и макрошлифами.
4. Составить отчёт.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Увеличительная лупа
2. Образцы изломов

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. *Общие сведения*

Макроанализ – исследование строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз). Наблюдаемая при этом структура называется **макроструктурой**.

Макроанализ позволяет оценить качество материала, выявить наличие в нем макродефектов (поры, трещины, газовые пузыри); характер предшествующей обработки материала (литьё, сварка, обработка давлением, резание, наплавка, термическая и химико–термическая обработка); структурную и химическую неоднородность; волокнистость; трещины и характер разрушения изделия.

Макродефекты могут располагаться на поверхности изделия (трещины, усадочные пустоты, надрывы и др.) и внутри. Внутренние дефекты и особенности структуры выявляют при изучении изломов. Кроме того существует второй метод анализа метод макрошлифов.

Макрошлиф – это образец с плоской шлифованной и протравленной поверхностью, вырезанный из исследуемого участка детали или заготовки. Его получают шлифованием (как микрошлиф) с последующим поверхностным или глубоким травлением (после промывания и сушки) специальными реактивами.

2. *Метод изломов*

Излом – поверхность, образующаяся после разрушения образца или изделия.

Виды излома. Теоретически существуют два основных вида излома: хрупкий и пластичный (Рис. 1). На практике различают: хрупкий, вязкий, смешанный и усталостный изломы.

Хрупкий (кристаллический) излом характеризуется наличием на поверхности блестящих фасеток (элементарных плоскостей излома). Т.к. разрушение протекает без заметной пластической деформации, то форма и размеры зерен не искажены. Разрушение может происходить по границам

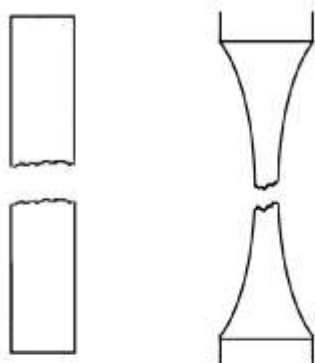


Рис. 1 Хрупкий и пластичный изломы образцов

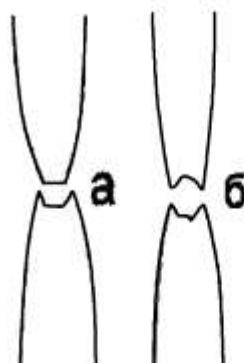


Рис. 2 Типы вязкого разрушения:
а - чашечка с конусом;
б - двойная чашечка

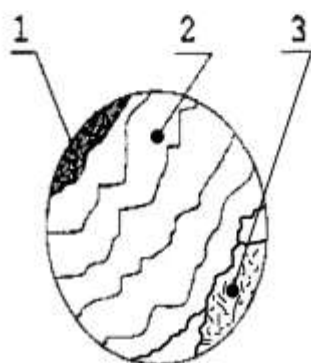


Рис. 3 Усталостный излом:
1 - очаг разрушения;
2 - зона усталости;
3 - зона долома



Рис. 4 Макроструктура науглероженного зубчатого колеса



Рис. 5 Химическая неоднородность сварного соединения



Рис. 6 Ликвация серы в стали

зерен, когда они ослаблены – это межкристаллический излом, либо через зерна – транскристаллический излом. Разновидности хрупкого излома:

Нафталинистый – транскристаллический с крупным, тусклым (бесцветным) зерном. Наблюдается в перегретых легированных сталях.

Камневидный излом характерен для крупнозернистых структур, бывает преимущественно межкристаллическим. Причина образования – перераспределение примесей при перегреве металла с выделением их в приграничных участках.

Фарфоровидный излом – матовый, мелкозернистый. Характерен для правильно закалённой стали.

Вязкий (волоконистый) излом имеет бугристо – сглаженный рельеф со следами местной пластической деформации на поверхности. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.

Различают два типа вязкого разрушения образцов: ”чашечка с конусом” и ”двойная чашечка с конусом”. Обычно изломы бывают смешанными, когда на поверхности наблюдаются участки вязкого и хрупкого разрушения.

При этом середина излома имеет волокнистую поверхность и расположена перпендикулярно к оси образца, а боковые грани – коническая поверхность среза.

Усталостный излом образуется в результате длительного воздействия циклически изменяющихся напряжений. Излом состоит из очага разрушения (места образования микротрещины) и двух зон – усталости и долома. Очаг разрушения примыкает к наружной поверхности и имеет небольшие размеры и гладкую притёртую поверхность. Зона усталости с мелкозернистым изломом и характерными кольцевыми бороздками, свидетельствующими о скачкообразном развитии трещины. Зона долома со структурой, характерной для излома с однократным нагружением.

Изломы металлов могут существенно отличаться по цвету. Так стали и белые чугуны, в которых весь углерод связан в цементите, имеют светло – серый излом. У графитизированных сплавов – серый или чёрный излом.

Изучение изломов позволяет выявить: особенности макроструктуры – размеры зерен, характер предшествующий обработки давлением; особенности литья (скорость и равномерность охлаждения сплава); особенности термической обработки; дефекты внутреннего строения.

3. Метод макрошлифов

Этот метод позволяет выявить форму и расположение зерен в литом металле; текстуру (определенную ориентацию зерен) в поковках и штамповках; дефекты строения; химическую неоднородность металла.

Неоднородность сплава

Структурная – например, в стали, закалённой токами высокой частоты. При этом в тонком поверхностном слое будет мелкозернистая структура закалки, а в остальном объеме – исходная структура с более крупным зерном.

Химическая неоднородность изделия, подвергнутого химико-термической обработке, при которой поверхностный слой насыщается каким – то химическим элементом; наплавленного изделия; сварного соединения.

Ликвация – химическая неоднородность сплава, возникающая при его производстве. Так, при кристаллизации легкоплавкие элементы и неметаллические включения (сульфиды, фосфиды, оксиды) оттесняются дендритами, всплывают вверх и таким образом концентрируются в определенных зонах. Вредные примеси сера, и фосфор оказывают существенное влияние на строение и свойства металла, поэтому важно знать их распределение.

Ликвацию серы в стали или чугуне можно оценить методом Баумана: бромосерябреную фотобумагу смачивают раствором серной кислоты и просушивают, затем накладывают её на микрошлиф и за 2-3 мин. получают отпечаток, закрепляют его в водном растворе

гипосульфита. Темно-коричневый рисунок Ag_2S на бумаге фиксирует распределение скоплений сульфида на макрошлифе.

Для выявления *дендритности* строения литых и текстуры деформированных металлов макрошлифы подвергают глубокому травлению более активными реактивами. При этом могут проявляться даже внутренние дефекты (поры, раковины, ликвация, трещины и др.). Текстура возникает при обработке металла давлением, ковке, штамповке, прокатке и др. При деформации дезориентированные дендриты поворачиваются и вытягиваются в полосы, образуя полосчатость структуры. Неметаллические включения, расположенные по границам зерен, вытягиваются образуя волокнистость. Это приводит к неодинаковости (анизотропии) свойств металла: пластичность, ударная вязкость, прочность вдоль волокон выше. Поэтому ответственные детали, особенно работающие при высоких динамических нагрузках (коленчатые валы, шатуны, клапаны, шестерни, крюки), изготавливают так, чтобы волокна в них не перерезались, а располагались в направлении действия рабочих напряжений.

Задания (к пункту 3 отчета о работе)

1. Зарисовать схематично образец с изломом и кратко описать особенности макроструктуры.
2. Дать краткое пояснение к рисунку..., отражающее особенности макроструктуры.



Рис.7. Макроструктура слитка меди и деформированной стали

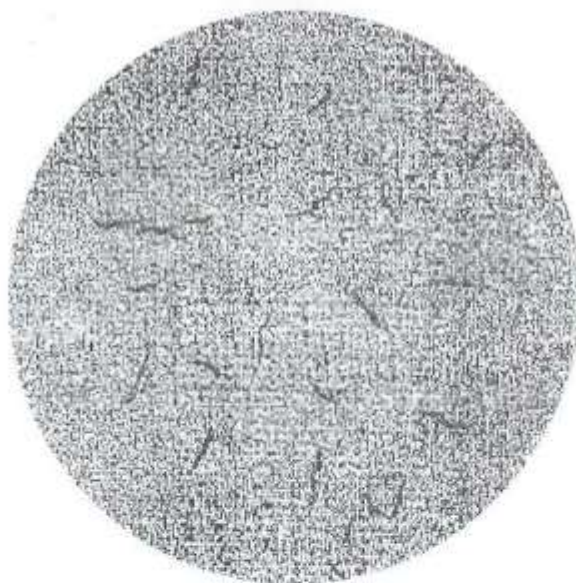


Рис. 8. Флокены в хромоникелевой стали

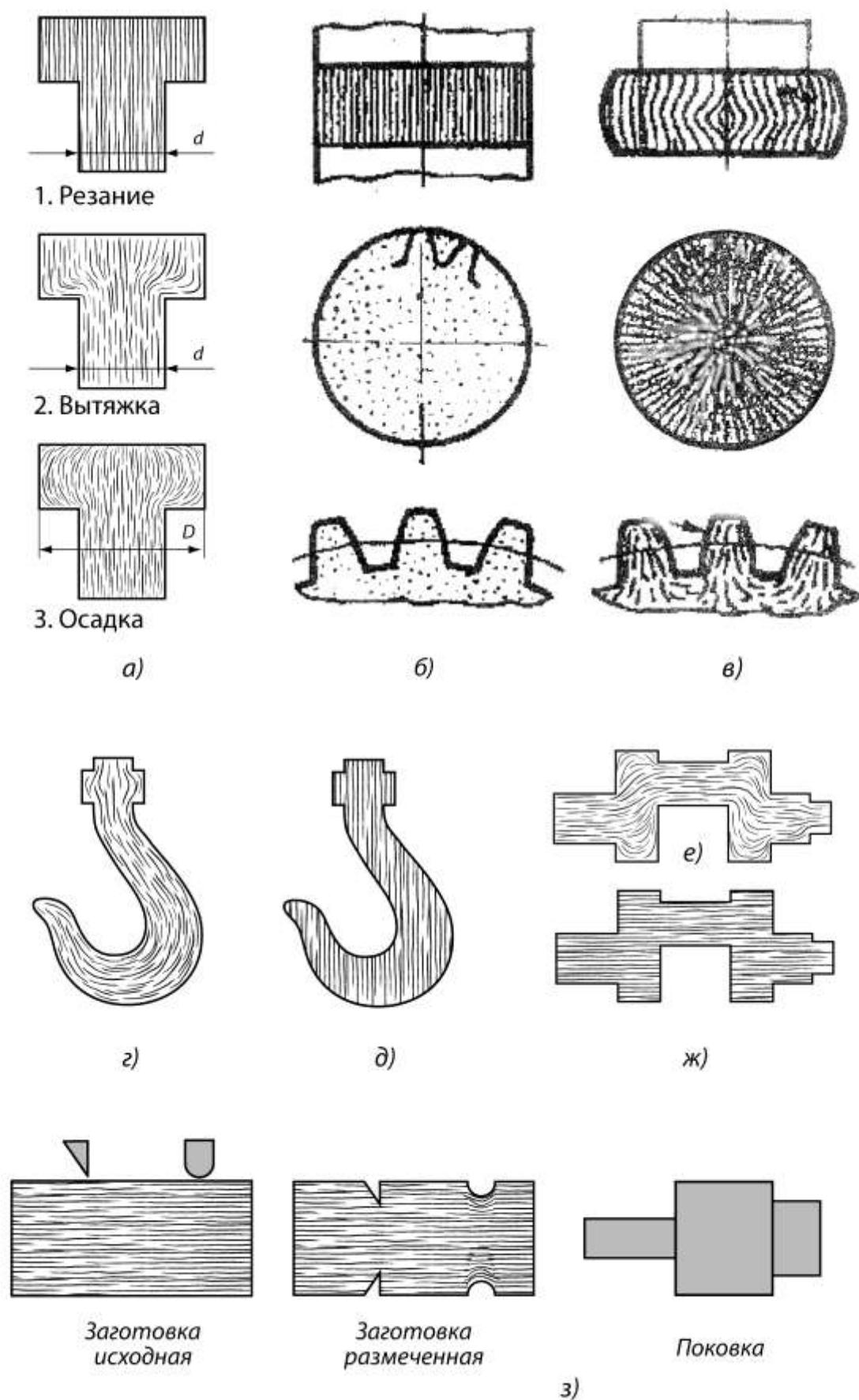


Рис. 9. Волокнистая структура изделий

Вариант	№ рисунка по методичке	Вариант	№ рисунка по методичке
1	4	8	9б, 9в
2	5	9	9г, 9д
3	6	10	9з
4	7а	11	9е, 9ж
5	7б	12	9а (2 и 3)
6	8	13	9г, 9ж
7	9а	14	9д, 9е

Форма отчета

Лабораторная работа 4 Макроанализ металлов и сплавов

1. Сущность методов изломов и макрошлифов.
2. Дать схемы хрупкого, вязкого и усталостного изломов.
3. Выполнить задания 1 и 2 в соответствии с вариантом.

Литература

1. Практикум по ТКМ и материаловедению
/ Под ред. Некрасова С.С.- М.: Агропромиздат, 1991.
2. Металловедение / Самохоцкий А.И. и др.- М.: Металлургия, 1990.
3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г.
- Металловедение. – М.: Металлургия, 1990.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.3 Лабораторная работа №5 (2 часа).

Тема: «Анализ диаграммы состояния сплавов железо – цементит»

2.5.1 Цель работы: Изучение диаграммы состояния железо-углеродистых сплавов; превращений, происходящих с изменением температуры; определение фазового и структурного состава сплавов.

2.5.2 Задачи работы:

1. Изучить теоретические основы: компоненты и фазы, превращения железа и железо-углеродистых сплавов при охлаждении.
2. Изучить свойства фаз и структур по таблице 2.
3. Построить диаграмму Fe-Fe₃C и кривые охлаждения для заданных сплавов.
4. У кривой охлаждения первого сплава указать фазовый состав, у кривой второго сплава – структурные составляющие.
5. Для первого сплава вычислить соотношения (в %) фаз, для второго – структурных составляющих при заданной температуре.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Планшет «Диаграмма состояния сплавов Fe-C»

2.1.4 Описание (ход) работы:

Таблица 1. Состав сплавов по вариантам заданий

Вариант	Содержание углерода, %	T, °C	Вариант	Содержание углерода, %	T, °C
1	1. 0,01 2. 5,5	200 300	9	1. 4,3 2. 1,0	600 1400
2	1. 1,5 2. 3,8	1300 900	10	1. 2,3 2. 0,01	1300 100
3	1. 0,2 2. 2,8	500 300	11	1. 5,0 2. 1,2	1000 400
4	1. 1,7 2. 3,0	750 1000	12	1. 4,8 2. 1,5	1100 800
5	1. 0,4 2. 2,5	700 900	13	1. 0,4 2. 3,0	770 1200
6	1. 0,2 2. 4,3	750 1000	14	1. 2,0 2. 6,0	900 1100
7	1. 0,8 2. 3,5	700 400	15	1. 5,7 2. 0,015	1300 150
8	1. 1,0 2. 5,0	600 900	16	1. 1,1 2. 4,0	750 400

1. Общие положения .

Диаграмма состояния системы железо – углерод имеет очень большое значение, т.к. железоуглеродистые сплавы широко применяются в технике. Выбор нужного сплава, режимов термической, горячей и механической обработки опираются на критические линии диаграммы.

Железоуглеродистые сплавы представлены двумя диаграммами: стабильной- Fe-C и метастабильной- Fe- Fe₃C. Последняя является менее устойчивой потому, что цементит при высокой температуре распадается на железо и графит- переходит в более стабильное состояние.

Диаграммы изучаемых сплавов обычно совмещают, шкалу концентраций представляют двойной (по C и Fe₃C), линии стабильной диаграммы выполняют пунктиром, а метастабильной – сплошными, поскольку она практически более значима.

2. Компоненты, фазы и структуры в системе Fe- Fe₃C

Компонентами сплавов являются железо и углерод. Оба полиморфные. Железо имеет две основные (всего 4) модификации: от температуры плавления 1539 до 911 °C – γ с ячейкой ГЦК и ниже - α , имеющей ОЦК ячейку с периодом примерно в 1,3 раза меньшим. Поэтому поры (промежутки) в решетке ОЦК небольшие и меньше растворимость углерода в ней. ГЦК решётка более компактна, поэтому при перестроении атомов Fe _{α} в Fe _{γ} объём железа примерно на 1 % уменьшается. Но растворимость углерода в решётке ГЦК больше, чем в ОЦК примерно в 100 раз (из-за большей поры в центре куба).

Углерод имеет две модификации: графит и алмаз. Графит стабилен, имеет слоистую гексагональную решётку со слабой молекулярной связью между слоями, поэтому он очень непрочен.

Углерод может растворяться в железе, образовывать с ним химическое соединение – карбид Fe₃C и, наконец, может находиться в сплавах в свободном состоянии, в виде графита (в высокоуглеродистых сплавах).

Фазы (однородные части сплава) в системе Fe-C

Жидкость - вещество с близкой межатомной связью, равномерно распределёнными компонентами, обладающее текучестью.

Аустенит - твёрдый раствор внедрения углерода и других элементов в γ - железе с ограниченной растворимостью, достигающей 2,14 % С. Условное обозначение: А или Fe_γ (с).

Феррит - ограниченный твёрдый раствор внедрения углерода в α -железе: Ф или Fe_α (с).

Цементит – карбид железа Fe_3C , имеющий сложную ромбическую решётку и потому – очень твёрд (НВ 800) и хрупок. Обозначение Ц.

Графит – слоистая непрочная модификация углерода: Г.

Таблица 2. Механические свойства структурных составляющих системы Fe- Fe_3C

Структура	Тип соединения компоненто в или фаз	Концентрация углерода, %	Число фаз	Примерные показатели механических свойств			Общая оценка по механическим свойствам
				Гв, МПа	δ , %	НВ	
Сверхчистое железо	Химический элемент	0, (примесей <0,01)	1	50	70	60	Очень пластично, непрочно
Феррит	Твёрдый раствор углерода в α - железе	до 0,006 (при 20°C), до 0,02 (при 727°C)	1	300	40	90	Пластичен, непрочен
Аустенит	Твёрдый раствор углерода в γ - железе	до 2,14	1	600	60	200	Очень пластичен
Цементит	Химическое соединение Fe_3C	6,67	1	40	0	800	Очень твёрд и хрупок
Перлит	Механическая смесь Ф+Ц	0,80	2	600	20	200	Среднепрочен и пластичен
Ледебурит	Механическая смесь перлита и цементита	4,30	2	-	2	500	Твёрд и хрупок

Из таблицы 2 видно, что феррит – мягкая, пластичная фаза (НВ 80, $\delta \approx 40$ %, $\sigma_b \approx 300$ МПа). Аустенит более пластичен ($\delta \approx 60$ %, НВ 180-200), но прочнее феррита из-за большей растворимости углерода и больших искажений решётки.

Цементит очень твёрд, выше 210 °С немагнитен, плавится при 1260 °С.

Пластичные железоуглеродистые сплавы содержат до 2,14 % C⁰ –это стали, при большей концентрации углерода при наличии эвтектики сплавы хрупки, это-чугуны.

В железоуглеродистых сплавах из растворимых фаз при низких температурах имеются: феррит, цементит и графит. Кроме того, в состав сплавов входят смеси: **эвтектика** и **эвтектоид**. Рассмотрим их, изучая превращения в сплавах.

3. Диаграмма Fe – Fe₃C

На диаграмме (рис.1) крайние ординаты соответствуют чистому железу (при C=0) и цементиту (при C=6,67, по другим источникам 6,69%). Первая ордината является и шкалой температур. Абсцисса – шкала концентраций по C и Fe₃C.

Рассмотрим упрощённую диаграмму, детально верхний левый угол не рассматриваем.

Однофазные области содержат:

1. Жидкость (Ж); 2. Аустенит (А); 3. Феррит (Ф).

Остальные области и наклонённые линии – двухфазные. По три фазы имеются только на горизонталях ECF и PSK

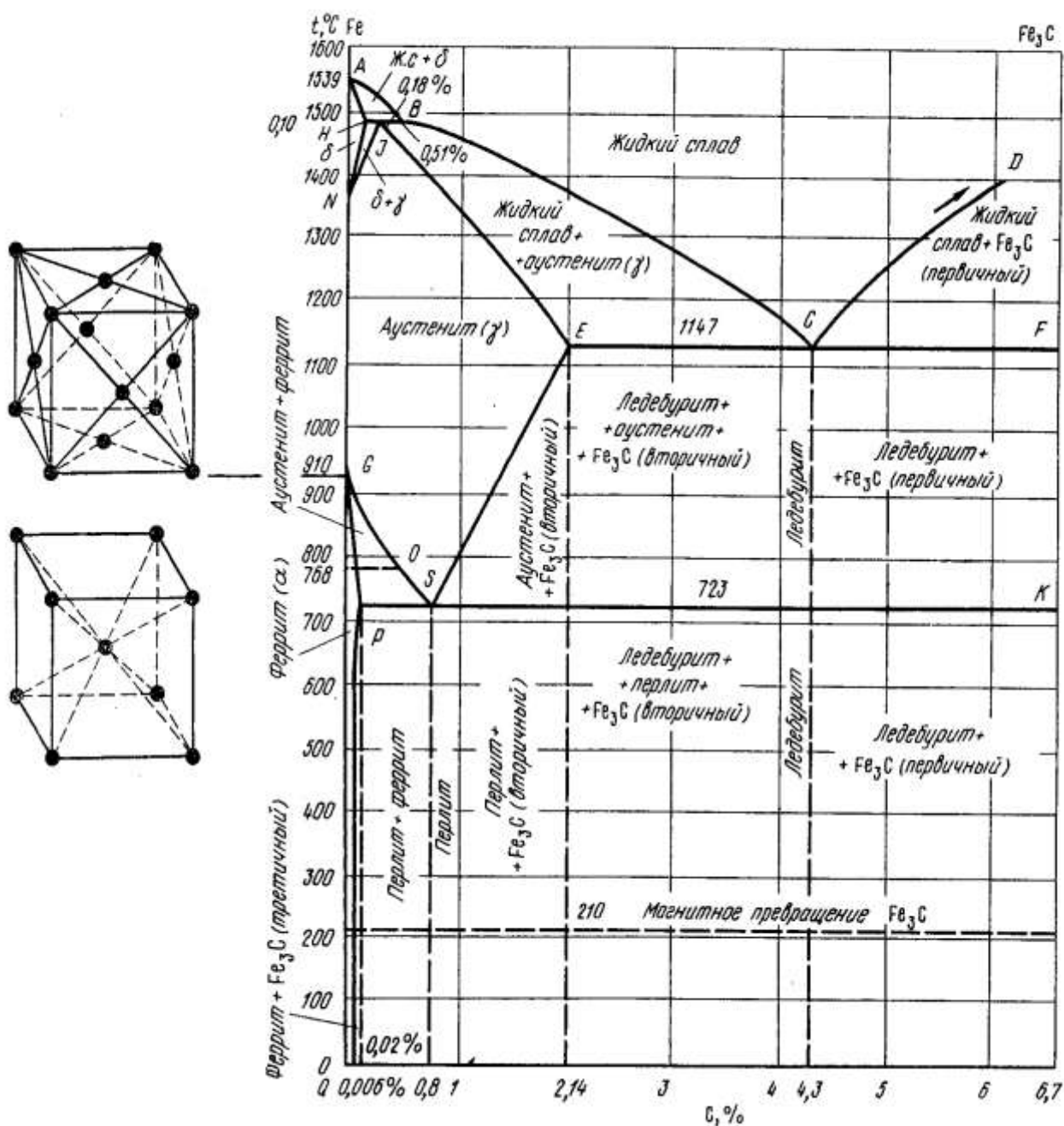


Рис.1 Диаграмма состояния сплавов Fe – Fe₃C

Линии:

ACD – ликвидус; AECF – солидус.

CD – первичного цементита, кристаллизующегося из жидкости;

ES – вторичного и PQ – третичного цементита, выделяющегося из аустенита и феррита, соответственно. Здесь и далее все процессы рассматриваются при охлаждении.

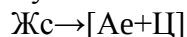
AC – линия начала, а линия

AE – окончания кристаллизации аустенита;

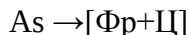
GS – линия начала, а

GP – окончания перекристаллизации аустенита в феррит.

ECF – линия изотермического превращения жидкости, имеющей концентрацию точки C (4,3 % C) в эвтектику



PSK – линия изотермического превращения аустенита, содержащего 0,8 % C, в эвтектоид (“сплав, похожий на эвтектику”)



Линия PSK – линия перлитного превращения, т.к. эвтектоид в системе Fe – C называют **перлитом**, а эвтектику – **ледебуритом**. Очень важная особенность строения этих смесей – мелкое зерно.

Пояснение к таблице 3.

Сплав, содержащий от 0,006 до 0,02 % C. Как и предыдущий сплав (см.п.1-4 табл.2) на AC начинает кристаллизоваться в аустенит, на AE кристаллизация заканчивается (Ж→А). Ниже AE до GS аустенит превращений не претерпевает, от GS до GP идёт перекристаллизация А→Ф.

Охлаждаясь от PQ феррит выделяет Ц111: растворимость углерода в феррите уменьшается, избыточный углерод выделяется из ячеек, диффундирует на границу зерна и там образует Fe₃C. На микрошлифе можно видеть немного мелких пластинок Ц111. В сплавах с большим содержанием он наслаивается на Ц11 и Ц1 и особо его не выделяют.

Для упрощения описаний, технологических карт и т.д. критическим точкам (точкам Чернова) и линиям диаграммы присвоены условные обозначения:

A0 – 210 °C – линия магнитного превращения цементита;

A1 – PSK;

A₂ – 768 °C – точка Кюри – потери ферромагнитности железа, выше оно парамагнитно;

A₃ – GS;

A₄ – N (1392 °C);

Acm – ES – линия выделения цементита вторичного.

Таблица 3. Превращения в железоуглеродистых сплавах при охлаждении

Сплавы	Температурн	Лини	Процесс (состояние)	Конечная

В интервале точек , или при содерж. С, %	В точке	ый интервал	я	Превращение, (==> вы – деление цементита)	Фаза (структура) стабильна, превращений нет	структура сплава
1	2	3	4	5	6	7
0 – 0,006 %С или от 0 до Q		1. AC – AE 2. AE – GS 3. GS – GP 4. от GP		Ж→А А→Ф	А Ф	Ф
0,006 – 0,02 Q - P		1 – 4 то же, от PQ		Ф==>Ц		Ф+Ц111
0,8	S			А→П		П
0,02 – 0,8 P - S		GS – PS от PS	PSK	А→Ф частично А остат. →П Ф==> Ц111		П+Ф+(Ц111)
0,8 – 2,14 S - E		SE - PSK	PSK	А==>Ц11 А0,8→П		П+Ц11
4,3	C	ECF – PSK Ниже PSK	PSK	Ж→Л1 Л1==> Ц11 Л1→Л11	Л11	Л11
4,3 – 6,67		CD - CF	ECF PSK	Ж→Ц1 Ж4,3→Л1 Л1→Л11		Л11+Ц1
2,14 – 4,3		AC – EC EC - PSK	ECF PSK	Ж→А Ж4,3→Л1 А==> Ц11 А0,8→П, Л1→Л11		Л11+П+Ц11
Условные обозначения: → - процесс превращения ==> - процесс выделения углерода (Ц).						

Из-за отклонения действительных точек от теоретических к условным обозначениям добавляется индекс г – при охлаждении и с – при нагревании. Например:

Ac3, Ac1, Ar1.

Усвоению материала способствуют построение кривых охлаждения конкретных сплавов и решение задач по вычислению количественного состава фаз и структурных составляющих в заданной точке диаграммы.

4. Построение кривых охлаждения сплавов

Кривые охлаждения можно построить с помощью правила фаз

$$C = K - \Phi + 1,$$

где: C – число степеней свободы;
 K – число компонентов;
 Φ – число фаз в сплаве.

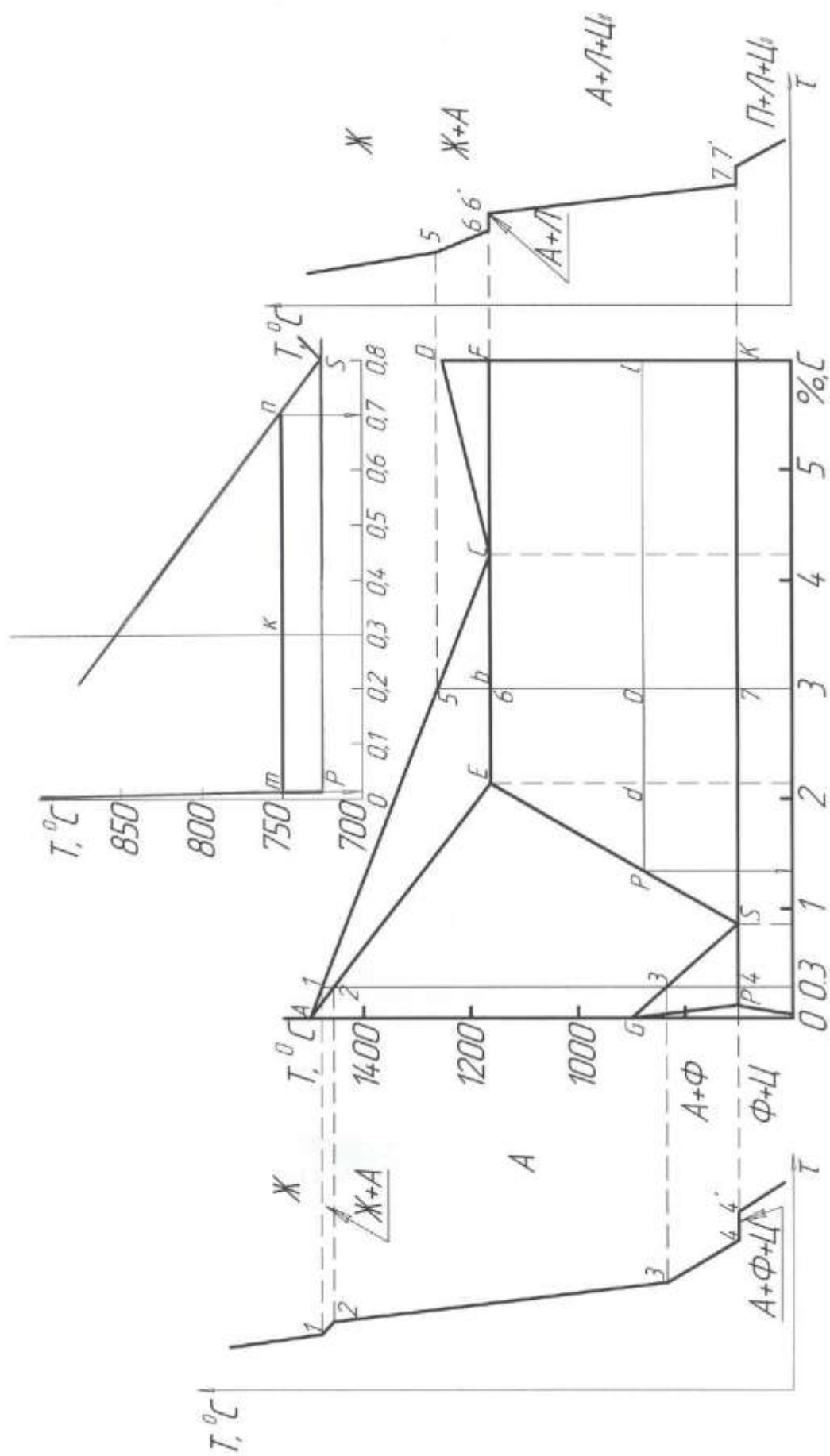


Рис.2 Диаграмма состояния и кривые охлаждения железоуглеродистых сплавов.

Для двухкомпонентной системы

$$C=3 - \Phi$$

Возможные значения C при числе фаз от 1 до 3:

$C=0$ – это означает, что фазы находятся в равновесии при $T=Const$, которая не может быть изменена до окончания процесса (уменьшения числа фаз). Итак, при $C=0$ – на кривой охлаждения будет горизонталь – температурная остановка.

$C=1$ – какая – то скорость охлаждения.

$C=2$ – более высокая скорость охлаждения.

Пример.

Для сплава, содержащего 3%С кривая представлена на рис.2 правее диаграммы.

Построение.

Выше точки 5 числа фаз в сплаве $\Phi=1$, $C=3-1=2$. Значит сплав охлаждается быстро (отрезок до точки 5 идёт круто).

В интервале точек 5 – 6 будет $\Phi=2$ (Ж и А).

$C=3-2=1$ – охлаждение замедляется из – за выделения скрытой теплоты кристаллизации. Линия идёт полого.

В точке 6: Ж→А+Ц, имеется три фазы, $C=0$ – температурная остановка (6 - 6').

В температурном интервале 6 – 7:

$\Phi=2$ (А и Ц), $C=1$ – замедленное охлаждение, как и ниже точки 7 (Ф и Ц).

Линия пологая.

В точке 7: $\Phi=3$, $C=0$, температурная остановка. Здесь идёт образование двух фаз одновременно [А→П(Ф+Ц)] и скрытая теплота выделяется интенсивно. Поэтому охлаждение приостанавливается.

5. Решение задач по правилу отрезков

Задание 1.

Какие фазы имеются в точке К и какова концентрация углерода в них?

Для точки К (сплав с 0,3 % С при $T=750\text{ }^{\circ}\text{C}$), представленной на рис.2 можно ответить на ряд вопросов, проведя через данную точку горизонталь до пересечения с границами данной области (с ближайшими основными линиями диаграммы).

Полученные точки пересечения **m** и **n** лежат на границах однофазных областей: **Ф** и **А**. Значит в точке К будут именно эти фазы

Первое положение правила отрезков

Проекция точек пересечения на ось концентрации показывают состав фаз.

Для нашего примера: проекция точки **n** показывает, что жидкость в токе К содержит 0,7 %С; проекция **m** показывает, что в феррите углерода меньше, чем в точке Р(0,02) т.е примерно 0,015 %С.

Задание 2.

Вычислить количественное соотношение фаз в точке К.

Второе положение правила отрезков

*Точка К делит линию **mn** (коноду) на два отрезка обратно пропорциональные долям фаз.*

Следовательно, отрезок **mk**, расположенный левее точки К, характеризует долю жидкости – фазы расположенной справа, т.е

$$Q_{\text{ж}} = \frac{mk}{mn} \times 100 \approx 48 \%$$

$$\text{Доля феррита} \quad Q_{\Phi} = \frac{kn}{mn} \times 100 = \frac{0,7 - 0,3}{0,7 - 0,015} \times 100$$

Задание 3.

Найти количественное соотношение структурных составляющих в точке О ($C=3,0\%$; $T=900\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В этих условиях сплав состоит из трёх составляющих: ледебурита, аустенита и цементита.

При двух неизвестных, например в заэвтектических чугунах, состоящих из Л и Ц, конода будет длиной от Л до Ц и по правилу отрезков, решение простое. В нашем случае решение будет поэтапным: сначала найдём долю ледебурита для точки *в*, где второй составляющей будет аустенит. Конода здесь ЕС – линия от аустенита до ледебурита.

$$Q_{\text{л}} = \frac{Eв}{ЕС} \times 100 = \frac{0,86}{2,16} \times 100 \approx 40\%$$

Ледебурит количественно при охлаждении не меняется, значит в точке О его будет 40 %.

Доля аустенита в точке *в* будет

$$Q_{\text{а}} = \frac{вС}{ЕС} \times 100 \approx 60\%$$

При охлаждении эта доля будет уменьшаться из – за выделения Ц11 по закону линии ЕС. Поэтому далее удобнее найти сколько образуется Ц11. Причём найдём долю его для точки *d*, т.к. здесь ещё будет только аустенит, ледебурита как в точке О не будет. Проекция *p*: $\approx 1,3\%$ С

Итак,
$$Q_{\text{ц}} (\text{для } d) = \frac{pd}{pl} \times 100 = \frac{2,14-1,3}{6,67-1,3} \times 100 \approx 15,6\%$$

От точки *в* охлаждалось 60 % А (не 100 как от точки Е) той же концентрации 2,14 %С.

Пересчет
$$Q_{\text{ц}} (\text{для } O) \text{ даст } Q_{\text{ц}} = \frac{15,6 \cdot 60}{100} = 9,4\%$$

Доля аустенита в точке О составит $60 - 9,4 = 50,6\%$.

Расчет структурного состава доэвтектических чугунов ниже А1 выполняют аналогично, только доли цементита и аустенита находят на линии PSK. Здесь аустенит превращается в перлит, а количественных изменений и здесь, и ниже не будет.

Форма отчета.

Лабораторная работа 5

Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe₃C

1. Привести определения фаз: А,Ф,Ц, а также эвтектики и эвтектоида.
2. Изобразить диаграмму Fe – Ц и построить кривые охлаждения для заданных сплавов (см рис.2). Указать фазовый состав для первого сплава и структурные составляющие – для второго.
3. Решить задачи по количественному составу сплавов.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №6 (2 часа).

Тема: «Структура железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии»

2.1.1 Цель работы. Изучение микроструктуры железоуглеродистых сплавов и её влияния на механические свойства.

2.1.2 Задачи работы:

1. Исследовать и зарисовать микроструктуры доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.
2. Определить содержание углерода в них.
3. Изучить влияние содержания углерода на механические свойства сталей и построить соответствующие графики.
4. Изобразить двойную диаграмму железоуглеродистых сплавов и описать кратко отличие метастабильной диаграммы от стабильной.
5. Изучить структуры белых чугунов.
6. Исследовать и зарисовать микроструктуры серого, ковкого, высокопрочного и белого чугуна эвтектектического состава.
7. Изучить способы получения и примерное назначение чугунов.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Микроскопы МИМ-6, МИМ-7;
2. полировальные машинки;
3. растворы кислот;
4. шлифовальная бумага

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Общая характеристика сплавов

Железоуглеродистые сплавы по содержанию углерода подразделяются на три группы: при концентрациях до 0,02 % - технически чистое железо;
от 0,02 до 2,14 – стали;
больше 2,14% - чугуны.

Диаграмму Fe–Fe₃C называют **равновесной** (условно-или метастабильной), а диаграмму Fe–C – **стабильной** (Рис. 1)

В соответствии с диаграммой Fe–C в интервале линий C¹ – D¹ и C¹ – F¹ из жидкости кристаллизуется графит первичный Г₁, на линии E¹ – C¹ – F¹ – графитная эвтектика, затем выделяется из аустенита Г₁₁, на P¹ – S¹ – K¹ аустенит превращается в графитный эвтектоид (Ф+Г). Для протекания этих процессов нужна чрезвычайно низкая скорость охлаждения сплава или особые условия (наличие графитизаторов и др.)

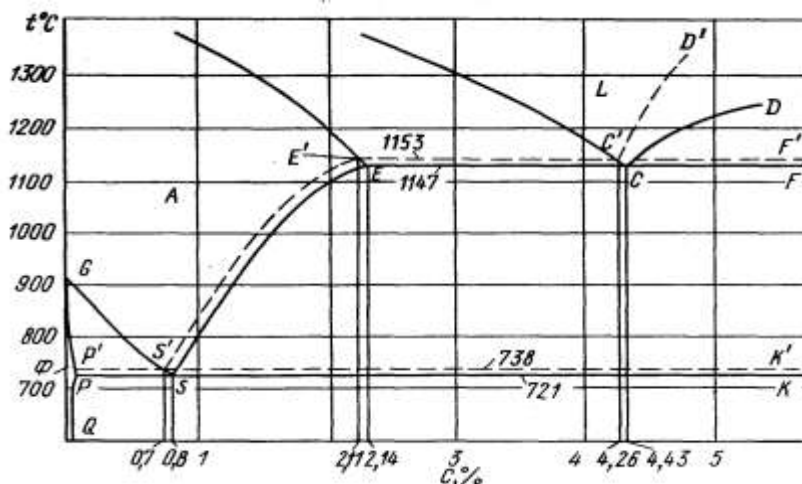


Рис.1. Диаграммы состояния Fe-Fe₃C (сплошные) и Fe-C (штриховые линии)

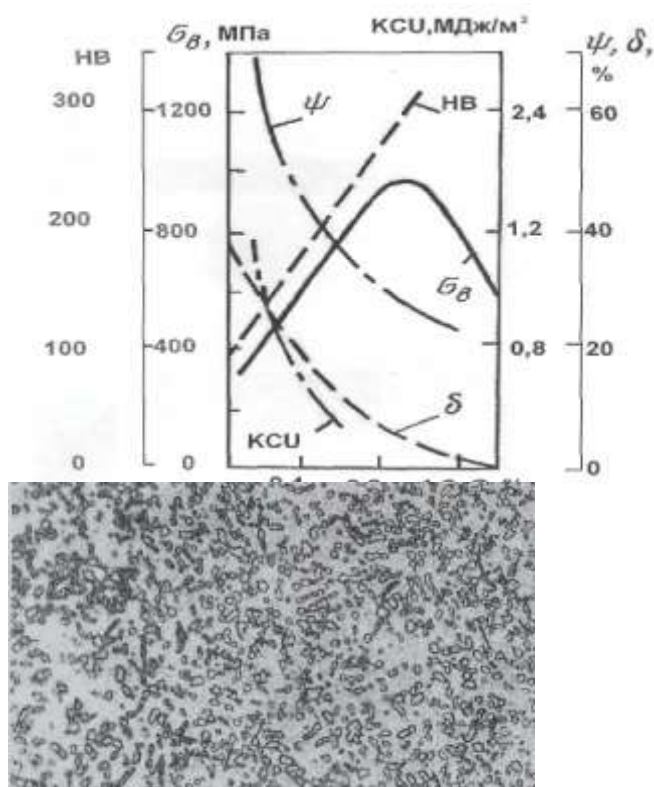
Метастабильной диаграмме соответствуют образование цементита при медленном (за 12 – 15 часов) охлаждении сплавов (от линии CD образуется Ц_1 ; от SEF – Ц_{11} и т.д.). Структура и свойства этих сплавов будут определяться содержанием углерода. Твердость сплавов изменяется линейно – примерно от 80 у феррита до HB 800 у цементита. Прочность, пластичность, ударная вязкость сталей меняются по зависимостям, представленным на рис.2. Свойства чугунов определяются их структурой.

Рис.2. Зависимости механических свойств сталей от содержания углерода

2. Микроструктуры сталей

Общей структурной составляющей углеродистых сталей является эвтектоид – **перлит**, образующийся на линии PSK и содержащий 0,8 % C. В сталях с содержанием углерода от 0,02 до 0,8 (доэвтектоидных) избыточной фазой являются феррит, а в заэвтектоидных – цементит.

Перлит – двухфазная структура, состоящая из феррита и цементита. Пластинчатый перлит



имеет тёмный цвет т.к. пластинки цементита более стойкие при травлении, чем феррит, выступают на поверхности шлифа и затемняют её. Зернистое строение цементита получают специальной термообработкой. Зернистый перлит (рис.3) выглядит светлым и имеет лучшие механические свойства. Перлит (только перлит) образуется из аустенита при 727^0C в точке S в виде мелкодисперсной смеси, отчётливо различимой при сравнительно больших увеличениях (от 500 раз).

Рис.3. Перлит зернистый

В доэвтектоидных сталях (рис.4) доля перлита с уменьшением концентрации углерода до 0,02 % снижается до нуля, а доля феррита повышается почти до 100 %.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно определить содержание углерода в ней, исходя из следующих положений:

- структурные составляющие: перлит и феррит;
- в феррите растворяется порядка 0,006 % и этим можно пренебречь, считаем, что весь углерод в перлите;

- плотность перлита и феррита близки.

Следовательно, содержание углерода в сплаве пропорционально содержанию перлита.

Пример 1. *Расчёт содержания углерода в доэвтектоидной стали.*

На микрошлифе площади, занимаемые перлитом и ферритом примерно одинаковы (~ по 50 %). Если в перлите содержится 0,8% С, то в сплаве будет углерода около 0,4 %.

Заэвтектоидная сталь (рис 5) имеет темные перлитные зерна с белой цементитной прослойкой (сеткой) по их границам. С увеличением содержания углерода толщина прослойки увеличивается.



Рис. 4. Сталь доэвтектоидная (перлит и феррит)



Рис.5. Сталь заэвтектоидная (перлит и цементит)

Пример 2. *Определить содержание углерода в заэвтектоидной стали.*

Примем, что цементит занимает 5% площади, а перлит 95. Тогда доля углерода в перлитной составляющей сплава будет

$$\tilde{O}_1 = 0,8 \cdot 95 / 100 = 0,76 \%$$

В цементитной сетке

$$6,67 - 100\%$$

$$X_2 - 5\% \text{ Отсюда } X_2 = 6,67 \cdot 5 / 100 \approx 0,33.$$

Всего в таком сплаве углерода содержится $X_1 + X_2 \approx 1,1\%$.

3. Микроструктура и свойства чугунов

Для чугунов в равновесном состоянии общей структурной составляющей является эвтектика-ледебурит.

Ледебурит (4,3%С) подобно перлиту – мелкокристаллическая смесь. В точке С образуется смесь А и Ц. При охлаждении на линии А₁ аустенит превращается в перлит и при комнатной температуре сплав представляет собой сплошную цементитную матрицу с размещёнными в ней мелкодисперсными колониями перлита (рис.6), доля которого менее 40%. Такое строение ледебурита обеспечивает очень высокую твердость и хрупкость его.

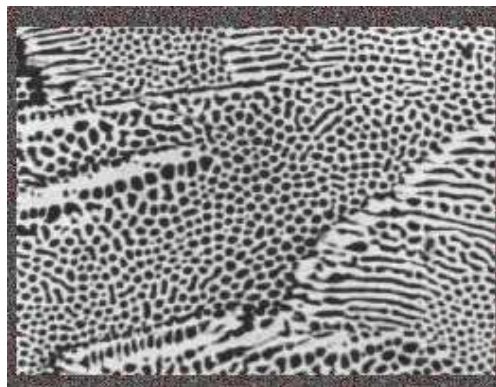


Рис.6. Ледебурит

Доэвтектические чугуны наряду с ледебуритом содержат перлит и Ц_{11} , а заэвтектические состоят из ледебурита и крупных кристаллов Ц_1 (рисунки 7 и 8). Все эти чугуны называют **белыми**, т.к. в них практически весь углерод связан в цементите и в изломе они матово-белые.

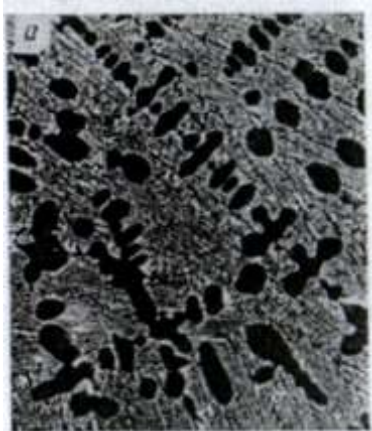


Рис.7. Чугун доэвтектический



Рис.8. Чугун заэвтектический

Белый чугун тверд и хрупок, почти не поддается обработке резанием и потому применяется как конструкционный материал весьма ограниченно. В основном белые чугуны переплавляют в сталь и используют в качестве литейных материалов.

Широко применяются как конструкционный материал чугуны, в которых весь углерод (или большая часть его) структурно свободен и имеет форму графита. Это серый, ковкий и высокопрочный графитизированные чугуны.

3.1. Серый чугун

Получают серый чугун путём переплава белых литейных чугунов с использованием графитизаторов. В частности, вводят кремний, который растворяясь в аустените, способствует обогащению жидкости углеродом и тем самым – облегчению процесса графитизации.

Графит в серых чугунах имеет пластинчатую форму (рис. 9), металлическая основа может быть различной:

- перлитная, связано углерода в Fe_3C 0,8%;
- перлитно-ферритная, связано от 0,1 до 0,8% С;
- ферритная, связано менее 0,1%С, остальное количество – в графите.

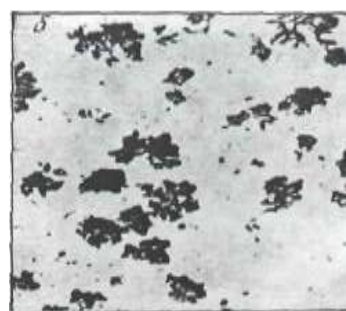
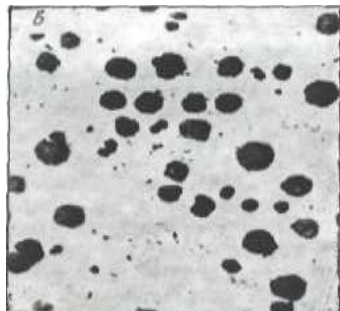
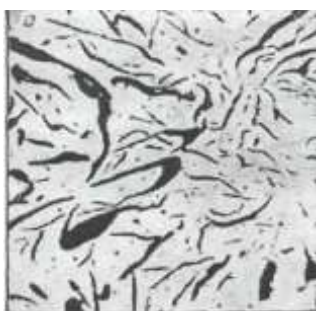


Рис.9. Серый
чугун

Рис.10. Высокопрочный
чугун

Рис.11. Ковкий
чугун

Серый чугун при сжатии обнаруживает механические свойства близкие к свойствам его основы (перлитная, ферритная и т.д.). При растяжении, изгибе и других видах нагружения показатели его механических свойств низки, но он обладает хорошими литейными свойствами.

3.2. Высокопрочный чугун

В высокопрочных чугунах графитные включения шаровидны (рис.10). Поэтому резкой концентрации напряжений, как в серых чугунах при пластинчатой форме полостей в металлической основе, не создаётся.

Основа чугунов также бывает перлитной, перлитно-ферритной и ферритной.

Высокопрочные чугуны получают двойным модифицированием – введением в расплав графитизаторов и сфероидизаторов (Mg до 0,5% или церия, кальция, бария). Из таких чугунов изготавливают весьма ответственные изделия.

3.3. Ковкие чугуны

Получают ковкие чугуны отжигом (томлением) белого чугуна: длительной выдержкой аустенитно–цементитной структуры, завершающейся распадом цементита $Fe_3C \rightarrow 3 Fe_\gamma + G$.

При этом графит образуется хлопьевидный (рис.11).

Если такую структуру охладить быстро, то будет получена перлитная основа. При других режимах охлаждения получают ковкие чугуны ферритные или ферритно-перлитные.

Показатели механических свойств ковких чугунов занимают промежуточное положение в сравнении с характеристиками серых и высокопрочных чугунов.

Для выявления наличия графита и формы его включений рекомендуется исследовать сплавы в нетравленном состоянии. Металлическую основу чугунов изучают на протравленных шлифах.

Форма отчёта

Лабораторная работа 6 Железоуглеродистые сплавы в равновесном состоянии

1. **Определения** групп углеродистых сталей. Например. Эвтектоидная – сталь, содержащая... углерода ...и т.д.
2. **Рисунки** исследованных на микроскопе доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.
3. Расчёт содержания углерода в до - и заэвтектоидной сталях.
4. Графические зависимости механических свойств сталей от содержания углерода.
5. Двойная диаграмма состояния сплавов (Fe – C, Fe- Ц) и краткое пояснение их отличий.
6. **Рисунки** белого чугуна эвтектического состава и серого, ковкого, высокопрочного чугунов.
7. Краткая сравнительная оценка механических свойств чугунов.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №7 (2 часа).

Тема: «Классификация и маркировка углеродных сталей и чугунов»

2.1.1 Цель работы. Изучение современной классификации сталей и чугунов а также их маркировки по ГОСТ

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить классификацию и назначение сталей и чугунов.
2. Изучить принципы маркировки железоуглеродистых сплавов.
3. Расшифровать заданные марки сплавов, указать их состав и показатели механических свойств.
4. Привести примеры использования заданных материалов.
5. Оформить отчёт.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Общие требования к конструкционным сталям

Стали, из которых изготавливают элементы различных конструкций, детали машин и механизмов должны обладать высокой прочностью, обеспечивать длительную и надёжную работу в условиях эксплуатации, хорошо сопротивляться ударным нагрузкам (быть достаточно вязкими).

Для деталей, подвержённых износу, стали должны быть износостойкими; для работающих при знакопеременных нагрузках - обладать высоким сопротивлением усталости. Нередко необходимо сопротивление хрупкому разрушению и распространению трещин.

Стали должны иметь и высокие технологические свойства: литейные, обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость.

Из всех современных материалов и прогнозируемых на будущее, только сталь позволяет получать сочетание высоких значений различных показателей при сравнительно невысокой стоимости. Поэтому она является основным конструкционным материалом.

Наряду с углеродистыми широко применяются легированные (более прочные и надёжные) конструкционные стали.

2. Классификация углеродистых сталей

По способу производства:

- электростали (самые чистые по содержанию примесей);
- кислородно-конверторные;
- мартеновские.

По назначению:

- конструкционные углеродистые;
- инструментальные углеродистые.

По степени раскисления:

- кипящая;
- полуспокойная;
- спокойная.

По структуре:

- доэвтектоидная (до 0,8 % C, структура – П+Ф);
- эвтектоидная (П);
- заэвтектоидная (более 0,8 - 2,14 % C; структура – зерна перлита, окаймлённые сеткой цементита).

По качеств (табл.1):

- обыкновенного качества;

- качественные;
- высококачественные.

По содержанию углерода качественные стали подразделяют на три группы:

- низкоуглеродистые (до 0,25 % С);
- среднеуглеродистые (0,3 – 0,5);
- высокоуглеродистые конструкционные (до 0,65 % С).

Таблица 1. Классификация углеродистых сталей по качеству

	S, %	P, %
Стали обыкновенного качества	до 0,05	до 0,04
Качественные конструкционные	0,04	0,035
Качественные инструментальные	0,03	0,030
Высококачественные инструментальные	0,02	0,025

Повышенное содержание серы вызывает *красноломкость* – хрупкость при температурных ОМД: ковке, прокатке; а фосфор охрупчивает металл при низких температурах (вызывает *хладноломкость*).

Стали разной степени раскисления

Кипящие стали – дешевые, т.к. при их выплавке расходуется мало специальных добавок. Они пластичные, но непрочные.

В них много кислорода, который выделяется из расплава в виде СО и создаёт при этом эффект кипения. Слиток содержит газовые пузыри.

В слитках кипящей стали очень выраженная ликвация – в головной части содержание углерода достигает 400 и серы 900 % от их среднего содержания, что примерно в 7 раз превышает показатели спокойной стали. Поэтому прокат из кипящей стали отличается неоднородностью структуры и механических свойств.

Спокойная сталь раскисляется Si, Mn, Al. Металл однороднее по составу, более прочен, имеет меньшую склонность к росту зерна, чем раскисленный меньше.

При затвердевании слитка в изложнице образуется большая усадочная раковина (по массе отрезают 12 – 16 %). Для кипящей стали выход годного превышает 95 %. Из-за потери массы и расходов на ферросплавы и алюминий спокойная сталь дороже кипящей.

Полуспокойная сталь обрабатывается небольшим количеством раскислителей: Mn и Si (кипящая - только Mn).

По однородности состава, микроструктуры и механических свойств, по прочностным показателям прокат из полуспокойной стали занимает промежуточное положение между прокатом из кипящей и спокойной сталей.

3. Маркировка сталей

3.1. Стали обыкновенного качества

Стали углеродистые обыкновенного качества по ГОСТ 380-94 маркируют следующим образом: Ст □□□,

где Ст – сталь углеродистая обыкновенного качества;

□ – условный номер марки (от 0 до 6);

□□ – степень раскисления (кп; пс; сп).

Примеры обозначения: Ст1пс, Ст3кп, Стбсп.

Стали с повышенным содержанием марганца: Ст3Гпс, Ст3Гсп, (Mn 0,8-1.10 %), Ст5Гпс (Mn 0,8-1,20 %).

Таблица 2

Марки и состав сталей обыкновенного качества

Марка стали	Массовая доля, %		
	C	Mn	Si
Ст 0	Не более 0,23	-	-
Ст 1 кп	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	Не более 0,05
Ст 1 пс	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	0,05 – 0,15
Ст 1 сп	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	0,15 – 0,30
Ст 2 кп	0,09 – 0,15	0,25 – 0,50	Не более 0,05
Ст 2 пс	0,09 – 0,15	0,25 – 0,50	0,05 – 0,15
Ст 2 сп	0,09 – 0,15	0,25 – 0,50	0,15 – 0,30
Ст 3 кп	0,14 - 0,22	0,30 – 0,60	Не более 0,05
Ст 3 пс	0,14 - 0,22	0,40 – 0,65	0,05 – 0,15
Ст 3 сп	0,14 - 0,22	0,40 – 0,65	0,15 – 0,30
Ст 3Гпс	0,14 - 0,22	0,80 – 1,10	Не более 0,15
Ст 3Гсп	0,14 - 0,20	0,80 – 1,10	0,15 – 0,30
Ст 4 кп	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70	Не более 0,05
Ст 4 пс	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70	0,05 – 0,15
Ст 4 сп	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70	0,15 – 0,30
Ст 5 пс	0,28 – 0,37	0,50 – 0,80	0,05 – 0,15
Ст 5сп	0,28 – 0,37	0,50 – 0,80	0,15 – 0,30
Ст 5Гпс	0,22 - 0,30	0,80 – 1,20	Не более 0,15
Ст5Гпс	0,22 – 0,30	0,80 – 1,20	Не более 0,15
Ст 6 пс	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80	0,05 – 0,15
Ст 6 сп	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80	0,15 – 0,30

**Таблица 3. Механические свойства проката (не менее)
из углеродистых сталей обыкновенного качества**

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, при толщине проката, мм			δ , %, при толщине проката, мм		
		10-20	20-40	>100	≤20	20-40	>40
СТ 0	≥300	-	-	-	18	18	15
Ст 3 кп	360-460	235	225	185	27	26	24
Ст 3 пс	370-480	245	235	205	26	25	23
Ст 3 сп	380-490	245	235	205	25	25	22
Ст 4 кп	400-510	255	245	225	25	24	22
Ст4пс, Ст4сп	410-530	265	255	235	24	23	21
Ст 5 пс	490-630	285	275	255	20	19	17
Ст 5 сп	490-630	285	275	255	20	19	17
Ст6пс, Ст6сп	≥590	315	315	295	25	14	12

Категория назначается для проката в зависимости от условий эксплуатации изделий из сталей. В марках категории не указывают.

Стали обыкновенного качества выплавляют в мартеновских печах и конверторах. Прокат в зависимости от назначения разделяют на три группы:

- I – используемый без обработки поверхности;
- II – с обработкой резанием;
- III - с обработкой давлением.

Применяют для изготовления кровельной жести ($S=0,25-2$ мм), различной тары (банки консервные, цистерны для спирта и т.п.), проволоки и метизов (болты, шурупы, шпильки, заклёпки), малонагруженных осей, валов, звездочек для элементов сварных и не сварных конструкций.

Таблица 4. Категории сталей обыкновенного качества

<i>Категории</i>	σв, σт, δ, «Изгиб»	Химич. состав	Ударная вязкость		
			при 20 ⁰ С	при-20	при-20 после старения
1	Для всех категорий				
2		+			
3		+	+		
4		+		+	
5		+			+

3.2. Качественные углеродистые стали выплавляют в электропечах, кислородных конверторах и мартеновских печах.

По **ГОСТ 1050 – 88** качественные углеродистые стали маркируют двужначными цифрами 05, 10, 15 и т.д. 60, соответствующими среднему содержанию углерода в сотых долях процента.

Для хорошо раскислённых спокойных сталей степень раскисления не указывают, для частично раскислённых указывают. Перечень качественных конструкционных сталей и их состав приведены в таблице 5, а механические свойства проката – в таблице 6.

Таблица 5. Химический состав углеродистых качественных сталей

Марка стали	С, %	Мn, %	Si, %	Cr, % не более
08 кп	0,05 – 0,12	0,25 – 0,50	≤ 0,03	0,10
08 пс	0,05 -0,11	0,35 – 0,65	0,05 – 0,17	0,10
08	0,05 -0,12	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	0,10
10 кп	0,07 – 0,14	0,25 – 0,50	≤ 0,07	0,15
10 пс	0,07 – 0,14	0,35 – 0,65	0,07 – 0,17	0,15
10	0,07 – 0,14	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	0,15
11 кп	0,05 – 0,12	0,30 – 0,50	≤ 0,06	0,15
15 кп	0,12 – 0,19	0,25 – 0,50	≤ 0,07	0,25
15 пс	0,12 – 0,19	0,35 – 0,65	0,05 – 0,17	0,25
15	0,12 – 0,19	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	0,25
18 кп	0,12 – 0,20	0,30 – 0,50	0,17 – 0,37	0,15
20 кп	0,17 – 0,24	0,25 – 0,50	0,17 – 0,37	0,25
20 пс	0,17 – 0,24	0,35 – 0,65	0,17 – 0,37	0,25
20	0,17 – 0,24	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
25	0,22 – 0,30	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
30	0,27 – 0,35	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
35	0,32 – 0,40	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
40	0,37 – 0,45	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
45	0,42 – 0,50	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
50	0,47 – 0,55	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
55	0,52 – 0,60	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25
58	0,55 – 0,63	≤ 0,20	0,10 – 0,37	0,15
60	0,57 – 0,65	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	0,25

Таблица 6. **Механические свойства проката из углеродистой качественной стали**

Марка стали	Не менее			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %
08	196	320	33	60
10	205	330	31	55
15	225	370	27	55
20	245	410	25	55
25	275	450	23	50
30	295	490	21	50
35	315	530	20	45
40	335	570	19	45
45	355	600	16	40
50	375	630	14	40
55	380	650	13	35
58(55 пс)	315	600	12	28
60	400	680	12	35

Низкоуглеродистые стали по назначению делят на две подгруппы:

1. Стали 05,08,10 – для холодной штамповки и сварки, изготовления шайб, прокладок, крышек, кожухов.
2. Стали 15,20,25 – цементируемые: для изготовления мелких деталей, работающих на износ (кулачки, толкатели, малонагруженные шестерни и т.п.). Поверхностный слой закаливают, а сердцевина остаётся вязкой.
3. Среднеуглеродистые стали 30,35, и т.д. 50, 55 применяют для изготовления ответственных изделий (коленчатых валов низкооборотных двигателей, шатунов, зубчатых колёс, осей и т.п.), подвергаемых термической обработке.
4. Стали 60,65 и др. применяют в качестве рессорно – пружинных.

3.3. Инструментальные углеродистые стали согласно ГОСТ 1435 – 90 маркируют буквой «У» и числом (одно – двузначная цифра), указывающим среднее содержание углерода в десятих долях %.

Стали У7 – У13 – качественные, У7А – У13А – высококачественные.

Таблица 7. **Состав инструментальных сталей**

Марка стали	Массовая доля элемента, %				
	Углерода	Кремня	Марганца	Серы	Фосфора
				не более	
У7	0,65 – 0,74	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У8	0,75 – 0,84	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У8Г	0,80 – 0,90	0,17 - 0,33	0,33 – 0,58	0,028	0,030
У9	0,85 – 0,94	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У10	0,95 – 1,04	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У11	1,05 – 1,14	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У12	1,15 – 1,24	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У13	1,25 – 1,35	0,17 - 0,33	0,17 - 0,33	0,028	0,030
У7А	0,65 – 0,74	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025
У8А	0,75 – 0,84	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025
У8ГА	0,80 – 0,90	0,17 - 0,33	0,33 – 0,58	0,018	0,025
У9А	0,85 – 0,94	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025
У10А	0,95 – 1,04	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025
У11А	1,05 – 1,14	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025

У12А	1,15 – 1,24	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025
У13А	1,25 – 1,35	0,17 - 0,33	0,17 – 0,28	0,018	0,025

Стали повышенной вязкости (У7 – У9) применяют для изготовления режущего инструмента, подвергающегося ударным нагрузкам (зубила, кернеры, молотки).

Стали высокой твердости (У10 – У13) – для инструмента, не подвергающегося ударным нагрузкам (напильники, шаберы и т.п.)

4. Чугуны

4.1. Серый чугун

На долю серого чугуна с пластинчатым графитом приходится около 80 % общего производства чугунных отливок.

Полости с графитом остроконечны и потому являются внутренними концентраторами напряжений. К тому же уменьшается сечение металлической основы; пустоты сильно снижают прочность чугуна при растяжении, изгибе. На сжатие чугун работает хорошо, он малочувствителен к поверхностным надразам и царапинам, хорошо обрабатывается резанием.

Маркируют серые чугуны буквами СЧ и числом, указывающим временное сопротивление при растяжении. По ГОСТ 1412 – 85 выпускают чугуны шести основных марок (таблица 8).

Таблица 8. Прочность и химический состав (масс.%) чугунов с пластичным графитом

Марка чугуна	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
					не более	
СЧ 10	100 (10)	3,5 -3,7	2,2 – 2,6	0,5 – 0,8	0,3	0,15
СЧ 15	150 (15)	3,5 – 3,7	2,0 – 2,4	0,5 – 0,8	0,2	0,15
СЧ 20	200 (20)	3,3 -3,5	1,4 – 2,4	0,7 – 1,0	0,2	0,15
СЧ 25	250 (25)	3,2 - ,34	1,4 – 2,2	0,7 – 1,0	0,2	0,15
СЧ 30	300 (30)	3,0 – 3,2	1,3 – 1,9	0,7 – 1,0	0,2	0,12
СЧ 35	350 (35)	2,9 – 3,0	1,2 – 1,5	0,7 – 1,1	0,2	0,12

По требованию потребителя выпускают чугуны СЧ18; СЧ21 и СЧ24.

Лучшими литейными свойствами, наивысшей демпфирующей способностью обладают чугуны СЧ10; СЧ15. Но более широко в машиностроении используются чугуны СЧ20 – СЧ35.

В основном серые чугуны применяют для станин, корпусных деталей, в с.-х. машиностроении и для санитарно – технического оборудования (ванны, отопительные радиаторы, трубы).

4.2. Высокопрочный чугун

В соответствии с ГОСТ 7293 – 85 чугуны с шаровидным графитом маркируют буквами ВЧ и числом, показывающим предел прочности при растяжении (в 0,1 МПа).

Таблица 9. Марки и характеристики свойств высокопрочных чугунов

Марки чугуна	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , %	НВ
	не менее			
ВЧ35	350(35)	220(22)	22	140 – 170
ВЧ40	400(40)	250(25)	15	140 – 202
ВЧ45	450(45)	310(31)	10	140 – 225
ВЧ50	500(50)	320(32)	7	153 – 245
ВЧ60	600(60)	370(37)	3	192 – 277
ВЧ70	700(70)	420(42)	2	228 – 302

ВЧ80	800(80)	480(48)	2	248 – 351
ВЧ100	1000(100)	700(70)	2	270 - 360

Во всех чугунах марок ВЧ содержание углерода высокое и практически одинаковое – углеродный эквивалент

$$C_s = C + 0,3 (Si+P) = 4,1 - 4,3$$

Механические свойства зависят в основном от структуры металлической основы, формирующейся в процессе литья и последующей термообработки (ТО).

Виды ТО для отливок из ВЧ:

- отжиг (от 550 °С) для снижения литейных напряжений;
- графитизирующий отжиг;
- нормализация (от 900 °С) для получения перлитной основы с повышенными свойствами;
- закалка в масле и низкий отпуск.

Закалка серых чугунов неэффективна (не применяется).

Высокопрочные чугуны применяют для замены литой стали в изделиях ответственного назначения (санины прокатных станков, молотов и прессов; коленчатые валы дизельных, в том числе автомобильных двигателей).

4.3. Ковкий чугун

Ковкий чугун получают отжигом отливок из белого чугуна. Он содержит *углерод отжига* – графит в компактной форме.

По ГОСТ 1215 – 79 ковкий чугун маркируют буквами КЧ, за которым указывают предел прочности при растяжении и относительное удлинение (таблица 10.)

Таблица 10. Характеристики механических свойств ковких чугунов

Марка ковкого чугуна ферритного и перлитного класса	Временное сопротивление разрыву МПа (кгс/мм ²), не менее	Относительное удлинение, % не менее	Твёрдость, НВ
КЧ 30-6	294 (30)	6	100 – 163
КЧ 33-8	323 (33)	8	100 – 163
КЧ 35-10	333 (35)	10	100 – 163
КЧ 37-12	362 (37)	12	110 – 163
КЧ 45-7	441 (45)	7	150 -207
КЧ 50-5	490 (50)	5	170 – 230
КЧ 55-4	539 (55)	4	192 – 241
КЧ 60-3	588 (60)	3	200 – 269
КЧ 65-3	637 (65)	3	212 – 269
КЧ 70-2	686 (70)	2	241 – 285
КЧ 80-1,5	784 (80)	1,5	270 - 320

Прочность и пластичность этих чугунов зависят от дисперсности и количества графитных включений, а также от структуры металлической основы. Наиболее, прочен перлитный, а пластичен – ферритный чугуны.

Ковкий чугун имеет лучшие, чем серый, механические свойства и его широко применяют в автомобильной промышленности, с.-х. машиностроении и др. отраслях для изготовления мелких и средних по массе деталей.

Форма отчёта

Лабораторная работа 7

Классификация и маркировка углеродистых сталей и чугунов

1. Классификация качественных сталей по содержанию углерода.
2. Классификация инструментальных сталей по качеству.
3. Расшифровка марок сплавов по заданию.
4. Таблица: состав и свойства сталей и чугунов.

Состав и свойства сталей и чугунов

Марка сплава	ГОСТ	Содержание основных элементов, %					Показатели мех - их свойств			
		C	Si	Mn	S	P	σ_B , МПа	$\sigma_T(\sigma_{0,2})$, МПа	δ , %	НВ

Работу выполнил:	
Работу принял:	

2.1 Лабораторная работа №8 (2 часа).

Тема: «Термическая обработка углеродистой стали»

2.1.1 Цель работы. Изучение основ термообработки и методики назначения режимов закалки и отпуска стали, приобретение практических навыков термообработки.

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить материал по теме лабораторной работы.
2. Назначить режимы закалки и отпуска стали заданной марки.
3. Закалить образцы в соответствии с заданием.
4. Выполнить отпуск образцов.
5. Составить отчет о работе.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Твердомер Роквелла;
2. муфельные печи;
3. винтилятор;
4. шлифовальная бумага

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Общие сведения о термической обработке материалов

Термическая обработка (ТО) это технологические процессы теплового воздействия определенной интенсивности на материал. Она включает три технологические операции: **нагрев** определенного характера (с постоянной или переменной скоростью, монотонный или ступенчатый) до заданной температуры; **выдержку** для прогрева изделия по сечению, обеспечивающую необходимую полноту структурных превращений и **охлаждение** в определенной среде (средах) с заданной скоростью.

Основные виды ТО, обеспечивающие получение нужной структуры и соответствующих свойств материалов: закалка, отпуск, нормализация, отжиг, старение.

Закалка стали с последующим отпуском упрочняет её, повышает твердость и износостойкость, что определяет надежность и долговечность изделий в условиях эксплуатации. Отжиг обеспечивает получение равновесной структуры с низкой твердостью и хорошей обрабатываемостью резанием и т.д.

2. Закалка стали

Закалка стали как термическая операция.

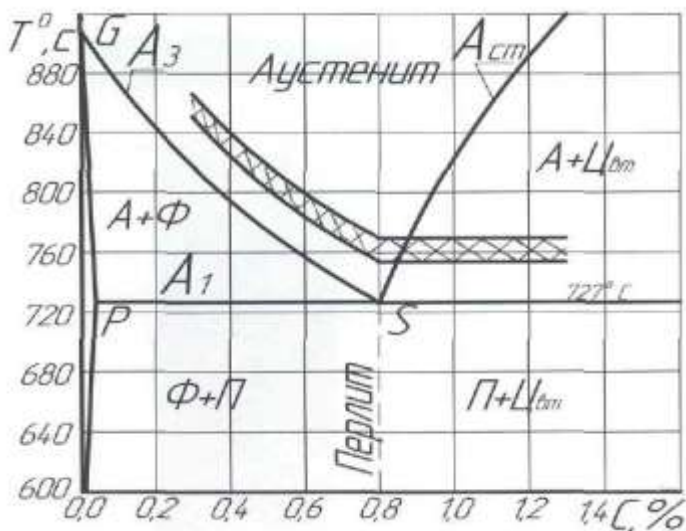
Полная и неполная закалка

Закалка – термическая операция, заключающаяся в нагреве доэвтектоидной стали до температуры на 30-50 °С **выше** A_{c3} , выдержке и охлаждении со скоростью выше критической. При этом исходная ферритно-перлитная структура нагревается до аустенитного состояния, а после охлаждения превращается в **мартенсит**. Такую закалку называют **полной**. В случае нагрева изделия до температуры в интервале A_{c1} – A_{c3} перекристаллизация будет не полной - частично сохранится феррит и после охлаждения в структуре стали наряду с мартенситом будут мягкие ферритные участки. Такую закалку называют неполной и для доэвтектоидных сталей не применяют.

Эвтектоидную и заэвтектоидные стали подвергают **неполной закалке**: нагревают до температуры на 30-50 °С **выше** A_{c1} (рис.1) – до аустенитно-цементитной структуры и после необходимой выдержки и охлаждения получают структуру мартенсита с цементитом и небольшим количеством остаточного аустенита.

Если такую сталь нагреть до аустенитного состояния, то она перегреется и после охлаждения превратится в крупноигльчатый (очень хрупкий) мартенсит с повышенной долей аустенита остаточного (см. рис. 35[3]). Такой процесс не применяют.

2.2. Распад аустенита



Аустенит устойчив при температуре выше A_1 . При более низкой температуре он переохлаждён и может существовать ограниченное время. Изотермический распад аустенита эвтектоидной стали (рис. 2) происходит в интервале температур от 720 до 240 °С. При температуре близкой к A_1 распад начинается примерно через 1 час, а при 550 °С – уже через 1 сек. Заканчивается процесс образованием ферритно-цементитных структур.

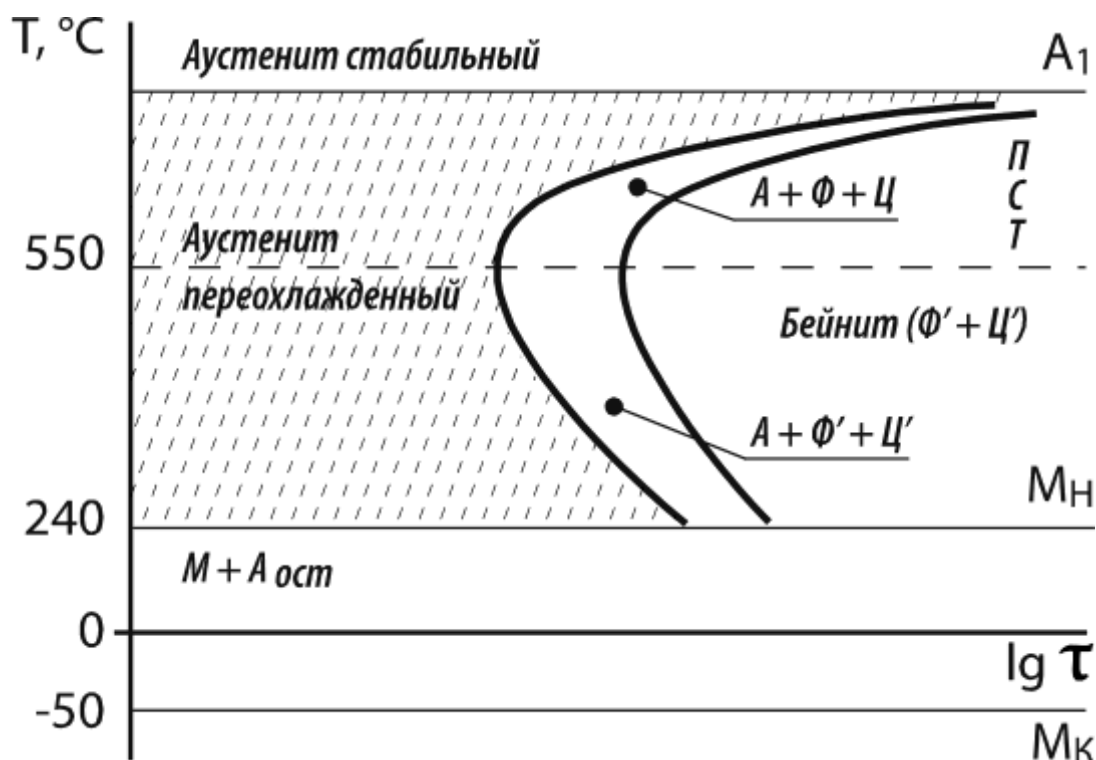


Рис. 2. Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

Характер распада аустенита при указанных условиях **диффузионный**: в начальный (инкубационный) период в аустените идут подготовительные процессы перераспределения углерода, затем на границе зёрен образуются зародыши перлитной колонии – цементит или феррит. Если из зародыша растёт цементитная пластина, то вблизи неё аустенит обедняется углеродом и превращается в феррит. При росте ферритной пластины углерод оттесняется в аустенит, что способствует появлению новых пластин цементита.

С увеличением переохлаждения (с понижением температуры) возрастает дисперсность продуктов распада аустенита. По данным Арзамасова Б.Н. [1] получаются следующие смеси (табл. 1). Особенности их структуры отражает приложение (рис. П.1).

Таблица 1. Ферритно-цементитные смеси

Интервал образования смеси из аустенита, °С	Характеристики смесей		Название смеси
	Межпластинчатое расстояние, 10^{-7} м	Плотность дислокаций, см^{-2}	
От 650-670 до A_1	5 - 7	10^7	Перлит
590-640	3 - 4	10^8	Сорбит
550-580	1 - 2	10^9	Троостит

Указанные структуры образуются и при непрерывном охлаждении (рис.3). Более точно такие превращения отражают термокинетические диаграммы (рис. 1, 2 и др., рис. 84 [3]).

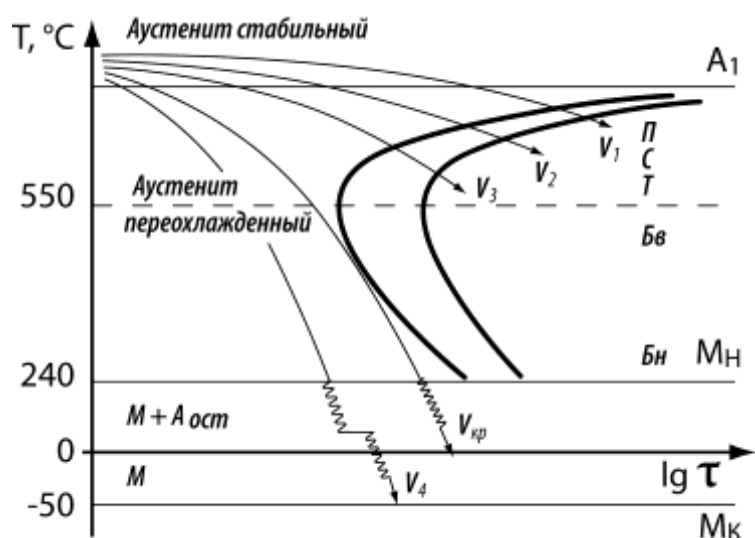
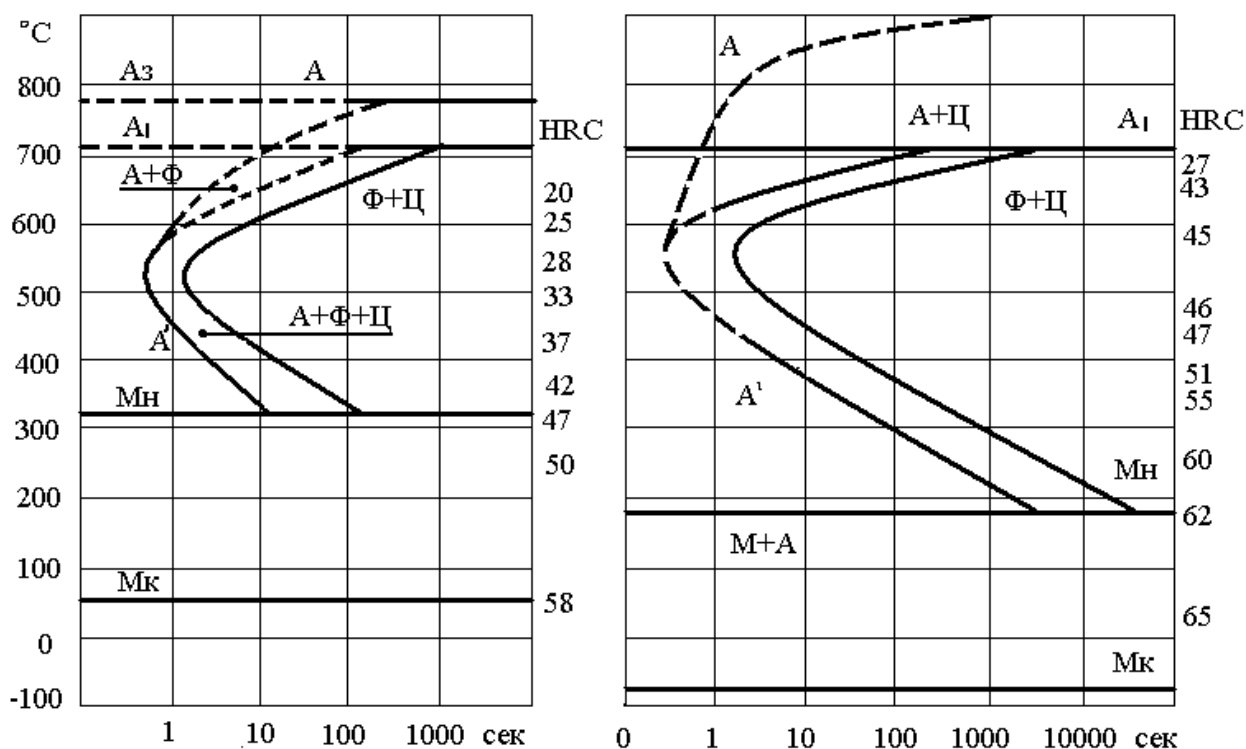


Рис. 3. Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении
Особенность превращения доэвтектоидных сталей – перлитному превращению предшествует выделение феррита (рис.4), в заэвтектоидных сталях сначала образуется цементит.



4. Диаграммы распада аустенита в до- и заэвтектоидных сталях

При охлаждении стали со скоростью больше критической $V_{кр}$ (рис.3) аустенит от линии M_n превращается в мартенсит.

Мартенситное превращение протекает интенсивно при непрерывном охлаждении от M_n до M_k . Остановка приводит к стабилизации какой-то части исходной структуры.

Мартенситное превращение – **бездиффузионный** процесс и по Курдюмову Г.В. он « ... состоит в закономерной перестройке решетки, при которой атомы не обмениваются местами, а лишь смещаются» на доли межатомных периодов (рис. П.2.).

В процессе $\gamma - \alpha$ превращения содержание углерода в твердом растворе не меняется, а поскольку оно значительно превышает уровень растворимости в ОЦК–решетке, то образуется не кубическая, а тетрагональная ячейка. Тетрагональность зависит от содержания углерода в стали и она, а также большая плотность дислокаций (до 10^{13} см^{-2}) –

важные причины, определяющие очень высокую твердость и хрупкость мартенсита. Но более значимым факторам по современным представлениям [4] являются **ковалентные связи Fe – C – Fe**. Такую связь, примерно на порядок сильнее металлической, создаёт атом углерода с ближайшими атомами железа двумя своими электронами, а остальные два он отдаёт в электронный газ (см. рис. П.2.).

Мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в α – железе, неравновесной фазой с пластинчатой или реечной формой кристаллов, структурой очень высокой твердости и хрупкости (нулевой пластичности). На фотографии (рис. П3.) одна из пластин расположена в плоскости шлифа.

2.3 . Отпуск стали

Отпуск – термическая операция нагрева закаленной на мартенсит стали до температуры ниже A_1 с последующей выдержкой и охлаждением.

Главным процессом при отпуске является распад мартенсита на более равновесные структуры с пониженным уровнем остаточных напряжений. За счёт повышения вязкости и получения комплекса других свойств отпуск обеспечивает высокую надежность изделий.

Режущий и мерительный инструмент и некоторые изделия, твердость которых должны быть высокой (от 58 HRC), подвергают низкотемпературному отпуску.

Рессоры, пружины и другие изделия, материал которых должен сочетать высокую упругость с удовлетворительной вязкостью, отпускают средним отпуском.

Высокий отпуск применяют для многих высоконагруженных деталей машин (валы, шатуны, шестерни, крепёжные детали), материал которых должен иметь удовлетворительные прочностные и высокие показатели пластичности и вязкости (рис. 5 [2,6]).

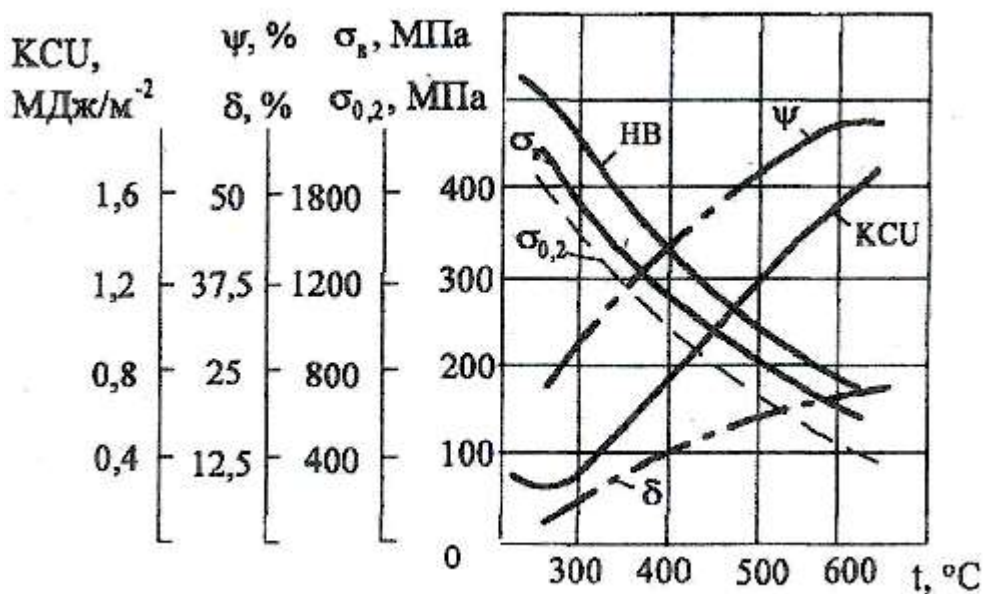


Рис. 5. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали 40

Низкий (низкотемпературный) отпуск проводится при 150 – 180 °С, для легированных сталей при более высокой (до 250 °С) температуре [4].

При этом мартенсит лишь частично освобождается от углерода. Примерно при температуре 100 °С в структуре наблюдаются скопления атомов углерода, затем образуются тонкие пластины метастабильного ξ – карбида с примерным соотношением

атомов соединения Fe_2C и гексагональной решёткой. Мартенсит становится менее тетрагональным, а смесь его с ξ – карбидом представляет собой *мартенсит отпуска*.

Средний отпуск выполняют при нагреве до 350-450⁰С. Пересыщенный α -раствор при этом полностью освобождается от избыточного углерода, почти устраняются ковалентные связи и искажения решётки ОЦК, т.е. получается *феррит*, снижается плотность дислокаций и уровень остаточных напряжений. Вторая фаза – *цементит* выделяется из пересыщенного α -раствора и за счёт перестроения решётки метастабильного карбида.

Образовавшаяся смесь феррита с цементитом - *троостит отпуска*, мелкозерниста вследствие еще слабой диффузии. Такая фазовая и дислокационная структура придает стали высокий предел упругости и приемлемую вязкость.

Высокий отпуск при 500-650⁰С приводит к образованию *сорбита отпуска* – смеси более крупных, чем при среднем отпуске, зерен феррита и цементита (рис. П4.).

Комплекс термических операций: закалка на мартенсит и высокий отпуск называют *улучшением стали* т.к. она становится максимально вязкой, удовлетворительно прочной и практически без остаточных напряжений, что необходимо для динамически и циклически нагруженных деталей машин.

Сорбит и троостит отпуска отличаются от аналогичных структур закалки зернистым (не пластинчатым) строением. Поэтому при одинаковой твёрдости отпущенная сталь более пластична и вязка.

3. Обоснование режимов ТО

Режимы закалки

Режим ТО включает нагрев, выдержку и охлаждение.

Общее время нагрева по Гуляеву А.П. | 2 |

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{сп}} + \tau_{\text{в}},$$

где $\tau_{\text{сп}}$ - время сквозного прогрева изделия до заданной температуры;

$\tau_{\text{в}}$ – время выдержки для завершения необходимых процессов.

Время $\tau_{\text{сп}}$ зависит от нагревающей среды (газ, расплавы), размеров, геометрической формы изделий и способа их укладки в печи. Для определенного изделия время нагрева устанавливают опытным путем. Упрощенно его можно определить по нормативам | 5 |.

Время выдержки $\tau_{\text{в}}$ для электрической печи можно принять из условия 1 мин на 1 мм условной толщины (для пластин $S_{\text{усл}} = 1,5 \cdot S$).

В учебных целях общую продолжительность нагрева в электропечи рекомендуется определять по ориентировочным нормативам таблицы 2 | 6 |.

Таблица 2. Нормы времени нагрева изделий из углеродистых сталей при ТО в мин на 1 мм диаметра или толщины

Температура нагрева, ⁰ С	Форма сечения		
	Круг	Квадрат	Пластина
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Охлаждение при закалке углеродистых сталей обычно проводят в воде. Задача – получение мартенситной структуры при отсутствии трещин и деформации изделия.

Добавка соли, кислоты, глицерина, щелочи значительно улучшает её охлаждающую способность.

Режимы отпуска

Температуру нагрева выбирают в зависимости от вида (назначения) изделия.

Выдержка устанавливается так, чтобы обеспечить стабильность свойств стали. При низком отпуске инструмента ($T_0 \approx 180^\circ\text{C}$) выдержка составляет 0,5 – 2 часа в зависимости от сечения. Выдержку увеличивают до 10-15 часов при $T = 100 - 120^\circ\text{C}$.

Продолжительность среднего и высокого отпуска обычно составляет 1 -2 часа для деталей небольшого сечения.

Структура формируется в период выдержки, поэтому скорость последующего охлаждения на неё не влияет. Охлаждать можно быстро (в воде), если не опасны термические напряжения. Обычно охлаждают отпущенные изделия на спокойном воздухе.

4. Задание по практической части работы

Закалка стали

Работу со сталью данной марки выполняет звено (2-4 студента) по режиму указанному преподавателем в соответствии с табл. 3.

Таблица 3. Режимы закалки стальных образцов

Звено	№ образца	T нагрева, $^\circ\text{C}$	Охлаждающая среда
1	1	850	Вода
	2	850	Масло
	3	850	Воздух
2	4	750	Вода
	5	750	Вода
3	6	600	Вода

Порядок выполнения

1. Определить общую продолжительность нагрева образцов по таблице 2.
2. Зачистить отожженные образцы наждачной бумагой до металлического блеска и протереть их.
3. Измерить твёрдость образцов на твердомере Роквелла.
4. Загрузить образцы в печь при температуре на $20-30^\circ\text{C}$ выше установленной (по табл. 3) и выдержать в течение $\tau_{\text{общ}}$.
5. Охладить образцы по режиму задания.
6. Зачистить образец, протереть и измерить твердость.
7. Заполнить сводную таблицу 4.
8. Построить графические зависимости твердости стали (марка) от T_3 и охлаждающей среды.

Таблица 4. Результаты закалки стали

Образец стали ...	Режим закалки			Твердость, HRC		Структура образцов	
	Тз, °С	τобщ, мин	Охлаждаю- щая среда	до	после	при Тз	охлажденных
				закалки			
1							
2							
и т.д.							

Примечания:

- переносить образцы из печи в ёмкость быстро.
- при охлаждении в воде образец перемещать быстрым круговым движением;
- до начала загрузки печи изучить правила безопасной работы с ней.

Отпуск стали

1. Закалённый на мартенсит, образец зачистить, протереть и измерить его твёрдость.
2. Выдержать образец ($S \approx 5-6$ мм) в печи при заданной температуре в течение 0,5 часа.

3. Извлечь образец из печи, подстудить на воздухе 2-3с и охладить в воде.
4. При необходимости зачистить, протереть образец и измерить твёрдость.
5. Заполнить табл. 5 и построить графическую зависимость твёрдости стали от $T_{отп}$.

Таблица 5. Результаты отпуска стали

Твёрдость закалённого образца, HRC	Вид отпуска	$T_o, ^\circ\text{C}$	Отпущенная сталь	
			Твёрдость, HRC	Структура
	Низкий	200		
	Средний	400		
	Высокий	600		

Литература

1. Материаловедение. Под ред. Арзамасова Б.Н. – М.: Машиностроение, 1986.
2. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Metallurgy, 1986.
3. Жариков Н.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: Фрагменты курса. – Оренбург: Изд-во ОГАУ, 2006.
4. Материаловедение и технология металлов. Под редакцией Фетисова Г.П. – М.: Высшая школа, 2001.
5. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1982.
6. Технологические процессы в машиностроении: Учебник. Богодухов С.И. и др. – Оренбург: ОГУ, 2005.
7. Новиков И.И., Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов. – М.: Metallurgy, 1986.

Форма отчёта

Лабораторная работа 8

Термическая обработка стали

1. Закалка: определение понятия и сущность мартенситного превращения.
2. Рисунок 1. Температурный интервал нагрева углеродистых сталей при закалке.
3. Рис.2. Идеальная кривая охлаждения при закалке | 3, рис. 37 |.
4. Расчёт общего времени нагрева образца.
5. Сводная таблица результатов закалки.
6. Зависимости твердости стали от T_z и охлаждающей среды.
7. Сводная таблица результатов отпуска.
8. Зависимость твёрдости стали от T_o .
9. Общие выводы по результатам закалки и отпуска

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №9 (2 часа).

Тема: «Цветные металлы и сплавы»

2.1.1 Цель работы. Закрепление и углубление знаний о структуре, свойствах, маркировке и назначении алюминия, меди и их сплавов.

2.1.2 Задачи работы:

1. Изучить свойства, маркировку и назначение алюминия и меди.
2. Изучить принципы маркировки и способы упрочнения сплавов.
3. Изучить основные группы и наиболее распространенные сплавы
4. Выполнить индивидуальное задание.
5. Составить отчет.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.1.4 Описание (ход) работы:

1.Алюминий и его сплавы

1.1.Алюминий

Алюминий - легкий($2,7\text{г/см}^3$) металл серебристо-белого цвета, пластичный; хорошо проводит тепло и электричество; хорошо полируется и сваривается контактной и газовой сваркой, но плохо обрабатывается резанием из-за высокой вязкости, имеет большую литейную усадку(6%).

Как конструкционный материал алюминий занимает второе место после железа. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью в атмосфере и многих органических кислотах благодаря наличию пленки Al_2O_3 . Поэтому широко применяется в химической и пищевой промышленности, а также в электротехнике, строительстве, транспортном машиностроении.

Примеси и легирующие элементы уменьшают электропроводность алюминия, которая составляет 65,5 и 62,5% от электропроводности меди при чистоте металла соответственно 99,997 и 99,5% /1/.

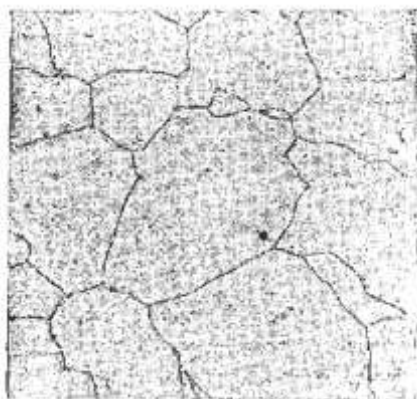


Рис. 1 Микроструктура алюминия

Решетка алюминия ГЦК, изоморфна; микроструктура

полиэдрическая(рис.1); макроструктура деформированного и затем отожженного (500°C) чистого алюминия отображена на рис.2. Прочность алюминия, деформированного на 60-80%, возрастает

лишь до 160-180 МПа ,а пластичность резко падает ($\delta \approx 1,5\%$). Термической обработкой он не упрочняется.

Дополнительная характеристика - в приложении 1. (По источнику [2] и др.)

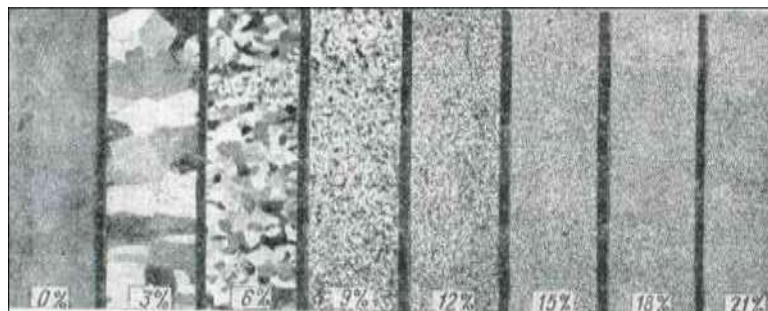


Рис. 2 Макроструктура деформированного (до $\epsilon = 21\%$) алюминия после отжига

Отечественная промышленность выпускает **первичный алюминий** по ГОСТ 11069-74:

Особой чистоты (А999) с долей примесей до 0,001%;

Высокой чистоты (А995, А99, А97 и А95)

Технической чистоты (А85, А8, А7, А6, А5, А0).

Микроструктура алюминия различной чистоты представлена на рис.3.



Рис. 3. Микроструктура литого алюминия:

а)-высокой чистоты;

б)-технического (с фазой Al_3Fe);

в)-технического (с фазой Al-Fe-Si)

Технический алюминий выпускают в виде полуфабрикатов (листы, трубы, проволока, прутки) и маркируют буквами АД и цифрами (табл.1.). Буква **Е** ставится в марках с гарантированными электрическими показателями, индекс «пл» - материал для пликирования (покрытия) дюралюминия.

Таблица 1. Химический состав(%) технического алюминия(ГОСТ 4784-97)

Марка		Al, не менее	Основные примеси ,не более					
Российская			Межд у народ ная	Cu	Mg	Mn	Fe	Si
Букве нная	Цифро вая							

АД000	-	1080А	99,80	0.03	0.02	0.02	0.15	0.15
АД00	1010	1070А	99,70	0.03	0.03	0.03	0.25	0.20
АД00	1010Е	1370	99,70	0.02	0.02	0.01	0.25	0.10
Е	1011	1050	99,50	0.05	0.05	0.05	0.40	0.25
АД0	1011Е	1350	99,50	0.05	-	0.01	0.40	0.10
АД0Е	1013	1230	99,30	0.05	0.05	0.02	0.30	0.30
АД1	1015	1200	98,80	0.05	-	5	Fe+Si:1	
АД	-	-	99,30	0.02	0.05	0.05	,0	0.30
АД1пл						0.02	0.30	
						5		

Полуфабрикаты могут находиться в трех состояниях:

- отожженном (М)
- нагартованном (Н) или полунагартованном (Н2)
- горячекатаном (ГК)

Показатели для листов из АД0 , АД1 приведены в табл. П2.

1.2.Алюминиевые сплавы

1.2.1.Общие сведения

Алюминиевые сплавы, сохраняя достоинства основы превосходят её по прочности (σ_b достигает 500-700 МПа, а по удельной прочности σ_b/ρ некоторые сплавы сопоставимы с высокопрочными сталями).

Основные легирующие элементы алюминиевых сплавов:Cu, Mg ,Si, Mn,Zn.Многие элементы образуют растворы ограниченной переменной растворимости, что позволяет упрочнять сплавы термически.

Постоянные примеси Fe и Si значительно ухудшают литейные свойства, пластичность, сопротивление развитию трещин. Поэтому для конструкций ответственного назначения разработаны сплавы с низким содержанием примесей, в марках которых указывают:

«Ч» - чистый;

«ПЧ» - повышенной чистоты;

«ОЧ» - особой чистоты.

Алюминиевые сплавы по технологическим способам переработки их в изделия и полуфабрикаты разделяют на **деформируемые и литейные**(см.рис.50 /3/).Кроме того имеются **композиционные и спеченные** сплавы (САС- спеченные сплавы, САП- спеченные алюминиевые пудры).

Сплавы группируют по химическому составу и др. признакам. Так, в деформируемых выделяют: *дюралюмины* (Д1 и др.)- по названию; *ковочные*(АК6 и др.)- по назначению; *проволочные*(АМг5П); *высокопрочные*(В95).

1.2.2.Деформируемые алюминиевые сплавы

Сплавы системы Al-Mn

Сплавы с марганцем (иногда с добавкой Mg) имеют низкую прочность, высокую пластичность и коррозионную стойкость, хорошо свариваются и упрочняются деформацией.

Полуфабрикат :листы, трубы, проволока.

Изделия :сварные баки, бензо- и маслопроводы , радиаторы тракторов и автомобилей, упаковка и заклепки. Некоторые изделия получают глубокой вытяжкой.

Сплавы системы Al-Mg(магналии)

Свойства сплавов Al-Mg близки к свойствам сплавов Al-Mn: весьма пластичны ,хорошо свариваются аргонодуговой сваркой, но прочностные характеристики их низки (см. приложения, табл. П3).

В магналии добавляют Mn для упрочнения, иногда - Ti для улучшения свариваемости.

Применение сплавов.

АМг1, АМг0.5-изделия с высокой отражательной способностью, с повышенной декоративностью;

АМг2, АМг3-слабонагруженные сварные конструкции для работы в агрессивной атмосфере;

АМг5, АМг6-сварные емкости, в том числе для криогенной техники; указанные и сплав 01570-в ракетно-космической технике.

Ковочные сплавы системы Al-Cu-Mg-Si

Сплавы АК6 и АК8 пластичны, хорошо обрабатываются давлением (нагретые) и резанием, термически упрочняются. Сплавы удовлетворительно свариваются точечной и шовной сваркой, а АК-8- аргонодуговой (присадка Св АК 5). При этом прочность снижается от исходной на 0,3-0,4.

АК 6-высокотехнологичный оригинальный российский сплав средней прочности. За рубежом особенно широко применяют АК8 (под маркой 2014). Эти сплавы используют для ответственных силовых деталей в авиации, транспорте, электротехнике, строительстве и т.д. (механические свойства см. табл. П4)

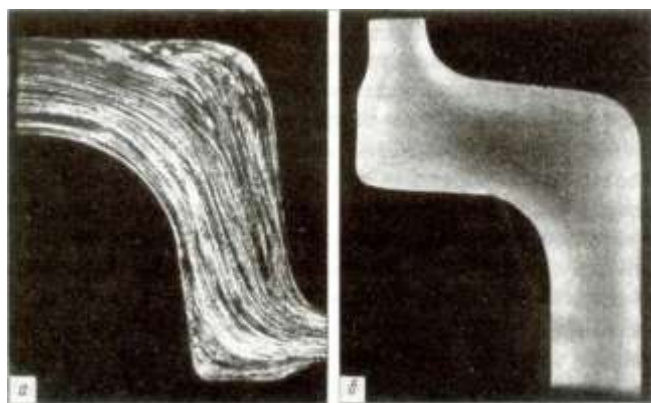


Рис. 4.Макроструктура штамповок из сплава АК 6:
а) волокнистая (серийная обработка);
б) мелкозернистая после МТМО

Макроструктура штампованных

заготовок из сплава АК 6, получаемых по традиционной технологии, волокнистая с анизотропией свойств (рис 4,а). Применение в последние годы межоперационной термомеханической обработки (МТМО) обеспечивает улучшение структуры (более однородная, мелкозернистая) и свойств (уменьшение анизотропии, равномерность по объему; повышение прочности и пластичности (рис 4,б)).

Конструкционные сплавы системы Al-Cu-Mg

Сплавы группы - дюралюмины (дуралюмины): Д1, Д16, Д19 и др. (доли основных добавок в них: Cu от 2 до 5%, Mg - до 2,7%) отличаются хорошим сочетанием прочности и пластичности. Они упрочняются термообработкой (см. диаграмму Al-Cu-рис 51,а /3/), свариваются точечной сваркой, удовлетворительно обрабатываются резанием.

Для повышения коррозионной стойкости изделий из дюралюминов применяют плакировку листов алюминием А7 и А8, сортовой прокат анодируют (чаще в серной кислоте) т.е. подвергают электрохимическому оксидированию - созданию толстой и плотной пленки Al_2O_3 на поверхности изделий.

Дюралюмины применяют в авиации (лопасти воздушных винтов, детали), в автомобилестроении (в том числе - кузова грузовиков), строительстве.

Микроструктура дюралюмина представлена на рис.5, свойства основных сплавов- в табл.2.

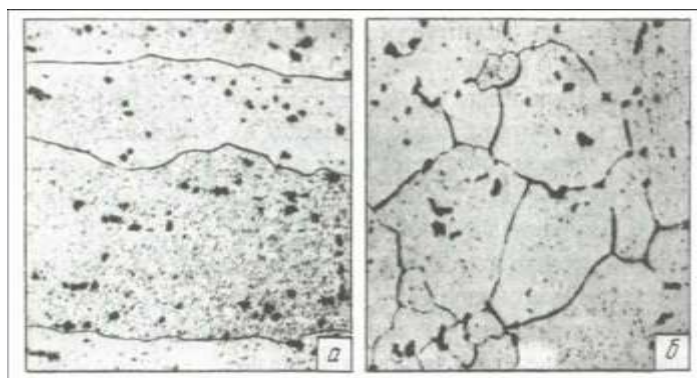


Рис. 5.Микроструктура дюралюмина:
а)-нормальная закалка;
б)-пережог (оплавленная эвтектика на границах зёрен)

Таблица 2. Механические свойства дюралюминов

Сплав	Полуфабрикаты	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Д1	Листы	400	240	20
	Прессованные прутки и профили	480	320	14
Д16	Листы, плиты	440	330	18
	Прессованные прутки и профили	530	400	11
Д19	Листы	425	310	18

Высокопрочные сплавы системы $Al - Zn - Mg - Cu$

Это термически упрочняемые наиболее прочные алюминиевые сплавы (σ_b до 750 – 800 МПа) в основном благодаря цинку и магнию.

В алюминии Zn и Mg имеют высокую растворимость при повышенной температуре и резко уменьшающуюся при охлаждении, что существенно упрочняет сплавы при закалке и старении. Медь, легируя твёрдый раствор, заметно повышает только эффект закалки.

Высокопрочные сплавы содержат небольшие добавки Mn, Cr, Zr, Sc , образующие дисперсные интерметаллиды: Al_6Mn , $\alpha(Al - Si - Mn)$, Al_7Cr и др. Указанные фазы вызывают в обрабатываемых давлением изделиях пресс-эффект: повышают температуру рекристаллизации (T_p), затрудняют рост зерен при вторичной рекристаллизации и способствуют стабилизации нерекристаллизованной структуры – таким образом обеспечивается структурное упрочнение сплава.

Наиболее эффективен из рассматриваемых добавок цирконий. При кристаллизации сплава Zr образует с Al пересыщенный твёрдый раствор, распадающийся при технологических нагревах и термообработке с выделением более дисперсных интерметаллидов (рис. 6). Благодаря этому при меньших концентрациях (0,1-0,2%) повышение T_p и упрочнение более значительны, чем от Mn и др. элементов.

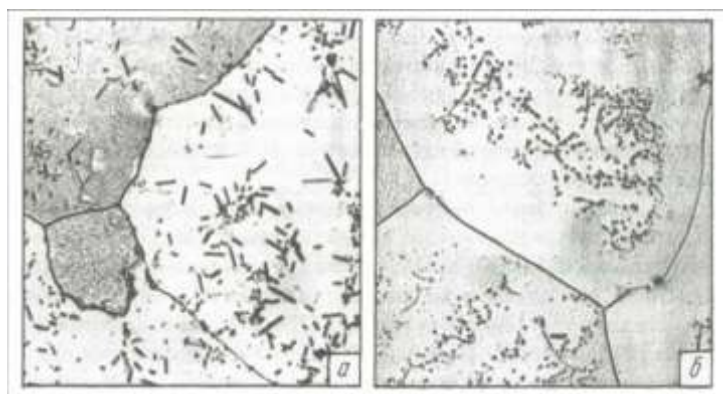


Рис.6.Микроструктура литого сплава Al с 4,5% Zn с добавками:
а)-0,65% Mn;
б)-0,18% Zr

Примеси Fe и Si снижают пластичность, вязкость разрушения и сопротивление усталости. Поэтому для особо ответственных изделий разработаны сплавы повышенной (В 93пч) и особой (В 95оч) чистоты.

Высокопрочные сплавы являются основным материалом для самолёто – и ракетостроения; используются также в конструкциях вагонов, грузовиков, подъёмных кранов, некоторых клёпанных строительных сооружений. Сплавы ограниченно свариваются точечной и шовной сваркой, но хорошо обрабатываются резанием.

1.2.3. Литейные сплавы

В объеме отливок из цветных сплавов в России около 70 составляют алюминиевые и порядка 25% медные.

Требования к литейным сплавам: они должны иметь низкую температуру плавления, небольшую усадку, низкую склонность к образованию пористости и трещин, хорошие механические и антикоррозионные свойства, а также жидкотекучесть. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава.

Классификация сплавов.

По прочности: высокой, средней и малой прочности;

По технологическим свойствам: герметичные, свариваемые, коррозионно-стойкие и др.

По способу литья: для литья в разовые и постоянные формы;

По назначению: конструкционные, поршневые, жаропрочные и др.

Отливки используются в литых, сварных, клёпанных, комбинированных конструкциях.

Маркировка.

Литейные алюминиевые сплавы по ГОСТ 1583-93 маркируют буквой А (основа Al), обозначениями компонентов (**К** – кремний, **Кд** – кадмий, **М** – медь, **Mg** – магний, **Мц** – марганец, **Н** – никель, **Ц** – цинк). И следующими за ними цифрами – содержания компонентов. Например, АК5М, где кремния около 5, меди до 1,5%. При этом оставлена и старая маркировка – АЛ (литейный алюминиевый сплав) с порядковым номером.

Примеры: АК8 (АЛ34); АМг10 (АЛ27).

Технологические сплавы системы Al-Si (силумины)

Добавки Mg и Cu обеспечивают сплавам термическое упрочнение, Cu улучшает обрабатываемость резанием; Mn, Ti, Ni и др. элементы (растворяясь в Al) повышают прочность и твёрдость силуминов.

Сплав АК12(АЛ12) двухкомпонентный (содержит 10 – 13% Si) неупрочняемый ТО (диаграмма Al-Si- рис. П1). Повышение прочности и пластичности его и некоторых других сплавов достигают модифицированием натрием (перед заливкой литейных форм вводят 1-2% NaF, NaCl). Структура и свойства сплава представлены в табл. 3; микроструктура – на рис. 7 и рис. 53/3/.

Таблица 3. Структура и свойства силумина АК-12

Показатели	Немодифицированный	Модифицированный
Содержание Si в эвтектике, %	11,6	~ 14
Сплав на диаграмме состояния Al-Si	Эвтектический или заэвтектический	Доэвтектический

Структура: сплава, Si в эвтектике, избыточной фазы	$Si + (\alpha + Si)$	$\alpha + (\alpha + Si)$
	Иглы (пластины)	Разветвленные тонкие волокна
	Твёрдые игольчатые кристаллы кремния	Пластичный мягкий α – <i>раствор</i> : Al(Si)

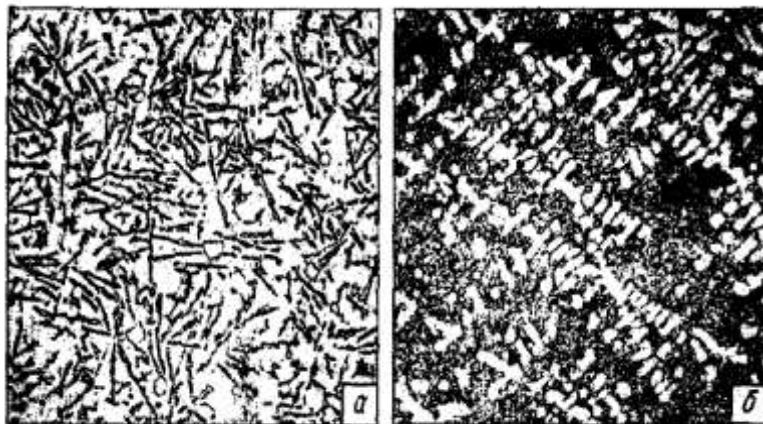


Рис. 7. Микроструктура силумина:
а)-немодифицированного;
б)-модифицированного

Сплав АК 12 применяется в автомобилестроении (картеры, блоки цилиндров), в авиастроении, бытовой технике. Сплавы АЛ3, АК5М, АЛ9М и др. высокой прочности и герметичности, повышенной жаропрочности используют для изготовления головок цилиндров, деталей турбин, насосов и др., работающих при 200 - 250 °С. Поршни отливают из жаропрочных сплавов АК12М2МгН и АК21М2,5 Н2,5. Сплавы износостойки, с низким коэффициентом линейного расширения. Поршни после литья подвергают стабилизирующему старению без закалки (6-12ч при 200 °С).

Высокопрочные и жаропрочные сплавы системы Al-Cu

Как и в дюралюминах в литейных сплавах Al-Cu содержится около 5% меди и 0,8% марганца, но нет магния. Высокие механические свойства имеет сплав АМ5(АЛ19) с измельченной структурой (~ 0,3%Ti). Сплав АМ4,5 Кд более прочен за счёт выделения при искусственном старении (после закалки) очень дисперсной фазы – упрочнителя. Литейные сплавы Al-Cu прочны, пластичны, хорошо свариваются и обрабатываются резанием. Из них изготавливают высоконагруженные детали (головки блоков, корпуса насосов, авиационные детали) и конструкции, длительно работающие при температурах 300 – 400 °С

2. Медь и медные сплавы

2.1. Медь

Медь – металл розовато-красного цвета, тяжелый, непрочный, пластичный (см. табл. П1). Медь принимают за эталон электропроводности (уступает незначительно лишь серебру) и теплопроводности; хорошо обрабатывается давлением, сваривается, паяется и полируется; достаточно коррозионно-стойка (во влажном воздухе тускнеет, т.к. покрывается темно-красным оксидом; если дополнительно имеется CO₂, то на ее поверхности образуется пленка карбоната зеленого цвета – «патина»). Резанием обрабатывается удовлетворительно, кристаллизуется медь в решетку ОЦК, которая модификаций не имеет. Микроструктура ее (рис. 8) отличается наличием двойников – переориентированных участков кристаллической решетки зерна.

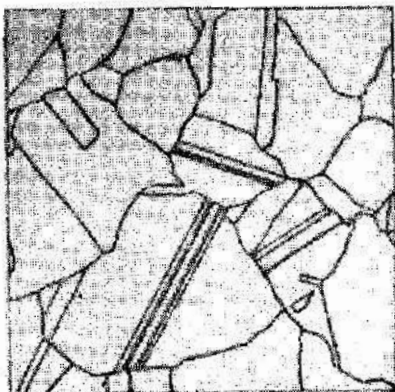


Рис. 8. Микроструктура меди
(полиэдры с двойниками)

Из цветных металлов по объему производства медь занимает второе место за алюминием. Половина выплавляемой меди используется в электротехнике и электронике, другая – идет на получение сплавов.

Недостатки меди: высокая плотность и стоимость, значительная литейная усадка.

Все примеси, особенно P, Al, As, Fe, Sn, снижают электропроводность меди. Механические и технологические свойства меди и сплавов снижают S и O, а Bi и Pb вызывают красноломкость. Особенно вреден кислород, т.к. при нагреве в присутствии водорода образуются пары воды, создающие в металле высокое давление и, в конечном итоге, - вздутия, разрывы, трещины («водородная болезнь меди»).

По ГОСТ 859-2001 промышленность выпускает катодную медь четырех марок (М00к, М0к, М1к, М2к), а также слитки и полуфабрикаты 12 марок (табл. П5).

Маркировка: буква М; цифры, условно обозначающие чистоту и буквы: к – катодная, б – бескислородная, р – раскисленная.

Полуфабрикаты из технической меди поставляются в мягком (отожженном), полутвердом (обжатие $\epsilon = 10-30\%$), и твердом ($\epsilon > 35\%$) состоянии.

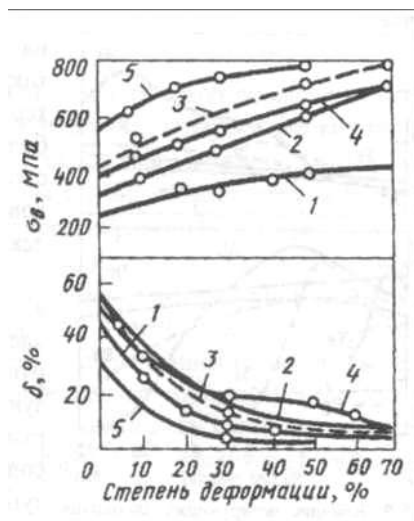


Рис. 9. Влияние степени деформации на свойства меди и латуней:

1-медь;

2-латунь Л68;

3-латунь ЛО70-1;

4-латунь ЛАН 59-3-2;

5-ЛМцА 57-3-1

Холодная пластическая деформация (нагартовка) значительно повышает сопротивление усталостному разрушению и прочность, но снижает пластичность (рис. 9).

2.2. Медные сплавы

2.2.1. Латунь

Латуни – это двойные и многокомпонентные сплавы меди с цинком; самые распространенные медные сплавы, сочетающие высокие механические и технологические свойства.

В меди при 902°C растворяется 32,5 % Zn (см. рис. 47 /3/), с понижением температуры до 454°C растворимость повышается до 39 % (по массе), а затем уменьшается до 35 %. В этой области диаграммы представлена α – латунь, прочность и пластичность которой

повышаются с увеличением содержания цинка. При большей концентрации образуется вторая фаза – β . Это электронное соединение CuZn . С ее появлением относительное удлинение резко уменьшается, а при переходе к однофазному β – сплаву (47 – 50 % Zn) резко снижается и прочность. Поэтому широко используются лишь однофазные (α) и двухфазные ($\alpha + \beta$) латуни. Структура отожженной α – латуни с двойниками (рис. П2) – твердый раствор Zn в Cu, в двухфазной латуни зерна раствора (α) выглядят светлыми.

В деформированных латунях сохраняются напряжения, вызывающие растрескивание их во влажной атмосфере, чему способствуют аммиак, сернистые газы и др. загрязнители воздуха на уровне следов. Это явление называют *сезонной болезнью*, т.к. оно наблюдается во влажные периоды года.

Растрескивание происходит из-за межзеренной коррозии в зонах с неравномерно распределенными остаточными напряжениями при концентрации цинка более 20 % (при содержании Zn > 30 % - очень интенсивно).

Склонность к растрескиванию устраняют отжигом деформированных полуфабрикатов при температурах ниже порога рекристаллизации (при 600 – 700⁰ C).

Маркировка двойных **деформируемых** латуней по ГОСТ 15527 – 70: буква Л и цифра, отражающая **содержание меди**. В частности: Л96, Л90 (96 и 90 % Cu) – так называемые сплавы **томпак** – золотистого цвета, коррозионно-стойкие (изготавливают: знаки отличия, фурнитуру и т.п.).

Латуни Л70, Л68 – **патронные**, из них получают изделия глубокой вытяжкой и холодной штамповкой.

Латунь Л63 называют **торговой** – она на первом месте по объему производства.

В марках сложных латуней после буквы «Л» указывают легирующие элементы (А – алюминий, О – олово и т.д.); первое число за буквами – доля меди; последующие числа, отделенные знаком тире – среднее содержание соответствующих добавок: ЛО90-1 – оловянистая латунь (90 % Cu, $\approx$ 1 % Al); ЛС 60-1 (с 1 % Pb) остальное цинк, как и в двойных латунях.

В сплав ЛМш 68-0,05 вводят (от 0,02 до 0,06 %) мышьяк для снижения обесцинкования.

Простые сплавы (α – латуни) позволяют получать изделия (гильзы, патроны, трубы, ленты, проволоку) при больших степенях деформации. Латунь Л59 двухфазная ($\alpha + \beta$) менее технологична.

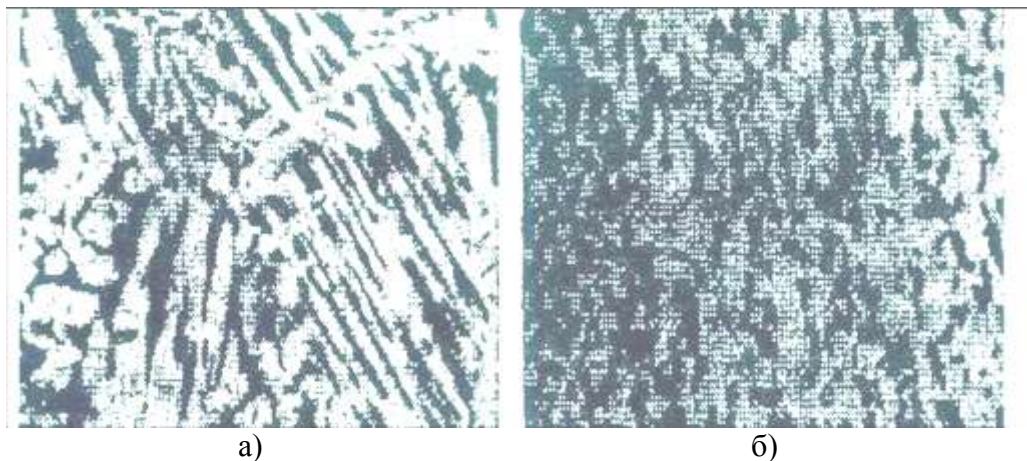


Рис. 10. Структура латуни ЛС 60-1:
а)-литой (дендриты);
б)-прокатанной

Специальные латуни отличаются от простых особыми свойствами. Никелевая ЛН 65-5 хорошо обрабатывается в горячем и холодном состоянии, алюминиевые латуни высокопрочны, оловянные очень стойки в морской воде. Свинцовые латуни (рис. 10) хорошо обрабатываются резанием. Включения свинца служат зародышами кристаллов α –

фазы. Располагаясь не по границам зерен, свинец делает стружку ломкий и в то же время повышает антифрикционные свойства.

Литейные латуни

Это многокомпонентные сплавы, в марках которых по ГОСТ 17711-93 среднее содержание компонента указывается сразу после буквы, означающей его название. Второе отличие от маркировки деформируемых латуней – «остальное» - Cu, а не Zn.

В конце марки добавляют букву «Л», если имеется деформируемая латунь близкого состава.

Примеры:

ЛЦ40 МцЗЖ содержит Zn 40 %, Мн 3 железа 1 %, остальное медь.

ЛЦ16К4 с 4 % Si и около 80 % меди – латунь, литая в кокиль имеет $\sigma_b = 340$ МПа и $\delta = 15$ %. Из нее изготавливают изделия, работающие в морской воде и детали сложной конфигурации для приборов, арматуру, работающие в паровоздушной среде при температуре до 250° С.

Центробежным литьем, под давлением и в кокиль из литейных латуней получают разнообразные фасонные отливки: арматуру (втулки, тройники, переходники), штуцеры гидросистем, сепараторы и втулки подшипников качения, венцы червячных колес, различные антифрикционные детали ответственного назначения.

Особенности литейных латуней:

1. Обладают небольшой склонностью к газопоглощению благодаря действию паров цинка. Поэтому отливки плотные.
2. Благодаря малому интервалу кристаллизации латуни жидкотекучие, малопористы, с незначительной ликвидацией.
3. Имеют высокие механические свойства.
4. Поверхность после полировки приобретает блеск и красивый цвет.
5. Многие латуни обладают высокими антифрикционными свойствами.

2.2.2. Бронзы

Бронзы – сплавы меди с различными легирующими элементами (в т.ч. с цинком как дополнительным элементом). Бронзы прочнее латуней, обладают коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения.

По технологическим свойствам бронзы разделяют на литейные и деформируемые, по составу – оловянные и безоловянные (кремнистые, свинцовые, алюминиевые и др.).

Соединения Cu-Ni выделяют в особую группу сплавов.

Маркировка бронз: буквы Бр, затем **обозначения** легирующих элементов L и их **концентрация** как для латуней: для деформируемых - в конце марки (БрОЦС4-4-2,5), для литейных – за каждым обозначением элемента (БрА11Ж6Н6).

Деформируемые бронзы и их назначение.

Оловянные: БрОФ4-0,25 – полосы, листы, трубки манометров и др. приборов;

БрОЦ4-3 – проволока для пружин, контакты штепселей.

Алюминиевые: БрА7 – втулки, пружины, скользящие контакты;

БрАМц9-2 – детали конденсаторов, шестерни, втулки, червячные винты (см. свойства в табл. П7).

Хромовая: БрХ1 – листы, проволока, электроды контактной сварки, спец. теплообменники.

Серебряная: БрСр0,1 – коммутаторы, коллекторные кольца, обмотки роторов турбогенераторов.

Бериллиевые: БрБ2 и др. (табл.5) – пружины, мембраны, детали часов, неискрящий инструмент и контакты, нагруженные подшипники.

Бериллиевые бронзы отличаются уникальным сочетанием свойств: высокая прочность и упругость ($\sigma_{\text{упр}} = 750-770$ МПа), тепло – и электропроводность.

Таблица 5. Механические свойства бериллиевых бронз

Марка бронзы	Закалка		Закалка и старение по оптимальному режиму		
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
БрБНТ1,9	400...500	38...45	1150...1250	700	4...6
БрБ2	400...500	38...40	1150...1250	600	4...6
БрБНТ-1,7	300...400	45...50	1000...1100	400	5...7

Уменьшающаяся при охлаждении растворимость бериллия в меди (рис. П3) обеспечивает получение пересыщенного α – раствора, а последующее старение сплава при 300°C (3ч) приводит к выделению дисперсной упрочняющей γ – фазы (интерметаллид CuBe), располагающейся и по границам, и внутри зерен α – раствора (рис. П4). Дисперсные частицы сильно тормозят дислокации при малых пластических деформациях, повышают сопротивление и упругость.

Микроструктура литой бронзы БрБ2 (рис. 49 /3/): светлые денуриты α – твердого раствора Be в Cu и межосные включения темного эвтектоида ($\alpha + \gamma$), образующегося при температуре 578°C . Высокая стоимость и токсичность Be ограничивают его применение.

Литийные бронзы

Оловянные. Применяют, как коррозионностойкие, сравнительно прочные, износостойкие материалы. Диаграмма Cu-Sn представлена на рис. П5.

БрОЗЦ12С5 – паро-водяная арматура общего назначения.

БрОЗЦ7С5Н1 – детали, работающие в масле, паре и пресной воде.

БрО5С25 – биметаллические подшипники скольжения.

БрО10Ц2 – антифрикционные детали, вкладыши подшипников (рис. П6 – микроструктура).

Дополнительные легирующие элементы снижают содержание дефицитного олова и улучшают свойства сплавов: Zn улучшает жидкотекучесть и механические свойства; Pb повышает плотность отливок, создает мягкие участки, что необходимо для подшипников; Ni измельчает зерно и улучшает механические свойства. Влияние олова на свойства сплавов отражает рис. П7.

Оловянные бронзы имеют минимальную усадку: при литье в песчаную форму – 0,85, а в кокиль – 1,4 %. Поэтому из них получают сложные фасонные отливки. Лучшие художественные бронзы имеют состав: Cu 80-90, Sn 3-8, Pb 1-3 %. В колокольных бронзах содержится 16-22 % Sn, 2 % Zn.

Безоловянные. Алюминиевые наиболее распространенные. Склонность к ликвации меньше, плотность отливок и жидкотекучесть больше; они прочнее, но по сравнению с оловянными имеют значительную усадку (склонность к образованию трещин).

БрА9ЖЗЛ. Буква Л означает «литейная» т.к. имеется деформируемая бронза близкого состава БрАЖ9-4.

Назначение: арматура, антифрикционные детали.

БрА9Мц2Л - арматура, антифрикционные детали, работающие в жидком топливе и паре при температуре до 250°C .

БрС30 (свинцовая) обладает хорошими антифрикционными свойствами и предназначена для высоконагруженных подшипников (мощных турбин, дизелей, авиамоторов). Из-за невысокой прочности применяется путем заливки на стальной вкладыш (биметалл). Микроструктура представлена на рис. 48 /3/.

3. Индивидуальные задания

3.1. Задания

- Для сплавов (металла и сплава) по варианту задания охарактеризовать (представить):
 - системы (компоненты сплава), добавки и примеси;
 - химический состав (%) по ГОСТ или примерный по марке;
 - микроструктуру (схема или описание);
 - макроструктуру (по необходимости);
 - диаграмму состояния (копия);
 - способ упрочнения;
 - основные показатели свойств;
 - область применения;
 - другие сведения (по необходимости).
- Изучить микрошлиф и зарисовать микроструктуру металла или сплава по заданию преподавателя.

Вариант задания	Наименование металла и сплава								
	Алюминий	Магний	Ковочный сплав	Дюралюмин	Силумин	Высокопрочный сплав	Медь	Латунь	Бронза
1			АК 8						БрБНТ 1,7
2	АД 1								БрА7
3					АК 12			Л 96	
4						В 96 Ц			БрС30
5				Д 16			М 2		
6			АК 6					Л 60	
7	АД 0								БрАМц 9-2
8		АМг 3					М 3		
9	АД 00								БрБ2
10						АМ 5	М 00		
11		АМг 1							БрО10Ц2
12		АМг 2						ЛС 60-1	
13					АК 5М			Л 80	
14				Д 19				ЛМц 58-2	
15		АМг 5					М 0		
16				Д 1				ЛЦ 16 К4	

Форма отчета

Лабораторная работа 10

Цветные металлы и сплавы

- Алюминий и медь: микроструктуры (рисунки и описания) и элементарные кристаллические ячейки алюминия и меди. Марки и состав (%) металлов технической чистоты. Применение (кратко) и основные сравнительные показатели: ρ , σ_b , δ , НВ (в виде ленточных диаграмм: ρ_m , ρ_a , δ_m , δ_a и тд.).
- Двойная диаграмма состояния сплавов Al – легирующий элемент.
- Основные группы медных и алюминиевых сплавов.
- Микроструктура (рисунок) исследованного по заданию преподавателя материала.

5. Индивидуальное задание.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №10 (2 часа).

Тема: «Расчет шихты»

2.1.1 Цель работы. Изучение методики и овладение навыками расчета состава шихты.

2.1.2 Задачи работы:

1. Для чугуна данной марки, состав которого приведен в табл.1, определить состав шихты.
2. Составить отчет.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.1.4 Описание (ход) работы:

I. Расчет химического состава шихты

Для определения химического состава шихты (набора плавильных материалов) необходимо знать химический состав чугуна (табл. 1) и угар элементов шихты при ее плавке (табл. 2).

Таблица 1. Состав серого чугуна и угар элементов

Вариант	Марка	Содержание элементов, %					Угар. %	
		C	Si	Mn	P	S	Si	Mn
1	СЧ10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15	10	20
2	СЧ10	то же					15	16
3	СЧ15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15	15	17
4	СЧ15	то же					12	20
5	СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15	14	15
6	СЧ20	то же					12	18
7	СЧ25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15	12	18
8	СЧ25	то же					15	15
9	СЧ30	3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12	10	20
10	СЧ30	то же					15	16
11	СЧ35	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,1	0,2	0,12	14	15
12	СЧ35	то же					12	20
13	СЧ40	2,5-2,7	2,5-2,9	0,2-0,4	0,02	0,02	10	20
14	СЧ40	то же					15	16
15	СЧ45	2,2-2,4	2,5-2,9	0,2-0,4	0,02	0,02	11	20
16	СЧ45	то же					14	15

Таблица 2 . Угар элементов

Элементы шихты	Угар в % по весу при плавке	
	в вагранке	в пламенной печи
Кремний	10-15	25-50
Марганец	15-20	30-60
Сера	50 - 60 пригар	25-50
Углерод	-	10-30

Расчет ведется по двум элементам: кремнию и марганцу.

Пример. Отливки из чугуна марки СЧ 20 должны содержать кремния 2%, марганца - 0,6% . Угар кремния составляет 10%, марганца - 20%. Определить химический состав шихты. Содержание любого химического элемента в шихте можно найти по зависимости

$$K_{ш} = \frac{K_{отл}}{(100 - U_r)} \cdot 100, \quad \%,$$

где $K_{ш}$, $K_{отл}$ - содержание элемента соответственно в шихте и в отливке (чугуне); U_r - угар данного элемента, %.

Обозначим содержание в шихте кремния через X , а марганца через Y ,

$$X = \frac{2}{0,90} = 2,2\%; \quad Y = \frac{0,6}{0,80} = 0,75\%,$$

Таким образом, химический состав шихты определен.

2. Графический способ расчета количественного состава шихты

В чугунолитейном производстве шихта составляется из доменных чушковых (литейных) чугунов и металлолома известного состава. Задача сводится к определению марок чушкового чугуна, а затем их соотношения.

Методика графического расчета. На листе миллиметровой бумаги строят график, на который в координатах "Содержание кремния - содержание марганца" наносят точки, соответствующие составам имеющихся на складе чушковых чугунов и металлолома. Точки нумеруют порядковыми номерами таблицы 3 и соединяют прямыми линиями. При этом образуется многоугольник (рис. 1, а). Затем наносят на график точку А, соответствующую химическому составу шихты.

Таблица 3. Состав чушкового чугуна

Марка чушкового чугуна	Химический состав %		
	Углерод	Кремний	Марганец
1 ЛК - 0	3,5 - 4,0	3,26 - 3,75	0,5 - 1,3
2 ЛК - 1	3,6 - 4,1	2,76 - 3,25	0,5 - 1,3
3 ЛК - 2	3,7 - 4,2	2,26 - 2,75	0,5 - 1,3
4 ЛК - 3	3,8 - 4,3	1,76 - 2,25	0,5 - 1,3
5 ЛК - 4	3,9 - 4,4	1,26 - 1,75	0,5 - 1,3
6. ЧВ 2	3,7 - 4,4	0,5 - 1,0	0,2 - 0,6
7. Чугунный лом	2,8 - 3,3	1,5 - 2,2	0,6 - 1,0

Если точка А располагается внутри многоугольника, то это означает, что для отливки из заданного чугуна можно составить шихту из имеющихся шихтовых материалов. Если точка А располагается на прямой, соединяющей две точки многоугольника, то шихту можно составить из двух компонентов. Наконец, если точка А располагается вне многоугольника, это означает, что шихту из этих материалов составить нельзя. Чаще всего, шихта составляется из 3-х компонентов, один из которых - чугунный лом. Поэтому из имеющихся на графике точек выбирают и строят треугольник, с таким расчетом, чтобы точка А оказалась внутри и чтобы одной из вершин этого треугольника являлась точка 7(чугунный лом). Построением такого треугольника решается задача выбора *качественного состава шихты*. В нашем примере шихта составляется из чушковых чугунов ЛК-1, ЛК-3 и чугунного лома (точки 2,4,7).

Для определения количественного соотношения выбранных шихтовых материалов в построенном треугольнике проводят прямые линии (рис. 1б) из вершины каждого угла через точку А до пересечения с противоположной стороной. В результате получают отрезки линий, разделенных точкой А. Эти отрезки используют для определения

количественного состава шихты, для чего строят еще один график (рис. 1d). При этом берут отрезок произвольно выбранной прямой ВС и делят его на 100 равных частей. Каждая часть соответствует 1 % или 1 кг. Из точек В и С под произвольным углом проводят две параллельные прямые ВВ' и СС'. На прямой ВВ' откладывают отрезки, расположенные между вершинами треугольника и точкой А, а на прямой СС' откладывают отрезки расположенные между точкой А и противоположными сторонами треугольника. Полученные точки соединяют прямыми линиями, которые на прямой ВС отсекут отрезки, соответствующие количественному соотношению выбранных компонентов.

В нашем примере получен следующий состав шихты.

1. Чугун ЛК -1 (Si =3,3 %, Mn = 0,7 %) - 20 %
2. Чугун ЛК - 3 (Si = 2,25 %, Mn = 0,5%) -37,5%
3. Чугунный лом (Si = 1,7%, Mn= 1,0 %) - 42,5 %

3. Аналитический способ расчета количественного состава шихты

Аналитический расчет ведут также по двум элементам - кремнию и марганцу на 100 % или 100 кг шихты. Заключается он в составлении и решении трех уравнений с тремя неизвестными. В нашем примере для отливки из чугуна марки СЧ 20 шихта должна содержать кремния 2,2, марганца - 0,75 %; известен состав литейных чугунов (ЛК-1 и ЛК-3) и чугунного лома.

Порядок аналитического расчета.

Обозначим количество чугуна ЛК - 1 через **X**, чугуна ЛК - 3 через **Y**, чугунного лома - через **Z**, тогда первое уравнение, представляющее собой весовой баланс всех шихтовых материалов, будет иметь вид

$$X + Y + Z = 100 \quad (1)$$

Два других уравнения будут представлять собой весовые балансы кремния и марганца, вносимые в шихту ее отдельными компонентами.

$$\text{Баланс кремния } 3,3 X + 2,25Y + 1,7Z = 2,2 \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{Баланс марганца } 0,7X + 0,5Y + 1,0Z = 0,75 \cdot 100 \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1, 2, 3) определяют X, Y, и Z , т.е. количественное соотношение компонентов в шихте.

Форма отчета

Лабораторная работа 10

Тема. Расчет шихты

Задание ...(см. выше)

Исходные данные по варианту...

Марка чугуна	Химический состав чугуна, %					Угар,%	
	C	Si	Mn	P	S	Si	Mn

Порядок расчета

1. Расчет химического состава шихты.
2. Расчет количественного состава шихты графическим способом.
3. Расчет количественного состава шихты аналитическим способом.
4. Вывод (результаты решения).

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №11 (2 часа).

Тема: «Разработка технологического процесса изготовления отливки»

2.1.1 Цель работы. Освоить основные принципы конструирования модельного комплекта и разработки технологического процесса изготовления отливок.

2.1.2 Задачи работы:

1. Для заданной детали спроектировать и заэскизировать модель отливки, стержень и литниковую систему.
2. Разработать технологию и составить карту основных операций изготовления формы.
3. Изобразить собранную форму с указанием ее элементов.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.1.4 Описание (ход) работы:

Задания. Размеры деталей

Вариант задания	Шифр детали	Размеры детали, мм									
		L	l ₁	l ₂	D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d	d ₁
1.	I	300	180	60	240	150	-	-	-	60	-
2.	I	200	160	20	140	100	-	-	-	60	-
3.	I	400	300	50	300	200	-	-	-	100	-
4.	II	240	180	60	150	-	-	-	-	100	60
5.	II	180	140	40	120	-	-	-	-	80	50
6.	II	300	220	80	200	-	-	-	-	160	100
7.	III	250	230	20	200	100	-	-	-	60	20
8.	III	200	180	20	160	80	-	-	-	40	18
9.	III	150	125	25	150	80	-	-	-	40	20
10.	IV	150	130	30	320	290	270	100	90	50	-
11.	IV	140	120	20	300	270	250	90	80	60	-
12.	IV	120	100	15	250	220	200	90	80	50	-
13.	V	340	300	20	170	120	140	80	-	100	50
14.	V	300	260	20	190	140	160	100	-	120	70
15.	V	250	210	20	150	100	130	60	-	80	30
16.	V	220	180	20	140	90	100	60	-	70	20

Задания. Эскизы деталей

Шифр детали	Эскиз детали
I II III IV V	

1. Проектирование модели отливки

1.1. Общие положения

Модель - приспособление, предназначенное для получения рабочей полости в литейной форме. Основным исходным документом для разработки чертежа (эскиза) модели, стержневого ящика и отливки является чертеж детали, который выполняется с

простановкой всех технологических указаний, необходимых для изготовления модельного комплекта, формы и стержней.

При конструировании модели и стержневого ящика на чертеже (эскизе) детали указываются: плоскость разъема модели и литейной формы, положение отливки в форме, стержни и их знаки, чистота (шероховатость) обрабатываемых поверхностей, припуски на механическую обработку, формовочные уклоны и галтели.

1.2. Обозначения разъемов модели и формы

Прямую плоскость разъема модели и формы изображают прямым отрезком основной линии (ломаную плоскость - ломаным отрезком), над которым проставляют буквенное обозначение разъема МФ (если модель неразъемная - только Ф). Направление разъема изображают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной линии разъема.

1.3. Выбор поверхности разъема формы делают с учетом следующих положений:

форма и модель, по возможности, должны иметь одну, желательно плоскую горизонтальную, поверхность разъема;

в симметричных изделиях плоскость разъема должна проходить через ось симметрии; всю отливку, если позволяет конструкция, нужно располагать в одной (лучше в нижней) полуформе во избежание перекосов;

модель должна свободно извлекаться из формы.

1.4. Положение отливки в форме

Наиболее ответственные рабочие части, плоские протяжённые поверхности; места, подлежащие механической обработке, по возможности, располагать внизу, в крайнем случае - вертикально или наклонно. Это уменьшит вероятность образования газовых, земляных, шлаковых и усадочных раковин.

Формы для отливок, имеющих конфигурацию тел вращения (гильзы, втулки, барабаны) с обрабатываемыми наружными и внутренними поверхностями лучше заливать в вертикальном положении. Иногда формовку выполняют в одном положении, а заливают форму в другом.

Положение отливки в форме обозначают буквами В (вверх) и Н(низ), которые проставляют у стрелок, указывающих направление разъема формы.

1.5. Определение припусков на механическую обработку

Отливки используются в основном в качестве заготовок, которые подвергаются дальнейшей механической обработке с целью получения заданных размеров и необходимой чистоты (шероховатости) поверхности. С этой целью на поверхностях отливки, подлежащих механической обработке, предусматривают припуски. **Припуски** назначают в зависимости от габаритных размеров отливки, класса точности деталей и положения обрабатываемой поверхности в форме при заливке ее жидким металлом. Припуск для обрабатываемой поверхности в верхней части отливки выбирают больше, чем для поверхностей, расположенных в нижней и боковой частях отливки. Это объясняется скоплением газов и неметаллических включений в верхних частях отливок.

В соответствии с ГОСТом 26645-85 припуски на обработку (на сторону) устанавливают в зависимости от допусков размеров отливки дифференцированно для каждого элемента. Допуски определяют в зависимости от номинальных размеров отливки.

Классы точности отливок зависят от способа литья, наибольших габаритных размеров отливок, вида сплава. Для отливок из серого чугуна с габаритами до 630 мм, получаемых в песчаных формах классы точности назначают от 7-го до 12-го. Для сложных (со стержнем) отливок, получаемых мелкосерийно и индивидуально можно принять 10 класс.

Таблица 1. Допуски линейных размеров отливок по 10 классу точности

Номинальный размер, мм	17-25	26-40	41-63	64-100	101-160	161-250	251-400
Допуск, мм	2,0	2,2	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0

Для тех же условий ряды припусков 2-4. Принимаем 4-й ряд (табл.2).

Таблица 2. Основные припуски на механическую обработку отливок

Допуски размеров отливок, мм	1,61 -2,00	2,01-2,40	2,41-3,00	3,01-4,00
Основной припуск, мм: низ или бок,	3,4-4,2	3,8-4,6	4,2-5,0	5,0-6,5
верх отливки	4,2-5,0	4,6-5,5	5,0-6,5	5,5-7,0

Указания. Составить таблицу, в верхней строке которой проставить все номинальные (измеряемые при механической обработке) размеры обрабатываемых поверхностей. Во второй строке записать выбранные из табл. 1 допуски и в третьей строке - соответствующие им припуски.

Нанести припуски на эскиз детали. Припуск обозначают тонкой сплошной линией у обрабатываемой поверхности. Значение припуска проставляют перед знаком шероховатости поверхности детали.

1.6. Формовочные уклоны

Формовочными называют уклоны, выполненные на вертикальных стенках модели, стержневых ящиков, а также на углублениях и выступах элементов модельного комплекта. Если в отливке предусмотрены конструктивные уклоны, то формовочные не делают.

Формовочные уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы или стержня из ящика. Значения уклонов принимать по табл.3.

Таблица 3. Формовочные уклоны поверхностей, образующих полость формы, β

Высота h поверхности модели, извлекаемой из формы, мм	Деревянная модель	Металлическая или пластмассовая модель
До 20	3°	1°30'
21-50	1°30'	1°
51-100	1°	0°45'
101-200	0°45'	0°30'
201-300	0°30'	0°30'
301-800	0°30'	0°20'

Формовочные уклоны на обрабатываемых поверхностях отливки следует выполнять сверх припуска на механическую обработку, на необрабатываемых поверхностях - в зависимости от того сопрягаются они или не сопрягаются с другими деталями.

1.7. Припуск на усадку сплава

Усадкой называют уменьшение объема сплава при его кристаллизации и при охлаждении в твердом состоянии. На усадку данного сплава влияют размеры и форма отливки, свойства формовочных материалов. Так, крупные и круглые полые отливки практически не дают усадки по диаметру, в то время как по высоте она будет. Усадка может быть неполной из-за торможения ее литейной формой.

Предположим, что усадка заданной отливки равномерна во всех направлениях и составляет для серого чугуна 0,8%. Нужно вычислить значения усадки для габаритных размеров отливки и отверстий под стержни. Полученные значения учесть при выполнении

эскиза модели.

1.8. *Галтели* - закругления внутренних углов модели (и отливки). Галтели предотвращают осыпание формовочной смеси при извлечении модели из формы. Радиусы галтелей составляют от 1/5 до 1/3 средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки $R_f = 0,5 \cdot (a + b)$.

Стандартные значения радиусов выбрать из ряда: 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 и 40 мм.

2. Проектирование стержня

Стержень - это элемент литейной формы, служащий для образования отверстия (внутренней полости) отливки. Диаметр (толщина) стержня рассчитывается исходя из соответствующего размера внутренней полости детали с учетом припусков на механическую обработку и усадку материала по формуле

$$D_{ст} = D_{отв.} - \delta + \varepsilon,$$

где $D_{отв.}$ - диаметр отверстия детали, мм; δ - припуск на механическую обработку, мм; ε - усадка отливки по диаметру отверстия, мм.

Для установки и закрепления стержней в форме на них предусматриваются стержневые знаки. Размеры знаков горизонтальных и вертикальных стержней выбирают в соответствии с ГОСТ 3606 - 80 по табл. 4, а уклоны - по табл. 5.

Таблица 4. Длина горизонтальных и высота нижних вертикальных знаков

Диаметр стержня, мм	Размеры знаков, в мм не более при длине стержня, в мм															
	до 50		51-80		81-120		121-180		181-250		251-315		316-400		401-500	
	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер	гор	вер
до 30	20	20	25	30	30	30	35									
31-50	20	20	25	35	30	35	35	35	45	50	50	60		60		70
51-80	20	25	25	35	30	35	40	35	50	40	55	50	60	60	70	70
81-120	20	25	25	35	35	35	45	35	55	40	60	50	70	60	80	70

Высоту верхних вертикальных знаков принимают не более 0,5 высоты нижних.

Таблица 5. Уклоны знаков в градусах

Высота знака, мм	Знак вертикального стержня		Знак горизонтального стержня, α
	нижний	верхний	
до 30	10	15	4
31 - 50	7	10	3
51 - 80	6	8	2

Примечание. Высота горизонтального цилиндрического знака принимается равной половине его диаметра.

На чертеже детали стержни и их знаки изображаются сплошной тонкой линией с нанесением штриховки по контуру.

После определения припусков, уклонов, радиусов галтелей и проектирования стержня эскиз детали дополняется элементами литейной технологии (рис.1) и вычерчивается эскиз модели с указанием всех линейных и угловых размеров (рис.2).

3. Расчёт литниковой системы

Литниковая система служит для подвода металла в полость литейной формы, улавливания шлака и состоит из литниковой чаши, стояка, шлакоуловителя и выпоров (рис.3).

Стояк и выпоры имеют форму усеченного конуса с уклоном от 3 до 5°. Шлакоуловитель и питатель в поперечном сечении имеют форму трапеции.

При формовке шлакоуловитель, стояк, литниковая чаша и выпоры располагаются в верхней полуформе, а питатели - в нижней.

Расчет литниковой системы сводится к определению площади поперечных сечений ее элементов.

Площадь сечения питателя можно определить по эмпирической формуле:

$$F_{\text{п}} = C \sqrt{M}, \text{ см}^2$$

где С - коэффициент, зависящий от средней толщины стенки отливки; М - масса отливки, кг.

Таблица 6. Значения коэффициента С

Толщина стенок отливки, мм	Значение коэффициента С
до 5	0,8
8-15	0,65
15-30	0,55
свыше 30	0,50

Площадь сечений шлакоуловителя и стояка в основании определяется из соотношения $F_{\text{п}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,1 : 1,5$

Сечение выпора принимают равным 0,6 - 0,85 сечения стояка.

Для предупреждения образования усадочных раковин в некоторых (например, толстостенных) отливках необходимо предусмотреть специальные приливы - прибыли, масса расплава в которых принимается от 0,8 до 1,5 массы питаемого узла.

14. Выбор основных операций изготовления литейной формы

Последовательность выполнения операций формовки и их содержание зависят от вида модели (разъемная или неразъемная), наличия или отсутствия стержней, размеров отливки и других факторов.

Для мелких (до 100 кг) и средних ($M > 100$ кг) отливок ручное изготовление формы в двух опоках по разъемной модели со стержнем можно назначить в следующем порядке.

1. На подмодельную плиту установить нижнюю часть модели, модель питателя (рис. 4) и нижнюю опоку разъемом вниз.
2. Просеянную облицовочную смесь уплотнить руками на полумоделе слоем 20-30 мм.
3. Насыпать в опоку слой наполнительной смеси высотой 50 - 70 мм и уплотнить его трамбовкой. Повторять эту операцию до получения небольшой выпуклости над краями опоки.
4. Срезать линейкой излишки формовочной смеси и сделать иглой вентиляционные каналы.
5. Повернуть нижнюю опоку на 180°, установить на нее верхнюю опоку. На нижнюю часть модели установить ее верхнюю часть, разместить модели шлакоуловителя 3, стояка 2 и выпоров 7.
6. Плоскость разреза посыпать разделительным песком и повторить операции формовки 2,3,4.
7. Вырезать литниковую чашу 1 и извлечь модели стояка и выпоров.
8. Верхнюю полуформу снять и установить на плиту плоскостью разреза вверх.
9. Извлечь половинки модели отливки, модели шлакоуловителя и питателя. Исправить поврежденные места формы гладилками, ланцетами, ложечками.
10. Рабочую полость формы припылить серебристым графитом. В отпечатки нижней полуформы установить стержень 5, форму собрать под заливку металлом. Заполнить карту операций изготовления литейной формы (табл. 7).

Таблица 7. Карта основных операций изготовления формы

Наименование операции	Применяемый инструмент

Форма отчета

Лабораторная работа 11

Тема.

Задание.

1. Эскиз детали по варианту задания (рис. 1) с указанием элементов литейной технологии (плоскость разъема, положение отливки, припуски, уклоны, галтели).
2. Краткое пояснение, расчеты.
3. Эскиз модели (рис.2).
4. Расчет литниковой системы и ее эскиз (рис. 3).
5. Схема литейной формы (рис. 4).
6. Карта основных операций формовки.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №12 (2 часа).

Тема: «Разработка технологического процесса изготовления поковки»

2.1.1 Цель работы. Ознакомиться с методикой разработки технологии и составлением технологической карты на изготовление поковки.

2.1.2 Задачи работы:

Для заданной детали:

1. Составить эскиз поковки.
2. Рассчитать размеры и массу заготовки.
3. Выбрать кузнечное оборудование и инструмент.
4. Выбрать нагревательное устройство и определить режимы нагрева и охлаждения заготовки.
5. Выполнить техническое нормирование.
6. Назначить кузнечные переходы.
7. Составить технологическую карту на изготовление поковки.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.1.4 Описание (ход) работы:

Вариант	Шифр поковки	Размеры детали в мм							
		L (H)	Д	Д ₁	Д ₂	l	l ₁	l ₂	d
1	1	300	180	150	100	150	80	70	

Задания по вариантам. Размеры деталей.

2	1	220	90	60	40	80	90	50	
3	2	260	100	65	50	90	100	70	
4	2	380	175	110	80	190	100	90	
5	3	120	70	40	-	30	90	-	
6	4	180	90	60	70	50	60	70	
7	3	280	100	70	-	80	200	-	
8	5	190	85	45	60	40	100	50	
9	5	260	105	65	80	70	110	80	
10	5	320	120	80	100	130	130	60	
11	6	30	90	-	-	-	-	-	30
12	6	55	115	-	-	-	-	-	45
13	6	70	155	-	-	-	-	-	65
14	7	120	100	-	-	-	-	-	60
15	7	180	180	-	-	-	-	-	60
16	7	210	220	-	-	-	-	-	100

Задания. Эскизы поковок и деталей

Шифр поковки	Эскиз детали - внутренний контур, эскиз поковки - наружный
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6, 7.	

1. Составление чертежа поковки

Чертеж (эскиз) поковки составляется по чертежу детали. Размеры поковки по сравнению с размерами готовой детали корректируются с учетом припуска на механическую обработку. Кроме того, на все размеры поковки назначаются допуски. Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах, регламентированы ГОСТ 7829-70. Припуски на диаметры круглых поковок (валов) с выступами и уступами назначаются по табл. 1. При этом, припуски на длину уступов принимаются кратными припуску на диаметр выступа наибольшего сечения, а припуск на общую длину поковки принимают равным 2,5 припуска на диаметр наибольшего сечения

Припуски на поковки-цилиндры, кольца и т.п. назначаются по табл. 2.

Поковки сложной формы иногда получают с **напуском** – дополнительным объемом металла (под канавки, стопорные кольца), который упрощает форму поковки и процессковки.

Указание 1. Припуски на все номинальные размеры записать в отчет по лабораторной работе. Для упрощения расчета предельные отклонения не указывать.

Длина детали, мм	Припуски и предельные отклонения при диаметре детали D, мм

Таблица 1. Припуски и предельные отклонения на диаметры
для поковок - валов

	до 50	св. 50 до 70	св. 70 до 90	св. 90 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 200	св. 200 до 250
До 250	5±2	6±2	8±2	9±3	-	-	-
Св. 250 до 500	6±2	7±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3
Св. 500 до 800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4

Таблица 2. Припуски и предельные отклонения на поковки - диски,
втулки с отверстиями, мм

		до 50	св 50 до 65	св 65 до 80	св 80 до 100	св 100 до 125	св 125 до 150	св 150 до 180	св 180 до 215
св 80 до 110	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±2	-
	D, L, B	7±2	8±2	9±2	10±2	10±2	11±3	12±4	-
	d	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2	17±3	18±4	-
св. 110 до 150	H	7±2	8±2	9±2	9±2	10±2	11±3	12±4	13±4
	D, L, B	9±2	9±2	10±2	11±3	11±3	12±4	13±4	14±5
	d	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5
св. 150 до 200	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4
	D, L, B	10±3	10±3	11±3	12±4	12±4	13±4	13±5	14±5
	d	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5
Св. 200 до 250	H	8±3	9±3	9±3	10±3	11±4	12±4	13±4	14±5
	D, L, B	11±3	11±3	12±3	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5
	d	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±4	20±4	21±5

Эскиз поковки рекомендуется выполнить отдельно. Допустимо совмещение эскизов поковки и детали как это показано на рис. 1.

2. Расчет массы и размеров заготовки

Исходной заготовкой для свободнойковки мелких и средних поковок служит прокат. Расчет заготовки из проката включает в себя определение ее объема, массы, поперечного сечения и длины. Объем заготовки определяется из уравнения:

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{пок.}} + V_{\text{обс.}} + V_{\text{уг.}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{пок.}}$ - объем поковки. Определяется как сумма элементарных объемов, на которые

разбивают поковку; $V_{обс.}$ - объем обсечек, принимается равным 5-8 % от объема заготовки; $V_{уг.}$ - угар металла (окалину) принимаем равным 2-5% от $V_{заг.}$.

В среднем можно принимать $(V_{обс.} + V_{уг.}) \cong 10\%$ от объема заготовки. Тогда уравнение (1) преобразуется следующим образом

$$V_{заг.} = V_{пок.} + 0,1V_{заг.}; \quad 0,9V_{заг.} = V_{пок.} \quad (2)$$

$$V_{заг.} = V_{пок.}/0,9 \quad (3)$$

Указание 2. Все промежуточные расчетные данные при определении объема поковки свести в таблицу 3.

Таблица 3. К расчету объема поковки

Элементарный объем V_i	Площадь сечения F_i , $см^2$	Длина (высота) l_i , см	Объем V_i , $см^3$
I			
II			
III			

При изготовлении пустотелых поволоков в расчет принимается еще объем на выдру V_B тогда

$$0,9V_{заг.} = V_{пок.} + V_B \quad (4)$$

При прошивке сплошным прошивком с подкладными кольцами

$$V_B = 0,75 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_B \quad (5)$$

где d - диаметр отверстия поковки; h_B - высота выдры, принимается равной высоте отверстия.

Масса заготовки $M_{заг}$ определяется исходя из рассчитанного объема и плотности металла

$$M_{заг} = V_{заг} \cdot \gamma, \quad (6)$$

где γ - плотность стали, равная 7,8 г/см³.

После определения массы заготовки приступают к расчету ее размеров.

Площадь поперечного сечения заготовки находят с учетом значения уковки (коэффициента уковки), определяющей степень деформации металла, от которой зависит размер зерна.

Уковка при *вытяжке* заготовки характеризует уменьшение её поперечного сечения

$$U_B = \frac{F_{заг}}{F_{max}}, \quad (7)$$

а при *осадке* - увеличение сечения

$$U_0 = \frac{F_{max}}{F_{заг}}, \quad (8)$$

где U - уковка, для проката принимается равной 1,3 -1,5; $F_{заг}$ - рассчитываемая площадь поперечного сечения заготовки; F_{max} - максимальная площадь поперечного сечения поковки.

При изготовлении поковки осадкой необходимо соблюдать следующее правило: высота (длина) заготовки должна быть не более 2,5 диаметра её во избежание изгиба при осадке.

На основании рассчитанной площади поперечного сечения заготовки по ГОСТ 2590 выбирают ближайший больший размер сечения проката. Стандартные диаметры и соответствующие им площади поперечного сечения круглого проката приведены в табл. 4.

Таблица 4. Поперечные сечения проката

Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, см ²	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, см ²
50	19,64	120	113,10
53	22,06	125	122,72
56	24,63	130	132,73
60	28,27	140	153,94
63	31,17	150	176,72
65	33,18	160	201,06
70	38,48	170	226,98
75	44,18	180	254,47
80	50,27	190	283,53
85	56,75	200	314,16
90	63,62	210	346,36
95	70,88	220	380,13
100	78,54	240	452,39
105	86,59	250	490,88
110	95,03		

Длина заготовки определяется по формуле

$$L = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{\text{з.т.}}}, \text{ см} \quad (9)$$

где $F_{\text{з.т.}}$ - площадь поперечного сечения проката, принятая по таблице.

3. Выбор кузнечного оборудования и инструмента

При разработке технологического процессаковки важное значение имеет правильный выбор оборудования и определение мощности молота, которая характеризуется массой падающих частей. Молоты подбираются в зависимости от размеров заготовки по табл.5.

Таблица 5. Мощность молотов

Диаметр поперечного сечения заготовки, мм	50	60	70	85	100	115	135	160	225	275	300
Масса падающих частей, кг	100	150	200	300	400	500	750	1000	2000	3000	5000

Инструмент для машинной свободнойковки делится на три группы: для обработки, для удержания и для измерения поковок. К инструменту для обработки поковок относятся бойки молота, обжимки - для отделки поверхностей, пережимки для образования различных углублений, раскатки - для местной вытяжки, топоры - для рубки металла, прошивни (при изготовлении отверстий диаметром более 25 мм) и пробойники. Для удержания поковок применяются различные клещи. Для измерения поковок используют линейки, кронциркули и шаблоны.

4. Выбор нагревательного устройства и определение режимов нагрева и охлаждения

Для нагрева поковок наибольшее распространение получили пламенные и электрические печи камерного типа. В условиях мелкого ремонтного производства применяют еще горны открытого типа.

Обоснование режима нагрева заключается в правильном выборе максимальной температуры, времени выдержки и скорости нагрева заготовки. Максимально допустимая температура нагрева перед ковкой для углеродистых сталей должны быть ниже их температуры плавления примерно на 150°С. Эту температуру принимают несколько выше

температуры начала ковки T_n с учетом остывания заготовки при передаче её после нагрева к молоту.

Температура конца ковки углеродистых сталей T_k устанавливается на 50 - 70° выше линии GSK диаграммы железо - цементит. Ниже этой температуры в процессе ковки возможен наклеп металла и появление в нем трещин, а также преждевременный износ оборудования. Окончание ковки при температуре значительно превышающей расчетную T_k приводит к получению перегретого крупнозернистого металла. Рекомендуется заканчивать ковку при температуре выше T_k на 20 - 30°C.

По табл. 6 определить температурный интервал ковки заданной стали - выписать температуры T_n и T_k .

Таблица 6. Температурные интервалы ковки сталей

Марка стали	Температура, °С		
	T_n	T_k	пережога
Ст 2, Ст 3, 10, 15,	1300	700	1470
18, 20, 30, 35	1280	750	1400
40, 45, 50	1260	760	1350
55, 60	1230	760	1300
15X, 20X	1250	760	1300
30X, 30XГС	1240	800	-
40X, 50X, 40ХН	1250	800	-

Продолжительность нагрева и необходимой выдержки заготовок в печи определяется по формуле

$$t = k \cdot D \cdot \sqrt{D}, \text{ час} \quad (10)$$

где t - минимальное время нагрева заготовки, час; k - коэффициент, равный 10 для низкоуглеродистой и низколегированной и 20 - для высокоуглеродистой и легированной стали; $D(B)$ - диаметр круглой или сторона квадратной заготовки, м.

Важной операцией получения качественных поковок является их охлаждение, поэтому в технологических картах должен указываться способ охлаждения.

Поковки из мало- и среднеуглеродистых сталей охлаждают на воздухе. Поковки из высокоуглеродистых и легированных сталей размером до 100 мм охлаждают на воздухе, при размерах 100 - 200 мм в штабелях на воздухе и при размерах 200 - 300 мм - в колодцах на воздухе.

5. Техническое нормирование ковки

Наличие вполне определенного температурного интервала для пластической деформации металла $T_n - T_k$ дает возможность определить время ковки. Определив время остывания в пределах температурного интервала ковки, тем самым определяют время ковки. В зависимости от конфигурации и размеров поковка изготавливается с одного или нескольких нагревов. Умножив количество нагревов на время остывания, получают общее время, необходимое для изготовления поковки. Продолжительность остывания $t_{ост}$ определяется по формуле

$$t_{ост} = C \cdot m, \text{ мин} \quad (11)$$

где C - температурный фактор, зависящий от температуры начала ковки, выбирается по табл. 7; m - геометрический фактор, зависящий от размеров заготовки, определяется по формуле.

$$m = \frac{1}{\frac{1}{L} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}}, \quad (12)$$

где L, b, h, - соответственно длина, ширина и толщина заготовки, мм.

Таблица 7. Температурный фактор C

Начальная температура ковки, °C	1000	1100	1200	1250	1300
Значение C	0,12	0,20	0,25	0,27	0,28

Оперативное время ковки $t_{оп}$ определяется по формуле

$$t_{оп} = n \cdot t_{ост}, \quad (13)$$

где n - количество нагревов для изготовления поковки.

Количество нагревов устанавливают исходя из следующих соображений: простые по форме поковки (валики, фланцы, втулки и т.д.) при длине заготовки до 1500 мм требуют один нагрев; поковки средней сложности (многоступенчатые валы, тяги с головками, шатуны и т.п.) требуют два нагрева; сложные поковки при длине свыше 1500 мм требуют три нагрева.

Норму времени t_H определяют по формуле

$$t_H = 1,25t_{оп} + \frac{t_{пз}}{n_{шт}} \quad (14)$$

где $t_{пз}$ - подготовительно-заключительное время; принимается равным: для простых поковок 6 мин, для поковок средней сложности - 8 мин, для сложных поковок - 10 мин; $n_{шт}$ - количество поковок в партии.

6. Назначение кузнечных переходов

При разработке технологии ковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов и минимуму отходов металла. Кузнечные переходы, их последовательность зависят от конфигурации поковки и технических условий на её изготовление. Выбранные переходы и промежуточные размеры заготовки заносят в технологическую карту. Пример составления технологической карты на изготовление поковки из проката методом свободной ковки приводится в табл. 8.

Таблица 8. Технологическая карта на изготовление поковки

Форма отчета

Лабораторная работа 12

Тема. Разработка технологического процесса изготовления поковки

1. Задание.
2. Построение чертежа поковки.
3. Технологические расчеты.
4. Составление карты технологического процесса изготовления заданной поковки.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.13 Лабораторная работа №13 (2 часа).

Тема: «Оборудование для газовой сварки и резки металлов»

2.13.1 Цель работы. Ознакомление с устройством и работой оборудования для газовой сварки и резки металлов

2.13.2 Задачи работы:

1. Изучить оборудование для ацетилено-кислородной сварки и резки металлов.
2. Составить отчет.

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Разрез ацетиленового генератора АСП-10

2.13.4 Описание (ход) работы:

1. Общие сведения о газовой сварке

Газовая (кислородная) сварка основана на использовании тепла, получаемого при сжигании горючего газа в струе кислорода с помощью горелки. В качестве горючих газов применяют ацетилен C_2H_2 или другие газы, поставляемые на сварочный пост в баллонах. Ацетилен может быть получен и на месте потребления.

Газовую сварку применяют при изготовлении тонких (до 5 мм) стальных изделий, сварке цветных металлов и их сплавов, при исправлении дефектов в чугунных и бронзовых отливках и при ремонтных работах.

2. Ацетиленовые генераторы

Аппараты для получения технического ацетилена путем разложения карбида кальция CaC_2 водой называют ацетиленовыми генераторами.

По способу взаимодействия карбида кальция с водой различают следующие виды (системы) генераторов:

"карбид в воду", в которых карбид периодически поступает из бункера в воду, где разлагается и выделяется ацетилен;

"вода на карбид", когда вода периодически подается на корзину с карбидом; контактного действия "погружением" и "вытеснением".

По давлению газа различают аппараты:

низкого давления - до 0,01 МПа (0,1 кгс/см кв.);

среднего давления - 0,01 - 0,15 МПа.

Аппараты высокого давления в сварочном производстве не применяют.

В зависимости от производительности и способа использования различают генераторы:

передвижные (производительностью до 3 м куб./ч);

стационарные (более мощные, на несколько сварочных постов).

3. Генератор ацетиленовый АСП - 10

3.1. Устройство и работа генератора

По способу взаимодействия карбида кальция с водой генератор относится к контактному типу с вытеснением воды. Производительность аппарата 1,5 м куб/ч, рабочее давление газа 0,01 - 0,15 МПа (0,1-1,5 кгс/см кв).

В корпусе генератора (рис.1) имеется три камеры: газообразователь 2, вытеснитель 4 и газосборник (промыватель) 7. Газообразователь 2 соединен с вытеснителем 4 переливным патрубком 5, а с газосборником трубкой 3.

Через отверстия, закрываемые пробками 6 и 8, сливают ил (воду) из вытеснителя и газосборника. Через нижнее отверстие также контролируют уровень заливаемой воды.

На корпусе генератора устанавливают манометр I или индикатор давления, предохранительный клапан 11 и защитное устройство 10 с вентилем 9.

Корпус аппарата закрывается крышкой 10 (рис.2) с прокладкой 9. Уплотнение достигается за счет скоб 5, траверсы 11 и винта 4. В крышку встроен подвижной шток 13 с коромыслом 6, на котором подвешивается корзина с карбидом. Верхнее положение

корзины фиксируется рукояткой 1, опирающийся на втулку (фиксатор) 2, нижнее - гайкой 12 и рукояткой 3. Для опускания корзины боковые выступы рукоятки I совмещают с пазами втулки 2 и рукоятка I опускается. Регулируют положение штока по высоте гайкой 12. Три резиновых кольца 8 уплотняют шток. Перед заливкой воды в генератор нужно снять пробку 8 (рис. 1) и убедиться, что пробка 6 надежно закрыта. Сняв крышку, заливают воду до уровня контрольного отверстия в газосборнике; в газообразователе установится уровень воды по обрезу трубки 3.

В герметично закрытом вытеснителе уровень воды устанавливается автоматически немного выше нижнего обреза переливной трубки 5, выше образуется воздушная подушка. Поэтому во время заполнения генератора водой не допускается его встряхивание.

Загруженная карбидом кальция корзина подвешивается на коромысло штока, установленного в верхнем положении. Крышку с корзиной ставят на горловину генератора и уплотняют; шток 13 опускают вниз и тем самым погружают в воду нижнюю часть корзины.

Образующийся в результате реакции ацетилен по трубке 3 поступает в газосборник; проходя через слой воды газ охлаждается, промывается /поэтому газосборник называют промывателем/ и поступает на потребление.

В случае уменьшения отбора ацетилена давление газа повышается и вода из газообразователя 2 передавливается в вытеснитель 4, объем замоченного карбида уменьшается и уменьшается газообразование. При снижении давления вода из вытеснителя поступает в газообразователь, что приводит к увеличению газообразования. Так автоматизируется процесс газовыделения.

При возрастании давления в генераторе выше допустимого ($1,5 \pm 0,2$ кгс/см кв.) срабатывает предохранительный клапан. При этом ацетилен, преодолевая сопротивление пружины, поднимает мембраной клапан со штоком и выходит в атмосферу через открытое отверстие (рис. 4).

3.2. Защитное устройство генератора АСП - 10

Защитное устройство (рис. 3) предназначено для предохранения генератора от проникновения в него кислорода или воздуха со стороны отбора ацетилена, а также от взрывной волны при детонационном горении газовой смеси.

Так как устройство сухого типа, то оно может использоваться при минусовых температурах окружающего воздуха.

Работа устройства происходит следующим образом.

Ацетилен, пройдя через штуцер I и приподняв шарик 10, поступает к клапану 6. Клапан поднимается до соприкосновения с мембраной 7, а газ по петлевому каналу, выполненному в пластмассовом стакане 4 в виде вертикальных сквозных отверстий, соединенных попарно пазами стакана и уплотненных мембраной 7 и прокладкой 2, поступает из канала 9 через отверстие в мембране и ниппель 8 на потребление. Газ в первом канале идет вверх, во втором - вниз, затем вверх и т.д. пока не пройдет все каналы. В случае обратного перетока кислорода или воздуха клапан 6 и шарик 10 перекрывают входные каналы и защищают генератор. При детонации ацетилено-кислородной смеси клапан 6 от удара по нему мембраной перекрывает входное отверстие, а детонационная волна, пройдя петлевой канал, локализуется в объеме между мембраной и клапаном. Защитное устройство и вентиль снабжаются теплозащитным чехлом, предотвращающим замерзание в них конденсата при низких температурах.

4. Газовые баллоны

Кислородные баллоны служат для хранения и транспортировки газообразного кислорода. Стандартный баллон вместимостью 40 л при давлении 15 МПа содержит 6 м.куб. кислорода и представляет собой стальной сосуд цилиндрической формы, изготовленный из цельнотянутой трубы. В его верхней части имеется горловина с конической резьбой, в которую ввертывается латунный запорный вентиль, а также стальное кольцо с наружной

резьбой для крепления защитного колпака. На выпуклое днище баллона насажен опорный башмак.

Ацетиленовые баллоны конструктивно аналогичны кислородным. Для безопасного хранения ацетилена под давлением баллоны заполняют пористой массой (древесный уголь, пемза) и на 40 % вместимости - ацетоном, который способен в единице объема растворять до 20 единиц ацетилена. В баллоне вместимость 40 л при давлении 1,9 МПа содержится около 5м куб. ацетилена.

Окраска баллона белая с красной надписью "Ацетилен". Кислородный баллон окрашивают в голубой или синий цвет, надпись - черного цвета.

5. Газовые редукторы

Газовые редукторы служат для понижения давления газа, отбираемого из баллона до рабочего, независимо от изменения давления в баллоне в связи с расходом газа для сварки или резки. По принципу работы редукторы делятся на двух- и одноступенчатые. Наиболее распространены однокамерные редукторы, устройство которых показано на рис. 5. Газ из баллона через штуцер входит в камеру высокого давления 1 и через нормально открытый клапан 2 свободно проходит в рабочую камеру, дном которой служит упругая резиновая мембрана 7. При возрастании давления в рабочей камере мембрана прогибается вниз, вместе с ней опускается клапан 2, соединенный с мембраной штоком 6. Из рабочей камеры газ может уходить через штуцер и ниппель в шланг горелки или резака. В случае неисправности или обратного удара редуктор предохраняется клапаном 3, соединенным с атмосферой. Рабочее давление газа может регулироваться с помощью пружины 8 и винта 9, воздействующих на мембрану с обратной стороны. При перерывах в работе, чтобы исключить возможную утечку газа, рекомендуется закрыть кран 5, перекрывающий выход газа в шланг. Аналогично устроен и ацетиленовый редуктор, отличающийся от кислородного следующими признаками: 1. наружная окраска делается белого цвета, 2. имеется накидной хомут для присоединения к баллону; 3. шкалы манометра имеют более низкие пределы.

1-камера высокого давления; 2-клапан; 3-предохранительный клапан; 4-манометр; 5 -вентиль; 6-шток; 7-мембрана; 8-пружина; 9-регулирующий винт; 10-камера низкого давления.

6. Сварочные горелки

Сварочные горелки служат для смешивания кислорода с горючим газом. Поджигая на выходе из горелки эту смесь, получают пламя, которое используют для сварки металлов. Наиболее широко распространены горелки инжекторного типа (рис. 6, а). По шлангу и трубке к вентилю и через него в инжектор 6 поступает кислород под давлением 0,1 - 0,4 МПа (1-4 ат). Вытекая с большой скоростью из инжектора в смесительную камеру 5, струя кислорода создает в ней разрежение, вызывающее подсос (инжекцию) ацетилена, выходящего из генератора под низким давлением 0,03 МПа (0,3 ат). Ацетилен поступает по шлангу через ниппель, корпус горелки и вентиль в смесительную камеру, откуда ацетиленокислородная смесь по трубке наконечника 3 поступает в мундштук 4 и, выходя в атмосферу, образует при сгорании сварочное пламя, состав и форма которого регулируется вентилями. Горелки снабжаются сменными наконечниками, позволяющими получать пламя различной мощности, в зависимости от толщины свариваемых элементов.

7. Газовая резка металлов

Газовой резкой называется разделение металла путем сжигания его в струе сжатого кислорода. Для этого в месте разреза металл нагревают до температуры воспламенения в кислороде и направляют на эту точку струю кислорода под давлением; металл сгорает в этой струе, а образующиеся окислы выдуваются. Газовой резке поддаются только те металлы, у которых температура плавления выше температуры воспламенения в

кислороде, и у которых окислы плавятся при более низкой температуре, чем металл. По этой причине газовой резке поддаются углеродистые стали и не поддаются: легированные стали, чугуны, цветные сплавы.

7.1. Резак для кислородной резки

Газовая резка осуществляется с помощью резаков, подающих газовую смесь для подогрева металла и кислород для его сжигания и продувки продуктов горения по линии разреза. Наиболее распространены резаки с концентрическим расположением каналов мундштука. У этих резаков по центральному каналу подается режущая струя кислорода, а горючая смесь для подогрева металла подается по кольцевому концентрически расположенному каналу.

Резаки (рис. 7) по внешнему виду отличаются от инжекторных горелок дополнительной трубкой с вентилем и мундштуком. Часть кислорода подается по внутренней трубке в инжектор и служит для образования горючей смеси и подогревательного пламени. Другая часть - режущий кислород - подается по наружной трубке в центральный канал мундштука.

Форма отчета

Лабораторная работа 13

Тема...

Содержание отчета.

1. Схема ацетиленового генератора
2. Схема кислородного редуктора
3. Схема сварочной горелки
4. Схема резака

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №14 (2 часа).

Тема: «Источники сварочного тока»

2.1.1 Цель работы. Изучение источников тока для РДС и методики снятия вольт - амперных характеристик

2.1.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с видами источников сварочного тока и предъявляемыми к ним требованиями.
2. Изучить устройство и принцип действия сварочного трансформатора и генератора.
3. Изучить методику получения вольт-амперных характеристик.
4. Построить внешнюю и статическую характеристики по опытным данным.
5. Составить отчет.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Трансформатор ТД-401;
2. Выпрямитель ВД-502

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Источники питания сварочной дуги

1.1. Общие сведения

При дуговой сварке используют постоянный, переменный ток (промышленной и повышенной частоты) и пульсирующий ток.

Электрическую энергию для питания дуги, работающей в определенных технологических условиях, получают от специального источника. В зависимости от рода тока (постоянный или переменный), а также конструктивного исполнения источники питания подразделяют на трансформаторы, выпрямители, преобразователи (сварочный генератор с электродвигателем) и передвижные агрегаты, а также специализированные установки для сварки на постоянном или переменном токе.

Условное буквенно-цифровое обозначение электросварочного оборудования: ВД-101; ТД-304; ПС-500; АСД-300; УДГ-501-1УХЛ4; ВДУ-1201 УЗ.

Первая буква - тип изделия: А- агрегат, В- выпрямитель, Г- генератор, П- преобразователь, Т-трансформатор, У - установка.

Вторая буква - вид сварки: Д - дуговая; П - плазменная.

Третья буква - способ сварки: Г - в защитных газах; Ф - под флюсом; У - универсальный источник.

Отсутствие буквы - ручная сварка покрытыми электродами.

Четвертая буква - пояснение о назначении источника (М -многопостовый, И - импульсной сварки).

В трех - или четырехзначной группе цифр соответственно одна или две первые означают номинальный сварочный ток в сотнях ампер. Последующие две цифры - регистрационный номер изделия.

Следующие буквы - климатическое исполнение:

У - для сварки в умеренном климате; Т - в тропическом, ХЛ - в холодном климате.

Последняя цифра определяет категорию размещения источника: 1 - на открытой площадке; 2 - прицепы, кузова автомобилей; 3 - помещения с естественной вентиляцией; 4 - с отоплением и принудительной вентиляцией; 5 - с повышенной влажностью.

Возможны и другие обозначения предприятий - изготовителей.

1.2. Требования к источникам питания дуги

Сварочная дуга представляет собой устойчивый электрический разряд между электродами в среде ионизированных газов и паров металла и компонентов электродных покрытий или флюсов.

Зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока называют статической, или вольт-амперной характеристикой дуги. Общий вид этой характеристики представлен на рис. 1. При малых значениях силы тока участок кривой 7 - падающий. В диапазоне средних токов (от 50 - 100 А), используемых при ручной сварке, напряжение почти постоянно и участок кривой 1 жесткий. При этом напряжение зависит от длины дуги. Большие токи в дуге (примерно от 1000 А) можно получить при повышенном напряжении - на возрастающей ветви статической характеристики, что характерно для сварки в среде защитных газов или сварки на больших плотностях тока под флюсом.

Свойства источника определяются его *внешней характеристикой* - зависимостью напряжения на выходе источника от силы тока в сварочной цепи. Такая зависимость может быть возрастающей, жесткой или падающей.

Устойчивость горения дуги определяется соответствием характеристик источника и дуги. Для ручной дуговой сварки (РДС), когда статическая характеристика дуги жесткая, внешняя характеристика источника должна быть крутопадающей (рис. 1. кривая 2). С ростом ее крутизны меньше колебания тока при изменении длины дуги. Кроме того, в этих условиях ограничивается ток короткого замыкания $I_{к.з.}$, который может превышать рабочий ток не более чем в 1,25 - 2 раза.

При таких характеристиках (кривая 2) напряжение холостого хода источника U_{xx} превышает рабочее напряжение не менее чем в два раза. Это облегчает зажигание дуги. Напряжение U_{xx} по условиям безопасности ограничено 80 В для источников переменного и 90 В для источников постоянного тока.

Зажигание дуги происходит в точке А, а устойчивое горение - в точке В. Если по какой-либо причине ток дуги увеличится от I_p до I_1 (точка С), то напряжение источника упадет ниже установившегося напряжения дуги U_p , тогда ток дуги будет уменьшаться до I_p . Аналогично восстановится режим горения дуги и при случайном уменьшении тока.

Устойчивое горение дуги, благоприятный перенос электродного металла и хорошее формирование сварного шва обеспечиваются также динамичностью источника, т.е. оптимальной скоростью нарастания сварочного тока (10 - 20 А/с) при коротком замыкании и временем восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В (достаточного для повторного зажигания дуги после короткого замыкания). Оно не должно превышать 0,05 с (для генераторов 0,03с).

Источники питания дуги характеризуются параметрами, получаемыми при работе на установившихся режимах: при холостом ходе, рабочей нагрузке и коротком замыкании. Вместе с тем, каждый источник рассчитан на определенную, достаточно высокую нагрузку, при которой он работает не перегреваясь. Значения тока и напряжения источника, соответствующие указанному режиму его работы называют *номинальными*.

В целом источник тока для РДС должен отвечать следующим основным требованиям.

1. Иметь необходимую мощность, а также номинальный ток.
2. Обеспечивать напряжение холостого хода, достаточное для легкого возбуждения сварочной дуги и безопасное для сварщика.
3. Иметь крутопадающую внешнюю характеристику.
4. Обладать высокой динамичностью.
5. Иметь регулирующие устройства для плавной настройки на расчетный ток.
6. Быть надежным и простым в эксплуатации, иметь небольшие габариты, вес и стоимость.

1.3. Источники питания переменного тока

Для сварки переменным током служат передвижные и переносные понижающие трансформаторы различной мощности, а также генераторы повышенной частоты (450 Гц). Широко распространены, в частности, трансформаторы (типа ТД) с подвижными обмотками с повышенным магнитным рассеянием.

Трансформатор типа ТД-500 (рис.2.) - однопостовой, передвижной, однофазный. Состоит из магнитопровода (сердечника), набранного из листовой трансформаторной стали и изолированных алюминиевых обмоток по две катушки в каждой (рис.2а). Первичная неподвижная обмотка с числом витков ω_1 питается от сети U_1 и расположена внизу. Верхняя - вторичная обмотка (ω_2) подвижная - перемещается вверх - вниз вручную с помощью винтовой пары.

Вторичное напряжение U_2 зависит от первичного U_1 и соотношения числа витков обмоток

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

При включенном аппарате переменный ток, текущий по первичной обмотке, создает вокруг нее и в сердечнике переменное магнитное поле, пересекающее витки вторичной обмотки, возбуждая в ней переменную ЭДС (E_2).

Напряжение на зажимах вторичной обмотки

$$U_2 = E_2 - E_{\phi.p.}$$

Здесь $E_{\phi.p.}$ - ЭДС. потока рассеяния, которая может быть принята равной произведению тока I_2 на индуктивное сопротивление вторичной цепи X_2 .

Тогда
$$U_2 = E_2 - I_2 \cdot X_2$$

При холостом ходе ($I_2=0$) напряжение U_2 будет максимальным.

$$U_2 = U_{xx} = E_2$$

При замкнутой вторичной цепи ($I_2 \neq 0$ - горит дуга) с ростом сварочного тока увеличивается поток рассеяния Φ_r и его ЭДС.

Следовательно, напряжение на дуге $U_d = U_2$ будет снижаться и тем самым обеспечивается "падение" внешней характеристики трансформатора.

При перемещении обмоток изменяется магнитное поле рассеяния. При увеличении расстояния l увеличивается индуктивное сопротивление трансформатора, что приводит к уменьшению вторичного напряжения и сварочно-

го тока. При сближении катушек ток увеличивается. Таким образом обеспечивается плавное регулирование тока. Для ступенчатого регулирования переключают катушки: в диапазоне больших токов первичная и вторичная обмотки включаются попарно параллельно (положение 1 на рис. 2, б), в диапазоне малых токов - последовательно (положение 2). При переключении на малые токи часть витков первичной обмотки отключается и напряжение холостого хода повышается до 75 В против 65 В на больших токах.

1.4. Однопостовые коллекторные генераторы

Генератор это машина, превращающая механическую энергию в электрическую энергию постоянного (или переменного) тока.

Принцип действия генератора основан на явлении электромагнитной индукции: при вращении проводника - рамки в постоянном магнитном поле в проводнике возникает переменная ЭДС. Если концы проводника присоединить к различным кольцам, то с них через щетки будет сниматься переменный ток. Если же начало и конец рамки присоединить к различным коллекторным пластинам и щетки расположить так, чтобы одна была соединена всегда с проводником, движущемся у северного полюса, а другая - с проводником, проходящим в это время у южного полюса, то во внешней цепи будет получен постоянный ток.

В настоящее время для сварки широко используются генераторы постоянного тока с самовозбуждением (рис. 3), применяются и машины с независимым возбуждением, нуждающиеся в постороннем источнике тока.

Из схемы (рис. 3, а) видно, что генератор имеет статор 1 и ротор 2, выполненные из пластин электротехнической стали. На статоре укреплены полюсы N и S с обмотками, создающие постоянное магнитное поле. В продольные пазы ротора уложены изолированные витки обмотки, припаянные концами к соответствующим пластинкам коллектора, к которым поджаты медно-графитовые щетки.

На схеме (рис. 3, б) показаны щетки: основные А и В и вспомогательная С. Основные щетки питают внешнюю цепь, снабженную сварочными клеммами 3, 4, 5; к щеткам А и С присоединены концы намагничивающей цепи с обмоткой 6 и сопротивлением.

При вращении якоря в его обмотке сначала возникает ЭДС за счет остаточного магнетизма главных полюсов и через щетки А и С в обмотку возбуждения 6 начинает поступать ток, образуя магнитный поток Φ_n , который дополнительно возбуждает ЭДС в обмотке якоря. Через щетки А и В на выходных зажимах генератора создается напряжение

$$E_2 = C \Phi_r,$$

где C - постоянная генератора;

Φ_r - суммарный магнитный поток в генераторе.

При холостом ходе $E_2 = C \cdot \Phi_n = U_0$.

При нагрузке напряжение на зажимах генератора составит

$$U_2 = E_2 - I_r \cdot R_r,$$

где I_r - ток в якорной цепи генератора;

R_r - суммарное сопротивление в цепи генератора.

С помощью сопротивления R плавно изменяют ток намагничивания ($I_n = 2-20$ А), намагничивающий поток Φ_n , напряжение холостого хода и режим работы генератора под нагрузкой.

При этом $\Phi_n = I_n \cdot \omega_n / R_{м.н.}$,

где ω_n - число витков (200 - 500) намагничивающей обмотки;

$R_{м.н.}$ - сопротивление магнитной цепи на пути потока Φ_n .

При работе генератора под нагрузкой по обмотке 7, включенной последовательно с дугой, протекает ток $I_2 = I_d$ и возникает размагничивающий поток Φ_r . В таком случае ЭДС генератора определится из уравнения

$$E_2 = c\Phi_n - c\Phi_r$$

С увеличением тока дуги I_d напряжение на зажимах генератора будет уменьшаться (чем достигается крутопадающая форма внешней характеристики источника) и при коротком замыкании приближаться к нулю.

Последовательная обмотка 7 ($\omega_p = 3-5$) секционирована, что позволяет регулировать ток I_d ступенчато (рис. 36,3в). Для работы в диапазоне малых токов сварочный кабель присоединяют к зажиму 4, а в диапазоне больших токов - к зажиму 3.

1.5. Преимущества и недостатки источников питания дуги

Генераторы постоянного тока имеют следующие преимущества по сравнению с источниками переменного тока:

- дуга горит более устойчиво из-за отсутствия затуханий;
- ввиду высокой стабильности дуги обеспечивается высокое качество шва (отсутствие включений, непроваров и т.д.);
- при сварке постоянным током можно применять электроды всех марок (для переменного тока некоторые непригодны);
- источники питания постоянным током менее чувствительны к колебаниям напряжения в сети, чем трансформаторы;
- сварочные генераторы могут использоваться при отсутствии электроэнергии.

Сварочные генераторы постоянного тока имеют следующие недостатки:

- они более сложны в изготовлении и дороже трансформаторов;
- генераторы имеют вращающиеся части, требующие постоянного наблюдения и обслуживания;
- токосъемники генераторов требуют периодического ремонта и замены;
- расход энергии, к. п. д. и другие технико-экономические показатели генераторов хуже, чем у трансформаторов.

2. Методика построения вольт-амперных характеристик

2.1. Получение опытных данных

Для построения внешней характеристики источника нужно предварительно установить сварочный ток - на уровне среднего или выше среднего значения в его возможном диапазоне.

Затем получить напряжение холостого хода $U_{хх}$, включив источник в сеть. Получить ток короткого замыкания, прикоснувшись электродом (желательно медным) к пластине, закрепленной на сварочном столе.

Для получения промежуточных точек выполняют наварку валика на стальную пластину при длине дуги около 3 мм и снимают показания амперметра и вольтметра. Затем наварку ведут на средней дуге (4 мм) и на длинной дуге (5 мм). Показания приборов замечают при установившемся режиме работы.

Для построения статической характеристики дуги наварку валиков ведут в серии опытов при постоянной длине дуги и разных значениях тока: сначала на малом, затем на среднем и на большом токе.

Записать опытные данные в таблицу.

Таблица. Опытные данные для построения характеристик

Режим работы источника	Опыт	Опытные данные	
		Напряжение, В	Сила тока, А
Холостой ход	1		
Короткое замыкание	2		
Сварка при $I_d \neq \text{Const}$	3		
	4		
	5		
Сварка при $I_d = \text{Const}$	6		
	7		
	8		

2.2. Построение характеристик

Подготовить поле графика с координатными осями **$U-I$** . Зная крайние значения параметров, выбрать масштаб шкал и нанести точки, полученные в серии опытов при $I_d \neq \text{Const}$ - для внешней характеристики источника, а затем для $I_d = \text{Const}$ - получится жесткий участок статической характеристики дуги. Падающий и возрастающий участки можно отметить ориентировочно пунктиром, зная общий характер данной кривой.

Форма отчета

Лабораторная работа 14

Тема. Источники сварочного тока

1. Краткие сведения о источниках тока для РДС
2. Электромагнитная схема трансформатора
3. Электрическая схема генератора
4. Таблица опытных данных
5. Вольт-амперные характеристики

Работу выполнил	
Работу принял	

2.1 Лабораторная работа №15 (2 часа).

Тема: «Определение технологических коэффициентов электродов»

2.15.1 Цель работы. Ознакомление с влиянием основных факторов на процесс сварки и экспериментальное определение технологических коэффициентов.

2.15.2 Задачи работы:

1. Изучить теоретические сведения по теме лабораторной работы.
2. Определить оптимальные значения диаметра электрода и сварочного тока для заданных условий сварки.

3. Определить необходимые показатели и вычислить значения технологических коэффициентов для данного электрода.
4. Составить отчет.

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Трансформатор ТД-401;
2. Выпрямитель ВД-502

2.15.4 Описание (ход) работы:

1. Общие сведения

На качество сварного шва и экономичность сварки влияет много факторов: режим технологического процесса, характеристики электрода и свариваемого металла, квалификация сварщика и др.

Основными параметрами дуговой сварки как процесса являются сила тока дуги J_d , напряжение U_d и скорость сварки $V_{св}$.

Сила тока при постоянном диаметре электрода определяет все размеры сварочной ванны и особенно проплавление. С увеличением напряжения дуги, также как и с ростом тока возрастают размеры ванны, но особенно интенсивно - ширина и длина. Завышенная скорость $V_{св}$ приводит на практике к непровару, а заниженная - к прожогу.

Для заданных условий сварки важно правильно выбрать диаметр электрода. При увеличении диаметра электрода плотность энергии в пятне нагрева снижается, поэтому уменьшается глубина проплавления, но возрастает ширина ванны.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, положения шва в пространстве, состава свариваемого металла.

Ориентировочно диаметр электрода

$$d_э = 0,5S + 1,$$

где S - толщина свариваемого металла, мм.

При сварке встык стали толщиной до 4 мм принимают $d_э \approx S$, при сварке металла от 4 мм и больше применяют электроды диаметром 4 - 8 мм при условии обеспечения полного провара металла.

Скорость плавления электрода жестко связана со сварочным током. При сварке различных соединений и швов требуется неодинаковая скорость плавления. Так, при сварке стыковых соединений без разделки кромок и без зазора требуется низкая скорость плавления электрода. С увеличением толщины S необходимо увеличение силы тока. При этом образуются швы с завышенной выпуклостью. При выполнении стыковых соединений с разделкой кромок, а также при сварке угловых швов желательно увеличивать скорость плавления электрода или массу электродного металла, расплавляющегося в единицу времени.

Для характеристики процесса сварки (наплавки) и технологических свойств электродов используют следующие коэффициенты:

расплавления $\alpha_p = \frac{M_p}{J \cdot t}, \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$

наплавки $\alpha_n = \frac{M_n}{J \cdot t}, \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$

потерь $\psi = \frac{M_p - M_n}{M_p} \cdot 100, \%$

где M_p , M_n - масса расплавленного и наплавленного металла, г; J - сварочный ток, А; t - время, ч.

Коэффициент расплавления характеризует интенсивность плавления электродного металла, коэффициент наплавки - массу металла, переносимого с электрода на изделие за час при силе тока в 1 А.

Коэффициент потерь оценивает окисление (угар), испарение и разбрызгивание электродного металла. Для разных электродов потери составляют 6 - 25 %.

Таким образом, α_p , α_n и ψ в основном характеризуют свойства электродов, но они зависят и от условий сварки: для небольших плотностей тока α_p и α_n не превышают 7 - 10 г / (А · ч), с увеличением плотности тока эти показатели возрастают до 17 и более единиц, с увеличением сварочного тока и длины дуги возрастают потери на разбрызгивание и т.д.

2. Порядок выполнения работы

1. Измерить толщину пластины.
2. Определить диаметр электрода.
3. Определить силу сварочного тока по формуле

$$J = K_s (20 + 6 \cdot d_3) \cdot d_3, \text{ А}$$

где K_s - поправочный коэффициент,

$$K_s = 0,9 \text{ при } S < 1,5 \cdot d_3,$$

$$K_s = 1,1 \text{ при } S > 3 \cdot d_3.$$

4. Измерить длину электрода L .
5. Рассчитать массу стержня электрода

$$M_{\text{ст}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot L \cdot \gamma, \text{ г}$$

где γ - плотность стали, $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

6. Очистить пластину от загрязнений.
7. Взвесить пластину с точностью до 1 г.
8. Установить оптимальный режим сварки и наварить валик на пластину. Наварка ведется непрерывно и при этом определяется время опыта, а также сила тока. Электрод расходуется "полностью".
9. После наплавки охладить пластину, высушить и очистить её от шлака и брызг.
10. Взвесить наплавленную пластину.
11. Измерить длину огарка и рассчитать массу нерасплавившегося электрода.

Таблица. Данные для расчета коэффициентов

Опыт	Диаметр электрода а d _э , мм	Сила тока I, А	Время горения дуги, t, с	Длина электрода, мм		Масса стержня электрода, г		Масса расплавленного металла, г	Масса пластины, г		Масса наплавленного ого металла, г	
				до	после	до	после		до	после		
				сварки		сварки			сварки			
1												
2												
3												

12. Результаты опытов и расчетов занести в таблицу и вычислить значения технологических коэффициентов.
13. Оценить потери электродного металла (режим сварки).

Форма отчета

Лабораторная работа 15

Тема.

Задание.

1. Условия выполнения опытов: толщина наплавляемой пластины, источник тока, марка электрода.
2. Расчет диаметра электрода и сварочного тока.
3. Расчет массы стержня электрода и массы расплавленного металла.

5. Таблица результатов опытов.
6. Расчет коэффициентов.
7. Выводы.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.16 Лабораторная работа №16 (2 часа).

Тема: «Проектирование технологического процесса ручной электродуговой сварки.»

2.16.1 Цель работы. Ознакомление с методикой разработки технологического процесса ручной электродуговой сварки элементов конструкции.

2.16.2 Задачи работы:

Для заданного варианта.

1. Выбрать форму кромок свариваемых элементов, их размеры и размеры шва.
2. Определить диаметр, тип и марку электрода, а также параметры режима сварки.
3. Выбрать источник сварочного тока.
4. Рассчитать массу наплавленного металла и потребного количества электродов.
5. Рассчитать норму времени и скорость сварки.
6. Составить технологическую карту.

Задания

Вариант	Материал	Толщина элементов в мм	Тип сварного соединения	Нагрузка, кН
1	Ст3сп	3	Стыковое	50
2	25	5	То же	75
3	В Ст3пс	8	- “ -	120
4	35	10	- “ -	150
5	В Ст4кп	12	Угловое	200
6	30	15	- “ -	300
7	В Ст5пс	18	Стыковое	360
8	40	20	Угловое	400
9	Ст5сп	25	- “ -	500
10	Ст4кп	30	- “ -	600
11	45	32	Стыковое	650
12	50	35	- “ -	700
13	В Ст6сп	40	- “ -	800
14	60	45	- “ -	900
15	70	50	- “ -	1000

2.16.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

нет

2.16.4 Описание (ход) работы:

1. Обоснование геометрической формы свариваемых кромок, их размеров и размеров шва

1.1. Типы соединений и швов

Сварным называют полученное сваркой неразъемное соединение, состоящее из шва и примыкающих к нему участков основного металла.

В зависимости от расположения в пространстве сварных элементов конструкции различают следующие типы соединений:

стыковое - элементы расположены в одной плоскости, угловое - элементы расположены под прямым углом, нахлесточное - элементы расположены параллельно с частичным перекрытием, тавровое - один элемент торцом примыкает к боковой поверхности другого, торцовое - сваренное по торцам элементов.

Типы швов - стыковые, угловые, пробочные, прорезные в зависимости от формы поперечного сечения. По ширине: узкий (от 0,8 до $1,5 \cdot d_3$) и уширенный (от 2 до $4 d_3$).

Кроме того, выделяют сплошные и прерывистые швы; одно - и двухсторонние; прочные, плотные и прочно - плотные и т.д.

1.2. Форма и размеры кромок и шва

Для всех швов важен полный провар кромок соединяемых элементов. Поэтому перед сваркой элементов большой толщины необходимо разделять кромки. Форму разделки кромок и их сборку для сварки (рис. 1) характеризуют следующие геометрические параметры: зазор **b**, притупление **c**, угол скоса кромки β и угол разделки кромок α . Поперечное сечение стыкового шва характеризуют: ширина **e**, высота **H** и усиление (выпуклость) **q**. Для углового шва: ширина **e**; катет **K** - расстояние от поверхности элемента до границы шва на поверхности второго элемента; **H** - наибольшее расстояние от поверхности шва до точки максимального проплавления основного металла; усиление **q**. Основные из перечисленных показателей определяет ГОСТ 5264 - 80.

В таблице 1 приведены возможные способы подготовки формы кромок (разделки) свариваемых элементов в зависимости от их толщины.

Рис. 1. Геометрические параметры кромок и швов

Для определенной толщины **S** металл иногда можно разделить несколькими способами. Например, выполнить **X** - образную разделку, при которой сварку с другой стороны можно вести или потолочным швом, или повернув изделие на 180° . Если то и другие невозможно, то выполняют **V** - образную разделку и при этом потребуется наплавить металла в 1,6 - 1,7 раза больше.

Если нужно получить плотный шов предусматривается скос кромки при $S > 3$ мм, хотя ГОСТ допускает в общем случае сварку без скоса при **S** до 12 мм.

Толщина элементов, мм	Способ разделки кромок	Условное название разделки
1 - 3	Отбортовка	-
до 5	Без скоса	-
5 - 10	Скос одной кромки	-
14 - 30	Скос двух кромок	V - образная
20 - 60	Скос двух кромок с двух сторон	X - образная

Таблица 1. Рекомендуемые способы разделки кромок (в учебных целях).

Указание 1.

Для стали заданной толщины выбрать способ разделки кромок по табл. 1, а из табл. 2 выбрать соответствующие размеры параметров (П), выполнить схемы подготовленных кромок и сварного шва и обозначить "рис. 1 и рис. 2".

Таблица 2. Форма и размеры кромок и швов

Условно е обозначение соединения	Схема подготовленных кромки	Схема сварного шва	Размеры (П), мм			Формула для расчета площади $F_{\text{нм}}$
			П	от	до	
1	2	3	4	5	6	7
C1			S	1	4	$b \cdot i + 0,75e \cdot q$
			b	$0^{+0,5}$	0^{+1}	
			e		$2S+3$	
			R	S	$2S$	
			i	S	$3S$	
C2			S	1	4	$S \cdot b + 0,75e \cdot q$
			b	$0^{+0,5}$	$2^{+1}_{-0,5}$	
			e	6	8	
			q	$1 \pm 0,5$	2 ± 1	
C8			S	5	11	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times$ $\times \operatorname{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	12 ± 2	16 ± 2	
			q	$0,5_{-0,5}$	$0,5^{+1,5}$	
C17			S	14	32	$S \cdot b + (S-c)^2 \times$ $\times \operatorname{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	22 ± 3	38 ± 3	
			q	$0,5_{-0,5}$	$0,5^{+2}$	
1	2	3	4	5	6	7
C25			S	20	60	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times$ $\times \operatorname{tg} \alpha + 1,5e \cdot q$
			e	18 ± 3	36 ± 3	
			q	$0,5_{-0,5}$	$0,5^{+2}$	
Y1			S	1	4	$b \cdot i + 0,75e \cdot q$
			b	$0^{+0,5}$	0^{+1}	
			e		$2S+3$	
			R	S	$2S$	
			i	S	$3S$	
Y4			S	3	10	$0,5K^2 + 1,05K \cdot q$
			n	$0,5S$	S	
			b	0	2	
Y6			S	8	14	$S \cdot b + 0,5(S-c)^2 \times$ $\times \operatorname{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	16 ± 2	20 ± 2	
			q	$0,5_{-0,5}$	$0,5^{+1,5}$	

у9			S	14	40	$S \cdot b + (S-c)^2 \times$ $\times \operatorname{tg} \alpha + 0,75e \cdot q$
			e	22±3	47±3	
			q	0,5-0,5	0,5 ⁺²	

В целях снижения металлоемкости и усадки шва, а также повышения производительности необходимо стремиться получить меньшую площадь поперечного сечения наплавляемого металла $F_{н.м.}$. Следует учитывать и трудоемкость разделки кромок.

2. Обоснование режима сварки и выбор оборудования

2.1. Выбор диаметра, типа и марки электродов

О выборе диаметра электрода см. работу 7.

Расчетный диаметр можно определить по формуле

$$d_э = 0,5 \cdot S + 1$$

Затем выбрать стандартное значение из табл. 3. При этом учесть, что $d_э \leq 8$ мм.

Таблица 3. Номинальные размеры электродов, мм

Диаметр (стержня)	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Длина	200-250	250	250-300	300-350	350-450	450				

Тип электрода выбирают по табл.6 из условия прочности

$$\sigma_{B \text{ мш}} \geq \sigma_B,$$

где $\sigma_{B \text{ м.ш.}}$ - сопротивление разрыву металла шва; σ_B - то же свариваемого металла (см. табл.4).

Таблица 4. Прочность углеродистых сталей

Марка стали	Предел прочности σ_B , МПа	Марка стали	σ_B , МПа
Ст 2сп	340-440	15	380
Ст 3пс	380-490	20	420
Ст 3сп	380-490	25	450
Ст 4кп	410-520	30	490
Ст 4 сп	420 - 540	35	530
Ст 5 пс		40	570
Ст 5сп	500 - 640	45	600
Ст 6 сп	от 600	50	630
08	330	60	680
10	340	70	730

При сварке ответственных конструкций из спокойных сталей с повышенной пластичностью и ударной вязкостью металла шва принимать тип электрода Э42 А - Э 50 А, а если сталь кипящая -Э 42 или Э 50.

Марку электрода выбирают с учетом химического состава основного металла, рода и полярности сварочного тока, положения шва в пространстве, конструктивных особенностей изделия и других факторов.

Согласовать род тока и марку электрода, принимая во внимание данные табл.5.

По табл. 6 выбрать марку электрода, соответствующую его типу, выписать вид и полярность тока и значение коэффициента наплавки.

2.2. Расчет силы сварочного тока и напряжения

Силу тока можно найти по формулам:

$$J = (40 - 50) d_3 \quad \text{при } d_3 = 4 - 6 \text{ мм};$$

$$J = (20 + 6d_3) \cdot d_3 \quad \text{при } d_3 < 4 \text{ и } d_3 > 6 \text{ мм},$$

где J - сварочный ток, А; d_3 - диаметр электрода, мм.

Таблица 5. Особенности применения постоянного и переменного тока при РДС

Показатель	Полярность пост. тока		Переменный ток
	прямая	обратная	
Относительная скорость плавления электрода, %	100	110-140	100-120
Магнитное дутье	сильное	сильное	отсутствует
Покрывание электродов: руднокислое, рутиловое, органическое	Применяется	При $S \leq 4$ мм, сварке сверху вниз и др.	применяется
Фтористокальциевое покрытие	Не применяется	Сварка электродами УОНИ 13/45; УП - 2/45	Сварка электродами СМ-11 УП - 2/45

Таблица 6. Характеристика электродов для РДС сталей

Тип электрода	Предел прочности $\sigma_{м.ш.}$, МПа	Марка электрода	Род тока и полярность	Коэффициент наплавки K_n , г/(А · ч)	Область применения
1	2	3	4	5	6
Э42	420	ОМА-2 ВСП-2 ВСЦ-4	Постоянный и переменн. Постоянный Обратная полярность	10 10,5 10	Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с σ_B до 500 МПа
Э46	460	АНО-5	Постоянный и переменн.	11	
		АНО-6	То же	10	
		МР-3	То же	7,8	
		ОЗС-4	То же	10,5	
		ОЗС - 3	То же	15	
		РБУ-5	То же	9	
Э50	500	ВСЦ-3 ВСН-3	Постоянный Обратная полярность	10-13 9	

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
Э42А	420	УОНИ-13/45 СМ-11 ОЗС-2 УП-2/45	Пост. обратн. полярность То же То же и переменный То же	8,5 9,5 8,5 10,0	Сварка углеродист. и низколегир. сталей с повышенными требованиями по пластичности и ударной вязкости
Э46А	460	УОНИ-13/55К ВН-48 ОЗС-22Р	Пост. обратн. полярность То же Пост. и переменный	9,5 11 10	Сварка углеродистых и низколегир. сталей с пределом прочности от 500-600 МПа
Э50А	500	УОНИ-13/55 АНО-11 ЦУ-5 ОЗС-25 ДСК-50	Пост. обратн. полярность То же То же То же Перемен. и пост. обр. поляр.	9 9,5 9,5 9,5 10	
Э 55	550	УОНИ – 13/55У	Обратная полярность и переменный	9,5	
Э 60	600	УОНИ – 13/65 ОЗС-24 ВСЦ - 60	Обратная полярность То же Пост. и переменный	10 9,5 10	Сварка легир. и конструкцион ных сталей повышенной и высокой прочности с пределом прочности более 600 МПа
Э 70	700	ВФС – 75У ЛКЗ - 70	Обр. полярность То же	9 9,5	
Э 85	850	УОНИ – 13/85 ВФС-85 УОНИ-13/85У	Обр.полярн. То же Пост. и переменный	10 9,5 10	
Э 100	1000	НИАТ – 3М ЦЛ-19	Пост. обр. полярность	9,5 10	

Длина дуги при РДС зависит от марки электрода и устанавливается сварщиком в пределах 3-5 мм. Ориентировочно

$$L_d = 0,5(d_s + 2), \text{ мм}$$

Напряжение дуги

$$U_d = a + v \cdot L_d$$

где а - падение напряжения в приэлектродных областях: у катода до 25, у анода до 5 В; в - падение напряжения в дуге, в=(1-5) В/мм.

Можно принять а = 20 В, в = 3 В/мм.

2.3. Выбор источника сварочного тока

Для ручной дуговой сварки используют стационарные или передвижные источники, сравнительная характеристика которых дана в работе 6. Ориентируясь на эти данные и учитывая уже полученные (род и сила тока) выбрать по табл. 6 источник и записать его марку.

В комплект сварочного оборудования кроме источника тока входят соединительные провода, инструмент и приспособления.

Таблица 7. Технические характеристики источников тока

Источник тока		Напряжение, В			Сварочный ток, А		Номинальн ая потребл. мощность кВ · А	Масса, кг
Марка	Вид	сети	номинальн ое	холостого хода	номинальн ый	пределы регулиру вания		
ТД-102	Транс форматор	220	26	80	160	60-175	11,4	37
ТД-304	То же		35	61-79	300	160-350	19,4	157
ТД-500	-“-		30	60-76	500	100-560	32	210
ВД-201	Выпрямител ь		28	64-71	200	30-200	15	120
ВД-306	То же		32	61-70	315	45-315	24	174
ВД-502	-“-		40	80	500	50-500	42	355
ПД-305	Преобразова тель		32	90	315	40-350	17,4	280
ПСО-500	То же		40	86	500	125-600	28	540
АСБ-300	Агрегат	—	32	52-80	300	100-315	29,4 кВт*	632

где * - привод от ГАЗ-320.

3. Техническое нормирование

Технически обоснованные нормы времени позволяют сварщику рационально использовать время смены, полностью загружать оборудование.

В норму времени на выполнение сварочных работ входят: основное время сварки - время горения дуги (плавления электрода); подготовительно - заключительное время - на получение задания, настройку аппаратуры, сдачу работ; вспомогательное время - на установку изделия, поворот его при сварке, зачистку швов; время на обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности.

Для расчета затрат и нормы времени предварительно нужно определить длину шва и массу наплавленного металла.

$$\text{Длина шва} \quad L = \frac{P}{H \cdot R}, \text{ м}$$

где Р - заданная нагрузка, кН; Н - расчетная высота шва, мм (см. рис.2); R- допускаемое напряжение, МПа.

Значение R определяется исходя из $\sigma_{\text{вмш}}$ и коэффициента запаса $K_3=3-4$.

$$R = \frac{\sigma_{\text{вмш}}}{K_3}, \text{ МПа}$$

Для угловых швов определяют допускаемое напряжение на срез $R_c = 0,8 \cdot R$.

Масса наплавленного металла в граммах

$$M_{\text{н.м.}} = F_{\text{н.м.}} \cdot L \cdot \gamma,$$

где $F_{\text{н.м.}}$ - площадь сечения шва, заполненная электродным металлом, мм²; L - длина шва, м; γ - плотность металла. Для стали $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$

Площадь $F_{\text{н.м.}}$ меньше поперечного сечения шва F, частично заполненного расплавленным основным металлом. Значение $F_{\text{н.м.}}$ можно найти как сумму площадей элементарных геометрических фигур, вписанных в нее или по соответствующей формуле (см. рис. 2 и табл. 2).

С учетом потерь металла на огарки и разбрызгивание, а также массы покрытия определяют массу потребных электродов

$$M_э = K_p \cdot M_{н.м.},$$

где K_p - коэффициент расхода массы электродов, примем $K_p=1,4-1,6$.

Основное время
$$t_o = \frac{M_{н.м.}}{I \cdot K_H}, \text{ ч}$$

Здесь $M_{н.м.}$, в г; I в А; K_H в г/(А · ч).

Оперативное время
$$t_{on} = t_o + t_в,$$

где $t_в$ - вспомогательное время.

Примем $t_в = (0,5-0,8) \cdot t_o$

Норма штучного времени

$$t_{шт} = t_{on} \left(1 + \frac{a+b}{100}\right),$$

где a - доля времени на обслуживание рабочего места; b - то же на личные надобности и отдых.

Примем $a = 4$, $b = 8$.

Скорость сварки (перемещения дуги)

$$V = \frac{L \cdot n}{t_o}, \text{ м/ч.}$$

Здесь n - число проходов (валиков шва).

$$n = \frac{F_{н.м.} - f_1}{f_i} + 1,$$

где f_1 - площадь поперечного сечения шва после первого прохода;

f_i - то же для последующих проходов.

Примем: $f_1 = 7d_э$; $f_i = 10d_э$, мм².

4. Составление технологической карты

Заполнить карту по приведенной форме, т.е. только для основной операции; подготовительные, вспомогательные, заключительные работы не раскрывать.

Таблица 8. Технологическая карта сварки

Схема сварного шва		Операционная карта ручной дуговой сварки											
		Материал			Сталь			Марка					
		Шов			Ток			Электроды			Число проходов, п	Скорость сварки, м/ч	Основное время, ч
Операция	Оборудован ие и приспособл ения	Длина, мм	Катет, мм	Положение	Полярность	Сила, А	Напряжение, В	Тип	Марка	Диаметр, мм			
		1. Сварка элементов конструкции											

Лабораторная работа 16

Тема. Проектирование технологического процесса ручной дуговой сварки

Задание. Для варианта разработать процесс РДС.

1. Схемы кромок и сварного шва (рис.1 и 2).
2. Технологические расчеты.
3. Расчет нормы штучного времени.
4. Технологическая карта.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.17 Лабораторная работа №17 (2 часа).

Тема: «Контактная точечная сварка»

2.17.1 Цель работы. Изучение процесса, оборудования и технологии контактной точечной сварки.

2.17.2 Задачи работы:

1. Изучить сущность процесса электрической контактной точечной сварки.
2. Ознакомиться с устройством и работой сварочной машины МТ-601.
3. Определить режим сварки низкоуглеродистой листовой стали.
4. Сварить имеющиеся заготовки.
5. Составить отчет.

2.17.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Машина для контактной точечной сварки МТ-601

2.17.4 Описание (ход) работы:

1. Общие сведения о контактной сварке

Контактной называют сварку, осуществляемую нагревом или расплавлением металлов при прохождении электрического тока в месте контакта сдавливаемых изделий.

По виду сварного соединения различают сварку, выполняемую сжатием заготовок между стержневыми электродами (точечная контактная сварка) или между вращающимися роликами (шовная контактная сварка), а также выполняемую сжатием торцов изделий (круглого, квадратного, кольцевого сечения) - стыковая контактная сварка.

Контактная сварка (к.с.) изобретена инженером Н.Н. Бенардосом почти одновременно с дуговой. Она широко применяется в массовом производстве. Наиболее распространенная точечная сварка позволяет соединить как тончайшие детали электронных приборов, так и стальные листы толщиной до 20 мм. При этом получают до 600 точечных соединений (электрозаклепок) в минуту. Наряду с листовыми заготовками можно сварить лист со стержнем или профильной заготовкой, пересекающиеся стержни из сталей, цветных металлов и сплавов, из разнородных металлов.

2. Точечная контактная сварка

2.1. Сущность процесса и его параметры

При точечной контактной сварке выдерживается следующая последовательность операций:

- сжатие заготовок электродами машины;

- включение тока сварки;
- выключение тока в момент образования нужного объема расплавленного металла - ядра;
- выдержка сжатых заготовок для охлаждения места сварки.

При включении сварочного тока сначала разогреваются выступы (микронеровности) контакта между заготовками, а затем и металл прилегающей зоны. Так как электроды охлаждаются водой и имеют высокую теплопроводность, сопротивление между ними и заготовками значительно (примерно вдвое) меньше, чем сопротивление между заготовками. Здесь-то, в центральной зоне, и происходит интенсивный нагрев металла, где образуется и постепенно увеличивается чечевицеобразная жидкая ванна. Она окружена сильно нагретым слоем металла, который сваривается, образуя кольцевое уплотнение, препятствующее вытеканию металла в зазор между свариваемыми элементами.

После получения зоны расплавления необходимых размеров сварочный ток выключают. Металл охлаждается и в расплавленной зоне кристаллизуется, образуя литое ядро общее для обеих заготовок. Выдержка сжатых заготовок позволяет охлаждаться и упрочняться ядру (сварной точке) во избежание разрушения его упруго сжатыми свариваемыми элементами.

Размеры и структура ядра, определяющие прочность соединения, зависят от формы и размеров контактной поверхности электродов, значения сварочного тока, времени его протекания, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок. Перечисленные показатели являются параметрами сварки.

На практике различают "жесткие режимы" сварки, характеризующиеся большими токами и малой продолжительностью и "мягкие режимы" - совокупность параметров процесса с малыми токами и более продолжительным временем нагрева заготовок.

Последние применяют в мелкосерийном производстве, сварке относительно неотчетливых изделий.

Для соединения, полученного точечной сваркой характерны также шаг точки - расстояние между ними в ряду и ширина нахлестки - ширина взаимного перекрытия свариваемых заготовок.

3. Машины для точечной сварки

3.1. Общие сведения

Имеются стационарные, передвижные и подвесные контактные машины (универсальные и специализированные).

Мощность сварочных машин составляет от 0,5 до 500 кВт · А;

сила сварочного тока 1-200 кА;

напряжение вторичной цепи 1-15 В;

усилие сжатия 0,01 - 100 кН;

время сварки 0,01-10 с.

3.2. Машина МТ- 601

Машина для контактной точечной сварки МТ-601 предназначена для сварки изделий из низкоуглеродистых сталей при толщине элементов от 0,5 до 6 мм.

3.2.1. Устройство и работа машины МТ-601

Машина включает механическую, электрическую и пневматическую системы, систему охлаждения, а также устройства управления, размещенные в корпусе. Отдельные детали или узлы могут быть частями различных систем.

Техническая характеристика МТ-601

Первичное напряжение	В	220 или 380
Вторичное напряжение холостого хода,	В	1,04-2,08
Число ступеней регулирования		8
Номинальный сварочный ток,	кА	6,3
Номинальная толщина свариваемых изделий,	мм	0,5 + 0,5

Максимальный темп работы при сварке, сварок.

в мин 150

Максимальное усилие сжатия электродов,	кН	12
Ход верхнего электрода,	мм	25
Расход охлаждающей воды,	л/ч	300

На корпусе 1 (рис. 1) крепятся нижний 5 переставной и верхний 3 поворотный кронштейны с электродами 4, закрепленными в держателях. В корпусе машины размещены: сварочный трансформатор 6 с пакетным переключателем ступеней 7; пневматический цилиндр 13, шток которого соединен с рычагом 2 верхнего кронштейна; аппаратура управления (контактор 9 и регулятор цикла сварки 10); пневмоаппаратура (электропневматический клапан 11, редуктор, дроссели); система водяного охлаждения.

Пневматический цилиндр 13 при подаче воздуха в нижнюю камеру опускает верхний электрод 4 через шток и рычаг. При подаче воздуха в верхнюю камеру поршень опускается и возвращает рычаг 2 в исходное положение. Для регулирования хода штока на его верхнем конце установлены гайки.

1 - манометр; 2 - регулятор давления; 3 - клапан электропневматический; 4-дроссель.

Система питания пневмоцилиндра сжатым воздухом (рис. 2) состоит из электромагнитного пневматического клапана 3, регулятора давления 2, манометра 1 и двух дросселей 4, ввернутых в корпус пневмоцилиндра.

Воздух из сети (Рс) через регулятор 2 и клапан 3 поступает в камеры пневмоцилиндра. Дроссели 4 служат для смягчения ударов при сжатии электродами изделия и при возвращении верхнего электрода в начальное положение. Безударность достигается сужением выходных отверстий дросселирующих клапанов регулировочными винтами.

Электропневматический клапан типа КПЭМ состоит из корпуса 1 (Рис.3), имеющего четыре гнезда с седлами для тарельчатых клапанов 2, 3, 4 и 5, распорную пружину 7, два штока 6 и мембраны 9. Для впуска редуцированного воздуха (Рр) в корпус 1 предусмотрено окно 8 и для выпуска его - окна 10 и 11.

При обесточенном электромагните 14 шарик 13 под действием пружин через шток перекрывает доступ воздуха из сети (Рс) в диафрагменные камеры.

Давлением пружины 7 и сжатого воздуха Рр, подводимого от окна 8 клапан 4 открывается и перепускает воздух в окно 11 и надпоршневую камеру цилиндра.

При этом из-под поршня воздух через клапан 2 и щель 12 удаляется в атмосферу.

1 - корпус; 2, 3, 4, 5 - клапаны; 6 - шток; 7 - пружина; 8 - впускное окно; 9 - мембрана; 10, 11 - выпускные окна; 12 - щели выпускные; 13 - шарик; 14-электромагнит.

При включении электромагнита 14 якорь притягивается и шток освобождает шарик 13, который давлением воздуха Рс отбрасывается от входного отверстия, а воздух поступает в диафрагменные камеры, в результате этого резиновые мембраны 9 прогибаются вовнутрь и одна из них передвигает клапаны 2 и 3, а вторая - клапаны 4 и 5 (клапаны 2 и 4 будут закрыты, а 3 и 5 - открыты). Сжатый воздух поступит через окно 10 под поршень цилиндра, который совершит рабочий ход. Воздух из надпоршневой камеры через клапан 5 и щель 12 выйдет в атмосферу.

При выключении электромагнита шарик 13 перекроет выпускное отверстие и сообщит диафрагменные камеры с атмосферой, а пружина 7 возвратит тарельчатые клапаны в исходное положение.

Электрическая система машины состоит из сварочного трансформатора, контактора, переключателя ступеней, электрических цепей, вспомогательных устройств.

Трансформатор однофазный имеет сердечник, собранный из П-образных листов электротехнической стали. Первичная обмотка выполнена в виде двух дисковых многорядных катушек. Вторичный виток литой из сплава АЛ-2 соединен с электродами через жесткие и гибкие шины. Элементы вторичного контура (виток, электроды), а также контактор имеют внутреннее водяное охлаждение.

Регулирование сварочного тока осуществляется за счет изменения вторичного напряжения секционированием первичной обмотки (предусмотрено 8 ступеней) с помощью пакетного переключателя.

Система управления обеспечивает работу машины по заданной программе. Для этого установлен регулятор цикла сварки 10 (Рис.1) - электронное устройство, отсчитывающее интервалы времени цикла сварки и выдающее команды на соответствующие исполнительные элементы машины.

Порядок работы системы. Включена кнопка 8, срабатывает клапан 11 и заготовки сжимаются, начинается отсчет времени "Сжатие". После отсчета установленного интервала времени поступает команда на включение сварочного тока (контактором 9). Ток протекает в течение времени "Сварка", затем отсчитывается интервал времени "Проковка", в конце которого дается команда на подъем электрода. Если педальная кнопка 8 остается нажатой, то после отсчета интервала времени "Пауза" цикл сварки повторяется.

Выдержка времени сварки имеет два диапазона, устанавливаемых тумблером 12; продолжительность выдержек "Сварка" и "Пауза" регулируется рукоятками 14.

4. Режимы и технология точечной сварки

4.1. Выбор режимов

Определить расчетные значения параметров для сварки заготовок заданной толщины из низкоуглеродистой стали.

Диаметр контактной поверхности электродов

$$d_э = 5,5\sqrt{S}, \text{ мм},$$

где S - толщина заготовки, мм.

Стандартный ряд диаметров электродов: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 мм.

Сварочный ток рассчитать исходя из средних значений плотности тока по контакту "электрод-сталь":

для жестких режимов $i = 280$,

для мягких режимов $i = 120 \text{ А/мм}^2$.

Время сварки на жестких режимах $t = 0,1S$, на мягких - $0,5S$, с.

Усилие сжатия определяют по удельному контактному давлению $p = 50 - 120 \text{ Н/мм}^2$.

Большие значения принимают при больших толщинах S и жестких режимах. Для недостаточно очищенных поверхностей заготовок требуется усилие сжатия примерно на 20% большее.

Подобрать режимы сварки по справочной таблице (Приложение 2). Заполнить таблицу приведенной формы, внося в нее кроме полученных расчетных и табличных данных скорректированные принятые значения.

Таблица. Параметры режимов сварки

Параметры процесса	Значения параметров					
	жесткий режим			мягкий режим		
	расчетные	табличные	принятые	расчетные	табличные	принятые
J _{CB} , А t _{CB} , с P, кН						

4.2. Технология сварки

Подготовка к сварке заключается в правке (особенно при $S > 2$ мм), очистке заготовок в местах сварки с двух сторон и сборке их (прихватка струбцинами, точечной сваркой, толстых листов – дуговой сваркой).

Значение шага точек и нахлестки выбираются по приложению 3.

Машина настраивается на необходимый режим работы и затем заготовки сваривают.

5. Техника безопасности

1. Перед началом работы тщательно осмотреть и проверить машину (показания приборов, блокировочные устройства). Закрыть двери.
2. Соблюдать общие меры предосторожности при обслуживании и работе электрических сварочных установок.
3. Работать в фартуке, брезентовых рукавицах и с прозрачными очками.
4. Следить за стабильностью режимов сварки и исправностью оборудования.
5. Не допускать наличия горючих веществ и предметов в радиусе 5-6 м от машины.
7. Не сваривать изделия, протертые горючими веществами (бензин, керосин и т.п.) непосредственно перед сваркой.
8. При сварке алюминия, титана место сварки закрывать прозрачным щитком во избежание получения ожогов от выплесков металла.

Форма отчета

Лабораторная работа 17

Тема. Контактная точечная сварка

1. Сущность процесса контактной точечной сварки.
2. Схема двусторонней контактной сварки.
3. Определение параметров режимов сварки заданного изделия (расчет, выбор табличных значений и т.д.).
4. Сварить заготовки и проверить качество сварного соединения.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.18 Лабораторная работа №18 (2 часа).

Тема: «Влияние режимов резания на силы резания»

2.18.1 Цель работы. Ознакомиться с методами и приборами для измерения силы резания при точении; установить влияние глубины резания, подачи и скорости на силу резания с применением метода обработки экспериментальных данных в логарифмической системе координат.

2.18.2 Задачи работы:

1. Изложить методику и аппаратуру для измерения силы резания
2. Заполнить протокол наблюдений
3. Ознакомиться с формулами для определения сил резания

2.18.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Токарно-винторезный станок 1А616
2. Тензоусилитель 8АНЧ-7М с блоком питания.
3. Электрический тензометрический динамометр.
4. Регистрирующий прибор.
5. Штангенциркуль.

2.18.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В процессе резания на лезвие инструмента действуют силы сопротивления перемещению его по траектории относительного рабочего движения. Результирующая этих сил называется силой резания. Силы сопротивления рабочему движению лезвия не стабильны. По тем же причинам нестабильно и направление действия силы резания, которое изменяется одновременно с текущим значением силы резания. Периодические изменения (колебания) силы резания могут привести к нежелательным вибрациям.

Источники возникновения силы резания

Источниками препятствия рабочему движению лезвий являются:

- сопротивление обрабатываемых материалов пластической деформации стружкообразования;
- сопротивление пластически деформированных металлов разрушению в местах возникновения новых поверхностей;
- сопротивление срезаемой стружки дополнительной деформации изгиба и ломанию;
- силы трения на лезвии и других трущихся поверхностях рабочей части инструмента.

Распределение давления на поверхностях лезвия

Взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом осуществляется через контактные площадки, расположенные на передней и задней поверхностях лезвия. Обрабатываемый материал, оказывая сопротивление рабочему движению инструмента, воздействует на контактные площадки неравномерно распределенной нагрузкой P' . Закон распределения давления по передней и задней поверхности показан на рис. 12.1.

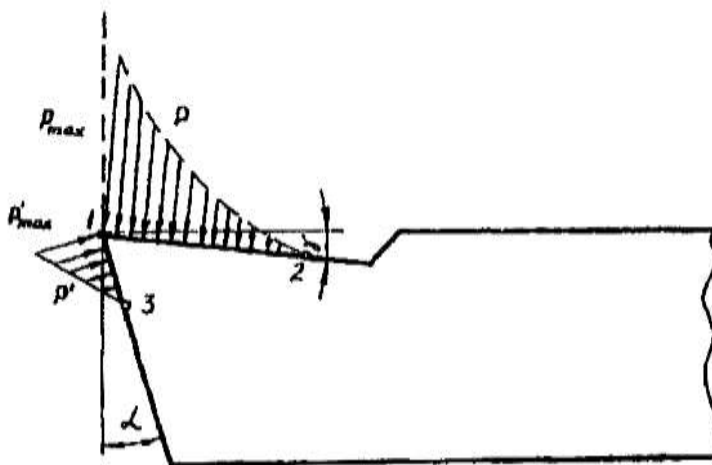


Рис. 12.1. Распределение давления на передней и задней поверхностях лезвия резца.

Наибольшее давление P_{max} действует вблизи главной режущей кромки (точка 1). По мере удаления от нее давление убывает, и в точке 2, в которой прекращается контакт сбегающей стружки с лезвием, давление $P = 0$. Ширина 1-2 контактной площадки при обработке хрупких металлов, например чугуна, равна или незначительно больше толщины срезаемого слоя. При обработке пластичных металлов ширина контактной площадки в 1,5...3 раза больше толщины срезаемого слоя.

На заднюю поверхность лезвия также действует неравномерно распределенная нагрузка P , максимальное значение которой наблюдается у главной задней кромки и уменьшается до нуля в месте прекращения контакта задней поверхности лезвия с поверхностью резания и обработанной поверхностью на заготовке (рис. 12.1). Такие закономерности распределения давления поперек передней и задней контактных поверхностей лезвия сохраняется вдоль всей ширины срезаемого слоя

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}; \quad (12.1)$$

где t - глубина резания;

φ - главный угол резца в плане.

Размеры контактных площадок на передней и задней поверхностях лезвия резца и неравномерный характер распределения на них нормальных сил имеют существенное значение в комплексе тех физических процессов, которые приводят к износу лезвий и потере инструментом режущих свойств.

Разложение результирующей силы резания

Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы P , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Направление вектора силы совпадает с вектором скорости резания V . Работа, затрачиваемая на деформацию и разрушение материала заготовки, расходуется на упругое и пластическое деформирование металла, его разрушение, преодоление сил трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

В результате сопротивления металла деформированию возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент. Это силы упругого (P_{y1} и P_{y2}) и пластического ($P_{п1}$ и $P_{п2}$) деформирования, векторы которых направлены перпендикулярно к передней и главной задней поверхности резца (рис. 91). Наличие нормальных сил обуславливает возникновение сил трения (T_1 и T_2), направленных по передней и главной задней поверхностям инструмента. Указанную систему сил приводят к равнодействующей силе резания:

$$R = P_{y1} + P_{y2} + P_{п2} + T_1 + T_2.$$

Считают, что точка приложения силы R находится на рабочей части главной режущей кромки инструмента (рис. 91). Абсолютная величина, точки приложения и направление равнодействующей силы резания R в процессе обработки переменны. Это можно объяснить неоднородностью структуры металла заготовки, переменной поверхностной твердостью материала заготовки, непостоянством срезаемого слоя металла (наличие штамповочных и литейных уклонов, и др.), изменением углов γ и α в процессе резания. Для расчетов используют не равнодействующую силу резания, а ее составляющие, действующие по трём взаим-ноперпендикулярным направлениям - координатным осям металлорежущего станка.

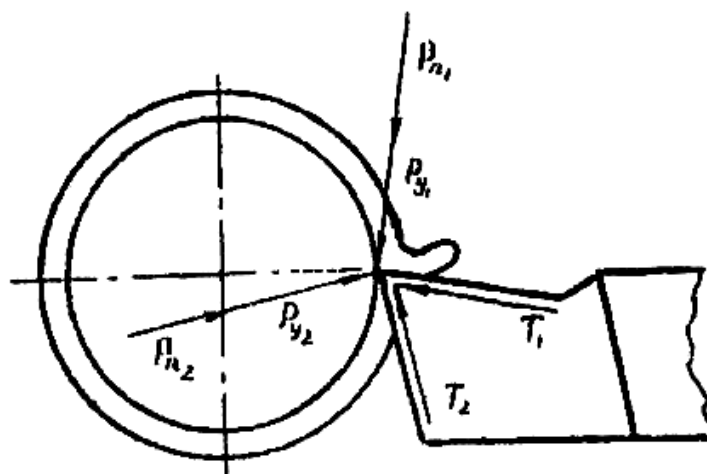


Рис. 12.2. Силы, действующие на резец в процессе точения.

Для токарно-винторезного станка: ось X - линия центров станка; ось Y - горизонтальная линия, перпендикулярная к линии центров станка; ось Z - линия, перпендикулярная к плоскости XOY (рис. 12.3).

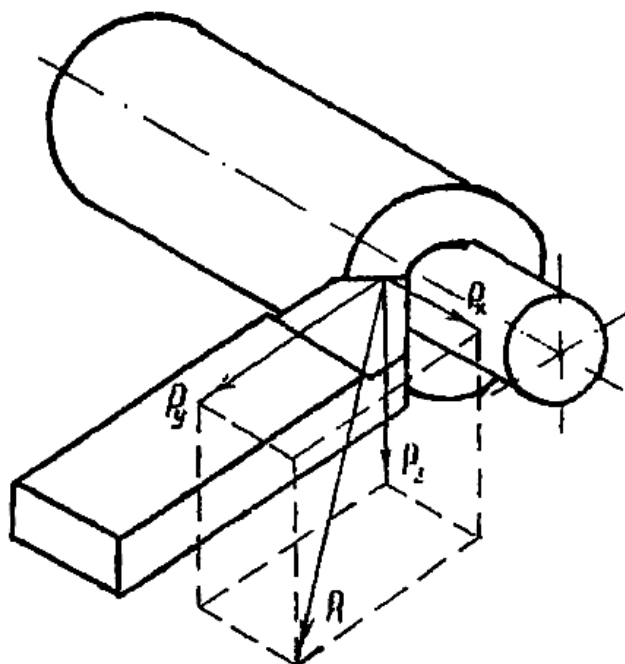


Рис. 12.3. Разложение силы резания на составляющие.

Вертикальная составляющая силы резания P_z действует в плоскости резания в направлении главного движения (по оси Z). По силе P_z определяют крутящий момент на шпинделе станка, эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки в плоскости XOZ , (рис. 12.4), изгибающий момент, действующий на тержень резца (рис. 12.5), а также ведут динамический расчет механизмов коробки скоростей станка.

Радиальная составляющая силы резания P_y действует в плоскости XOY перпендикулярно к оси заготовки.

По силе P_y определяют величину упругого отжата резца от заготовки и величину деформации изгиба заготовки в плоскости XOY .

Осевая составляющая силы резания P_x действует в плоскости XOY , вдоль оси заготовки. По силе P_x рассчитывают механизм подачи станка, изгибающий момент, действующий на стержень резца.

По величине деформации заготовки от сил P_z и P_y рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки заготовки и погрешность её геометрической формы. По величине суммарного изгибающего момента от сил P_z и P_x рассчитывают стержень резца на прочность. Равнодействующая сила резания, R

$$R = R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \quad (12.2)$$

Силу P_z определяют по эмпирической формуле:

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot K_{MPz}, \quad (12.3)$$

где C_{pz} - коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала обрабатываемой заготовки; K_{MPz} - коэффициент, учитывающий факторы, не вошедшие в формулу (углы резца, материал резца и т.д.).

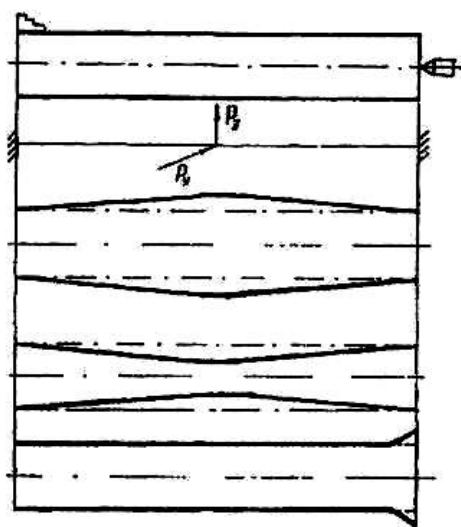


Рис. 12.4. Силы, действующие на заготовку.

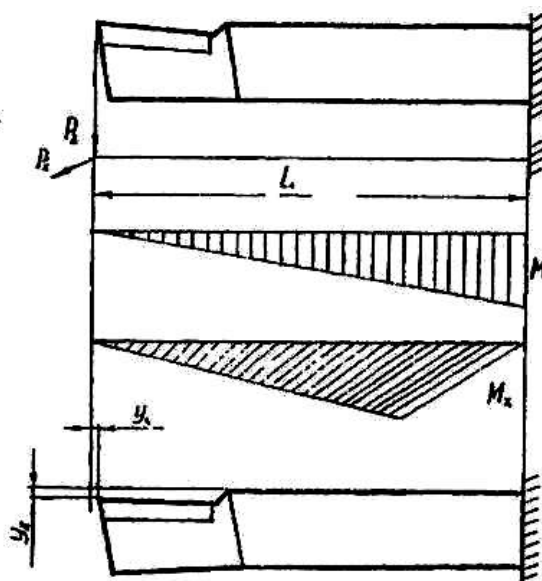


Рис. 12.5. Силы, действующие на резец.

Измерение составляющих силы резания динамометрами

Как правило, в теоретически выведенные уравнения входят параметры, числовые значения которых неизвестны и зависят от режимов резания и степени износа лезвия резца. Найти значения этих параметров можно лишь экспериментально, выполнив непосредственные измерения силы резания P специальным динамометром.

Назначение и принцип работы динамометров

Принцип действия всех динамометров основан на измерении упругой деформации измерительных элементов динамометров, пропорциональной значению измеряемой составляющей силы резания. Динамометры, имеющие лишь один измерительный элемент, используемый обычно для измерения вертикальной (главной) составляющей силы резания P_z , называются однокомпонентными. Динамометры, имеющие два взаимно перпендикулярно расположенных измерительных элемента, например, для одновременного измерения вертикальной P_z и горизонтальной P_x составляющих, называются двухкомпонентными. Динамометры, имеющие три взаимно перпендикулярно расположенных измерительных элемента для одновременного измерения всех трех составляющих силы резания P_x , P_y и P_z , называются трехкомпонентными.

По принципу действия динамометры подразделяют на механические, электрические и гидравлические.

При необходимости измерения среднего значения сил можно пользоваться наиболее простыми *механическими динамометрами* (рис. 12.6), где обычно в качестве регистрирующего прибора применяется индикатор. Динамометр ДК-1 состоит из корпуса 3, от которого отходят два упругих торсионных бруска 2, переходящих в люльку 1, к которой двумя болтами крепится резец. К люльке 1 одним концом приварена длинная планка 4, второй конец планки упирается в промежуточный стержень 5 демпфирующего устройства. Измерительный штифт индикатора 6 упирается в промежуточный стержень 5. Индикатор 6 защищен от стружки корпусом 7. Динамометр устанавливают на верхних салазках суппорта токарного станка (сняв предварительно резцедержатель) и закрепляют болтом, проходящим через отверстие А в корпусе 3 динамометра.

При точении под воздействием главной составляющей силы резания P_z торсионные бруски 2 упруго деформируются (закручиваются), вследствие чего свободный конец стержня 4 поднимается вверх, вызывая (через промежуточный стержень 5) перемещение штифта индикатора 6.

Предварительно динамометр тарируют, т.е. устанавливают зависимость между силой и показаниями индикатора 6. Для устранения появления возможных колебаний конца планки 4 в динамометре предусмотрено демпфирующее (успокаивающее) устройство, состоящее из поршня (с двумя малыми отверстиями), насаженного на стержень 5 и расположенного в закрытом цилиндре корпуса. Цилиндр заполнен вязким маслом.

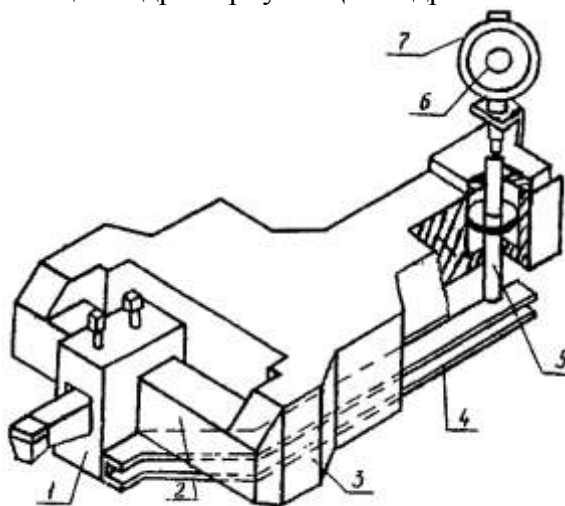


Рис. 12.6. Схема однокомпонентного динамометра ДК-1.

Электрические тензометрические динамометры.

Электрические динамометры компактны, обладают высокой чувствительностью, безинерционны. Электрическими динамометрами можно исследовать быстро сменяющиеся динамические процессы. Основным узлом динамометра является датчик, преобразующий малые упругие деформации в электрические величины. В динамометрах для измерения сил резания применяют пьезоэлектрические, электроконденсаторные, проволоочные, электроиндуктивные и другие датчики. Принципиальная схема электрического измерительного устройства показана на рис. 12.7. На упругий элемент наклеен тензометрический датчик. При наклейке датчика на упругий элемент его ориентируют таким образом, чтобы направление участков проволоки с большей протяженностью (база датчика) совпадало с направлением ожидаемых упругих деформаций.

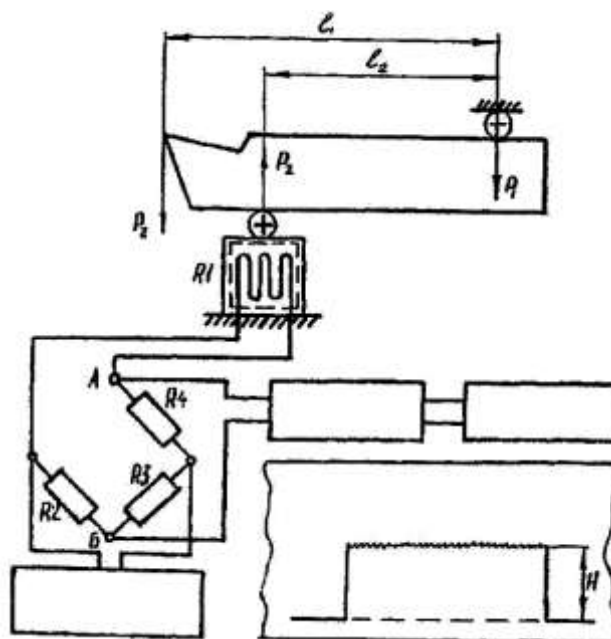


Рис. 12.7. Схема измерения силы резания тензoeлектрическим динамометром.

Для измерения сопротивления датчика используется мостовая или полумостовая схема из сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , в которую датчик сопротивлением R_1 подсоединяется в качестве одного из плеч моста. Упругая деформация измерительного элемента и, следовательно, наклеенного на нем датчика приводит к изменению сопротивления R_1 датчика и нарушению баланса моста, питаемого напряжением от источника. Возникает разность потенциалов между точками А и В моста, значение которой пропорционально изменению сопротивления R_1 датчика, соответствующему деформации упругого элемента под действием силы P_z . Подсоединенный к точкам А и В моста усилитель усиливает сигнал разбаланса, который затем поступает на регистрирующий прибор. Отклонение на ленте, зафиксированное при резании, может быть пересчитано в значение действующей при резании составляющей силы резания P_z согласно предварительно проведенной тарировке.

Гидравлические динамометры.

Принципиальная схема гидравлического измерительного устройства показана на рис. 12.8. На лезвие резца действует вертикальная составляющая силы резания P_z . Нижней опорной плоскостью резец через шарик опирается на поршень. Задним концом державка резца через шарнир упирается на неподвижную опору корпуса динамометра. Сила P_2 действует на шарик опирающийся на поршень, больше измеряемой составляющей P_z в l_1/l_2 раз, т.е. $P_2 = P_z \cdot l_1/l_2$. Поршень с силой P_2 давит через гибкую прокладку на жидкость, заполняющую емкость. Давление в жидкости $p = P_2/A$, где A - площадь поршня, и передается через отводную трубку на изогнутую трубчатую пружину. Под действием давления упругодеформируемая пружина разгибается, и через рычаг, соединенный с ней шариком, перемещает вверх стрелку с пером. Перо, отклоняясь, оставляет на движущейся слева направо бумажной ленте запись. Отклонение пера в любой точке записи пропорционально силе P_2 . По отклонению пера, измеряемому в единицах длины (мм), с помощью тарировочного графика находят значение составляющей силы $P_z = P_2 \cdot l_2/l_1$ в единицах силы (кН).

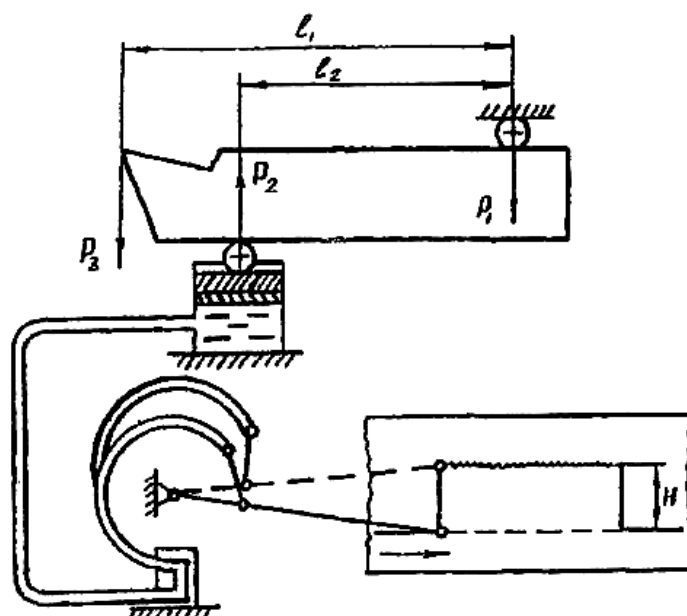


Рис. 12.8. Схема измерения силы резания гидравлическим динамометром

Тарировка динамометра

Прежде чем приступить к экспериментам, динамометр следует тарировать, т.е. установить зависимость между величиной нагрузки, приложенной к вершине резца, и показаниями регистрирующего прибора. Для этого к вершине резца прикладывается постепенно увеличивающаяся нагрузка (например, 100, 200, 300 кг и т.д.) и записываются показания прибора. Затем динамометр разгружается по тем же ступеням и снова записываются показания прибора. Строится график нагрузки и разгрузки динамометра и пользуются средним значением (рис. 12.9) При измененном вылете резца пользоваться этим тарировочным графиком нельзя, нужна снова тарировка. После тарировки заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон, настраиваются требуемые режимы резания и проводятся две серии экспериментов.

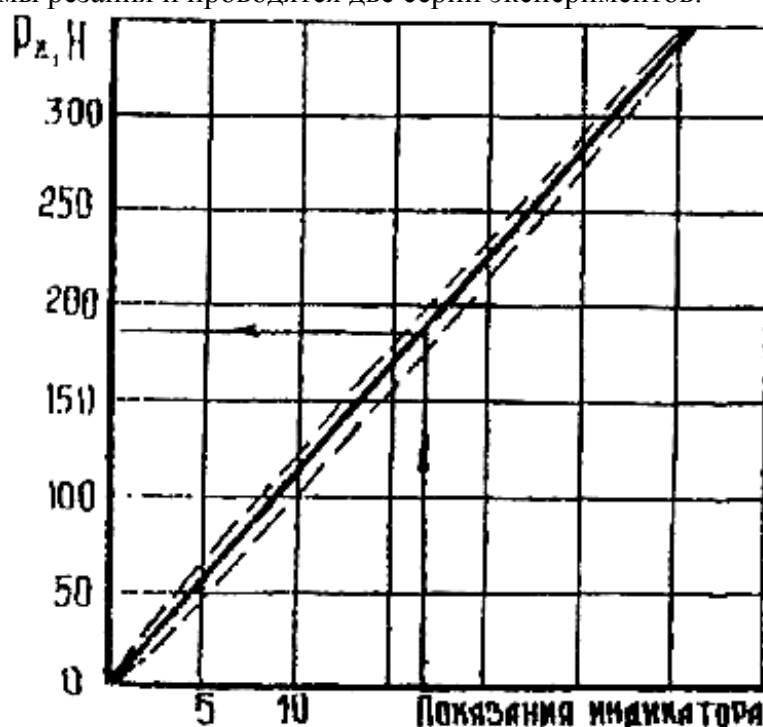


Рис. 12.9. Тарировочный график динамометра.

Порядок выполнения работы

1. Установить проходной резец ГОСТ 10047-62 с наклеенными тензодатчиками и заданными геометрическими параметрами в резцовую головку суппорта или проверить правильность установки резца.

2. Прогреть тензоусилитель 8АНЧ-7М в течение 30 минут.

3. Провести тарировку электрического тензометрического динамометра

Тарировка тензометрического динамометра

Тарировочные устройства (см. рис. 12.10) представляют собой рычаг, опирающийся регулировочным винтом 1 на вершину резца с плечом, равным 50 мм, передвижным грузом $P_{гр}$, приложенным на плечи L_i . Изменение нагрузки на резец производится перемещением груза по рычагу 2 в направлении от вершины резца к концу рычага.

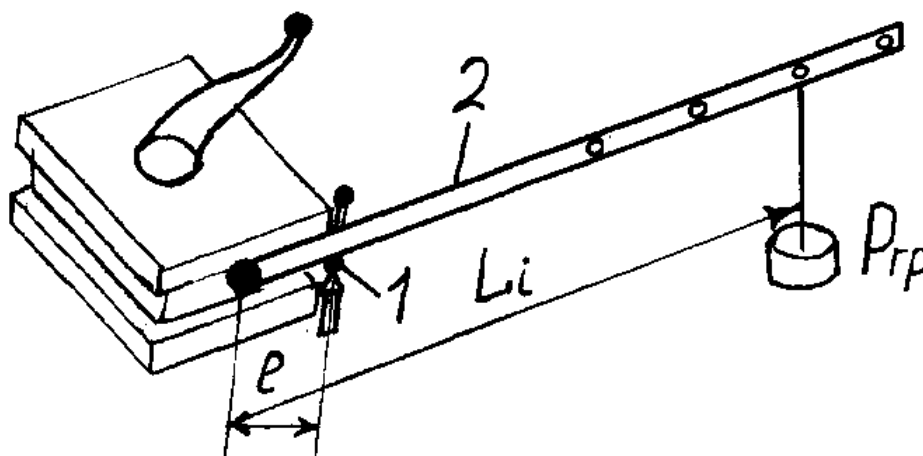


Рис.12.10. Схема тарировки тензометрического динамометра.

При тарировке каждому положению груза P_i будет соответствовать показание прибора. Зная плечо приложения груза и его вес, определяем момент, действующий на вершину резца, он равен $M_i = P_{гр} \cdot L_i$. Плечо приложения момента на резец известно и равно 50 мм. Определяем силу, действующую на вершину резца. Зафиксировав показания прибора, определим цену деления в Н.

$$N_{при} = \frac{PL_i}{50n_{пр}}; [Н] \quad (12.4)$$

Проделав несколько нагружений, определим среднее значение цены деления прибора:

$$N_{ср.} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot N_3}{3}; \quad (12.5)$$

Это значение $N_{ср}$ используется при проведении двух серий опытов при определении влияния глубины резания и подачи на силу резания P_z . При проведении опыта производим отсчет по прибору и эту величину умножаем на цену деления, получаем величину P_z в Н

$$P_z = n_{пр} \cdot N_{ср} \quad (12.6)$$

где $n_{пр}$ - показания прибора динамометра; $N_{ср}$ - цена деления прибора.

Для измерения сил резания на токарном станке поставлена установка однокомпонентного динамометра, дающая возможность производить замер силы резания.

В резцедержательную головку установлен тензометрический резец, подключенный к усилителю. Усиленный сигнал с тензометрического резца подается на усилитель и фиксируется гальванометром, подключенным к усилителю. Тензометрический резец под действием силы резания пропорционально силе деформируется, величина деформации преобразуется в напряжение и подается на усилитель. Усиленный сигнал замеряется гальванометром, протарированным в Н.

Затем тарировочное устройство снимается и устанавливается обрабатываемая заготовка.

4. Установить стальную заготовку, один конец которой закрепить в патроне, а второй подпереть центром задней бабки.
5. Штангенциркулем в месте точения заготовки измерить её диаметр.
6. Ручками станка установить заданное число оборотов.
7. Рукояткой ручного поперечного перемещения суппорта установить глубину резания.
8. Провести первую серию опытов, при этом V , t остаются постоянными, а три раза менять величину продольной подачи суппорта с помощью рукоятки управления коробкой подач. Исходные данные и показания регистрирующего прибора заносим в таблицу.
9. Провести вторую серию опытов, при этом V , S , остаются постоянными, а три раза менять глубину резания с помощью рукоятки ручного поперечного перемещения суппорта. Исходные данные и показания регистрирующего прибора также заносим в таблицу.
10. Используя показания регистрирующего прибора определяем величину силы P_z , а результаты заносим в таблицу.
11. Проводим обработку экспериментальных данных

При обработке экспериментальных данных, полученных во время опыта, необходимо найти функцию. Степенная функция вида:

$$P_z = Cp_z \cdot t^{xp_z} \cdot S^{yp_z}; \quad (12.7)$$

При определении коэффициентов x_{pz} : y_{pz} степенной функции используется метод приведения уравнения к линейному виду при помощи логарифмирования

$$P_z = Cp_z \cdot t^{xp_z} \cdot S^{yp_z}; \quad (12.8)$$

$$\lg P_z = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t + Y_{pz} \lg S; \quad (12.9)$$

В общем виде функция двух переменных, но в первой серии опытов меняем только одну переменную, тогда глубину резания можно принять как функцию одной переменной вида: $P_z = C'_{pz} \cdot t^{xp_z}$, во второй серии опытов меняем подачу, функция принимает вид $P_z = C''_{pz} \cdot S^{yp_z}$.

Подставив результаты опыта в линейные уравнения, и вычтя значение одной функции из другой получим следующее выражение:

$$\lg P_{z_2} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t_2 \quad (12.10)$$

$$\lg P_{z_1} = \lg Cp_z \cdot X_{pz} \lg t_1$$

$$X_{z_2} = \frac{\lg Cp_{z_2} - \lg Cp_{z_1}}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (12.11)$$

$$\lg P_{z_2} - \lg P_{z_1} = x_{pz} (\lg t_2 - \lg t_1)$$

Решаем эти выражения относительно искомых величин:

$$\lg P_{z_3} = \lg C_{p_z} \cdot X_{p_z} \lg S_2 \quad (12.12)$$

$$\lg P_{z_4} = \lg C_{p_z} \cdot X_{p_z} \lg S_1$$

$$y_{z_2} = \frac{\lg C_{p_{z_4}} - \lg C_{p_{z_3}}}{\lg S_2 - \lg S_1} \quad (12.13)$$

$$\lg P_{z_3} - \lg P_{z_4} = y_{p_z} (\lg S_2 - \lg S_1)$$

Определив показатели степени x_{pz} при глубине резания и y_{pz} подачи, подставив в функцию, определим коэффициент C_{pz} . Этот коэффициент характеризует обрабатываемый материал. Материал в процессе опыта не меняли поэтому он во всех расчетах численно равен $P_z = C_{pz} \cdot t_z^{xp} \cdot S_z^{yp}$

$$C_{p_{z1}} = \frac{P_{z1}}{t_1^{xp} S^{yp}}, C_{p_{z2}} = \frac{P_{z2}}{t_2^{xp} S^{yp}}, C_{p_{z3}} = \frac{P_{z3}}{t_3^{xp} S^{yp}},$$

$$C_{p_{z4}} = \frac{P_{z4}}{t^{xp} S_1^{yp}}, C_{p_{z5}} = \frac{P_{z5}}{t^{xp} S_2^{yp}}, C_{p_{z6}} = \frac{P_{z6}}{t^{xp} S_3^{yp}}$$

$$C_{p_{zcp}} = \frac{C_{p_{z1}} + C_{p_{z2}} + C_{p_{z3}} + C_{p_{z4}} + C_{p_{z5}} + C_{p_{z6}}}{6} \quad (12.14)$$

12. Получить расчетную формулу для определения силы резания P_z . Результаты расчетов занести в таблицу.

13. Написать выводы по работе.

Форма отчета

Лабораторная работа № 18

Тема: «Влияние элементов режима резания на тангенциальную составляющую силы резания».

1. Изложить методику и аппаратуру для измерения силы резания
2. Заполнить протокол наблюдений
3. Ознакомиться с формулами для определения сил резания

Результаты эксперимента обрабатываем и заносим в таблицу.

Таблица 1

N	Pz	T	S	Xpz	Ypz	X/Ycp	Cpz	Cpzcp
1								

2								
3								
4								
5								
6								

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют на переднюю и заднюю поверхности резца в главной секущей плоскости?
2. На какие составляющие разлагается равнодействующая сил резания при точении?
3. Каково соотношение между составляющими сил резания?
4. Напишите формулу для определения силы P_z .
5. Какие приборы применяются для измерения составляющих сил резания и как подразделяются в зависимости от количества этих составляющих?
6. На какие виды подразделяются динамометры по принципу действия регистрирующего устройства?
7. Как можно уменьшить радиальную силу при помощи геометрии резца?

2.19 Лабораторная работа №19 (2 часа).

Тема: «Влияние режимов резания на температуру резания»

2.19.1 Цель работы. Получить навыки самостоятельной работы по исследованию тепловых явлений в процессе резания; изучить влияние глубины, подачи и скорости резания на температуру резания, при точении.

2.19.2 Задачи работы:

1. Изложить методику и аппаратуру для измерения температуры резания
2. Заполнить протокол наблюдений
3. Ознакомиться с формулами для определения температуры резания

2.19.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Токарно-винторезный станок 1A616.
2. Стальная заготовка.
3. Заготовка из стали.
4. Резцы, подготовленные для образований термопары.
5. Миллиамперметр, набор электропроводов.
6. Штангенциркуль.

2.19.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Процесс резания металлов сопровождается значительным выделением теплоты, которое образуется в результате превращения работы резания (затрачиваемой на упругие и пластические деформации металла и трение металла о режущий инструмент) в теплоту.

Теплообразование и теплоотвод при резании металлов

Силы, действующие на режущий инструмент, порождают многообразные деформации в стружке и теле заготовки. Кроме того, при перемещении стружки вдоль передней и задней поверхностей резца возникают силы трения.

Работа всех этих сил (сумма произведения элементарных сил на соответствующие деформации), как показывает опыт, переходит в теплоту. Теплота, образовавшаяся в процессе резания, возникает соответственно величине работы сил резания и сил трения, а температура устанавливается в соответствии с теплопроводностью и теплоемкостью названных соприкасающихся тел, с размерами сечений, отводящих теплоту, причем в стружке, резце и заготовке образуются свои различные температурные поля.

Явления теплообразования и теплоотвода при резании металлов весьма сложны, так как температура процесса резания и её распределение изменяют механические и физические свойства обрабатываемого металла, вследствие чего существенно меняется сам характер деформации стружки и деформации поверхностного слоя обработанной поверхности заготовки, а также характер износа инструмента.

Температура, влияя непосредственно на износ режущих инструментов, ограничивает применение наиболее высоких режимов резания, а следовательно, определяет пределы производительности и стойкости резца при данных условиях резания. Воздействуя на заготовку, температура может ухудшить состояние поверхностного слоя и понизить точность обработки.

Изучение условий теплообразования и условий теплоотвода в зависимости от различных факторов резания позволяет установить наиболее выгодную геометрию, размеры и форму резца, а также наиболее выгодные режимы обработки и продолжительность резания между двумя заточками, т.е. стойкость режущего инструмента.

При резании металлов различают следующие виды деформации и соответствующие им работы.

Работа сил, порождающих упругие деформации. При резании в резце, стружке и теле обрабатываемой заготовки возникают упругие деформации, которые преобразуются в упругие колебания, последние быстро затухают и превращаются в теплоту.

Работа сил, порождающих пластические деформации. Они представляют главным образом смятие, частичное растяжение, сопровождающееся сдвигом, напряжение которого достигает предела текучести и выше. Пластическая деформация представляет собой по своему существу искажение кристаллической решетки, размельчение кристаллов и изменение структуры материала. Пластическая деформация является необратимым процессом, который сопровождается выделением теплоты. Работа сил трения на передней, задней и боковых поверхностях резца.

По современным взглядам на физическую сущность трения работа сил трения затрачивается частично на разрушение выступающих поверхностных частиц и частично на их упругие и пластические деформации.

Итак, работа A , затрачиваемая на процесс резания, может быть представлена уравнением

$$A = A_{\text{упр}} + A_{\text{пл}} + A_{\text{тр}}. \quad (13.1)$$

где $A_{\text{упр}}$ – работа сил, порождающих упругие деформации

$A_{\text{пл}}$ – работа сил пластической деформации

$A_{\text{тр}}$ – работа сил трения

По данным проф. В.Д. Кузнецова, 85...90% всей работы резания превращается в теплоту, а 10...15% идет на искажение (в зоне резания,) кристаллической решетки обрабатываемого

материала. Если считать, что вся механическая работа резания полностью переходит в теплоту, то количество теплоты, образующейся в результате этой работы (ккал/мин)

$$Q = \frac{P_z \cdot V}{4186,8} \approx \frac{P_z \cdot V}{4190}; \quad (13.2)$$

где 4190 - тепловой эквивалент работы, ккал/Дж;

P_z - вертикальная составляющая силы резания, Н;

V - скорость резания, м/мин.

Образующаяся теплота распределяется между стружкой (50...86%), резцом (40...10%) обрабатываемой деталью (9...3%). Около 1% теплоты рассеивается в окружающей среде вследствие излучения (рис. 13.1).

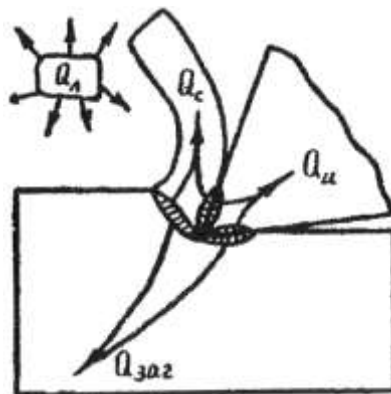


Рис. 13.1. Источники образования и распределения теплоты резания

Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания. Нагрев инструмента до высоких температур (800... 1000°C) вызывает структурные превращения в металле, из которого он изготовлен, снижение твердости инструмента и потерю режущих свойств. Нагрев инструмента вызывает изменение его геометрических размеров, что влияет на точность размеров и геометрическую форму обработанных поверхностей. Нагрев заготовки вызывает изменение её геометрических размеров. Вследствие жесткого закрепления на станке заготовка деформируется. Температурные деформации инструмента, приспособления, заготовки и станка снижают качество обработки.

Погрешность формы обработанных поверхностей возрастает из-за непостоянства температурного поля по объему заготовки: в процессе обработки и после охлаждения обработанной заготовки возникают дополнительные погрешности обработанной поверхности. Температурные погрешности следует учитывать при наладке станков. Для определения погрешностей необходимо знать температуру инструментов и заготовки или количество теплоты, переходящей в них.

На величину температуры в зоне резания оказывают влияние следующие факторы: физико-механические свойства обрабатываемого материала, режим резания (скорость резания, подача и глубина резания), геометрические параметры инструмента и применение скаечно- охлаждающей жидкости. Большое влияние оказывают также теплопроводность и теплоемкость обрабатываемого материала. Чем выше теплопроводность обрабатываемого материала, тем интенсивнее отвод тепла в стружку и обрабатываемую деталь, а следовательно, тем меньше нагревается резец. От теплоемкости обрабатываемого материала зависит количество теплоты, воспринимаемой стружкой и заготовкой.

Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания. С увеличением подачи температура в зоне резания повышается, но менее интенсивно, чем при увеличении скорости резания. Еще меньшее влияние на температуру оказывает глубина резания. Это объясняется тем, что с увеличением подачи и особенно глубины

резания возрастает поверхность контактирования обрабатываемой детали с инструментом, что улучшает условия теплоотвода от наиболее нагретых участков рабочей части инструмента.

Из геометрических параметров инструмента наибольшее влияние на температуру резания оказывает угол резания δ , главный угол в плане ϕ , радиус закругления вершины резца r . С увеличением угла резания и главного угла в плане температура в зоне резания возрастает, а с увеличением радиуса закругления вершины резца уменьшается.

Имеет также значение площадь поперечного сечения тела инструмента: с её увеличением происходит более интенсивный отвод теплоты от места его образования в тело резца. Применение смазочно-охлаждающей жидкости существенно уменьшает температуру в зоне резания.

Методы измерения температуры при резании

Для определения температуры резания применяют методы термопар в различных видах, калориметрический метод, метод термоласок и метод микроструктурного анализа.

Калориметрический метод основан на измерении температуры сходящей стружки при помощи калориметра. На рис. 13.2 приведена схема установки для определения средней температуры стружки. Начальная температура воды замеряется термометром. На поверхности заготовки 1 выстрачивают пазы для расчленения стружки. В сосуд 2 подают части стружки 3. После перемешивания, через некоторый промежуток времени, термометром 4 замеряется температура воды. Взвешивание стружки, упавшей в сосуд, производится после промывки её в щелочи и выдержки в вакууме.

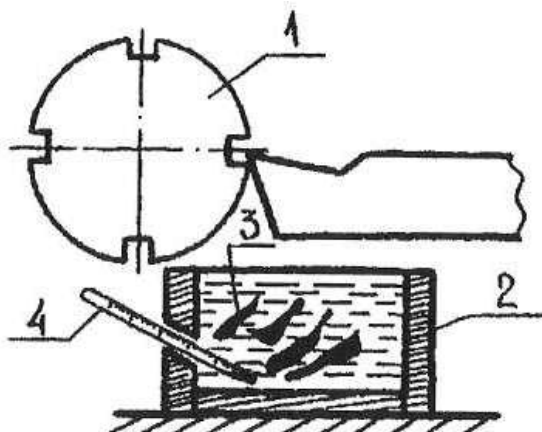


Рис. 13.2. Схема установки для определения средней температуры стружки.

1 - заготовка; 2 - калориметр; 3 - стружки; 4 - термометр.

Тогда среднюю температуру стружки определяют из уравнения калориметра:

$$G(t_k^0 - t_0^0) = G_1 \cdot c(T_{\text{стр}}^0 - t_k^0),$$

$$G(t_k^0 - t_0^0) = G_1 \cdot c(T_{\text{стр}}^0 - t_k^0)$$

$$T_{\text{стр}}^0 = \frac{G(t_k^0 - t_0^0)}{G_1 \cdot c} + t_k^0, \quad (13.3)$$

где G - вес воды, г;

t_k - температура воды в калориметре после опыта;

t_0 - температура воды до опыта;

G_1 - вес стружки, гр;

c - теплоемкость стали;

$T_{\text{стр}}$ - средняя температура стружки.

Таким образом, левая часть уравнения (66) равна количеству калорий, полученных водой из стружки. Правая часть уравнения равна количеству калорий, отданных стружкой воде.

Количество теплоты в резце можно определить также калориметрическим путем, быстро сняв нагретый в процессе работы резец и погрузив его в калориметр; точно также можно поступить и с обрабатываемой заготовкой.

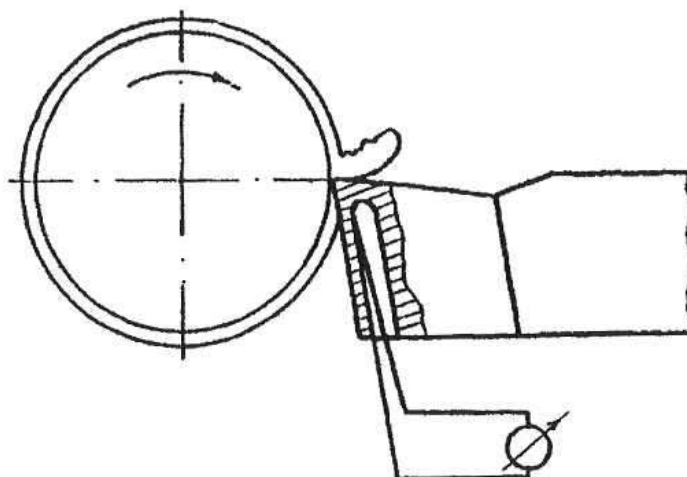


Рис. 13.3. Схема измерения температуры резания методом искусственной термопары.

Метод искусственной термопары (рис. 13.3) основан на измерении температуры резца около режущей кромки. В резце около режущей кромки сверлят отверстие диаметром 1...2 мм, которое не доходит до передней поверхности на величину 0,2...0,4 мм. В это отверстие вставляют термопару железо-констант, состоящую из двух тонких проволок диаметром 0,1...0,15 мм. Проволоки термопары изолированы друг от друга и от стенки отверстия, в цепь включают гальванометр. При резании слой термопары нагревается и возникает в цепи термоэлектродвижущая сила, которая регистрируется гальванометром.

Полуискусственная термопара. Одним из элементов этой термопары является резец (рис. 13.4). В просверленное в резце отверстие диаметром 0,5 мм вводится константовая проволока, которая выводится на переднюю или заднюю поверхность, где и расклепывается. Этот метод дает более точные и надежные результаты, чем вышеописанный.

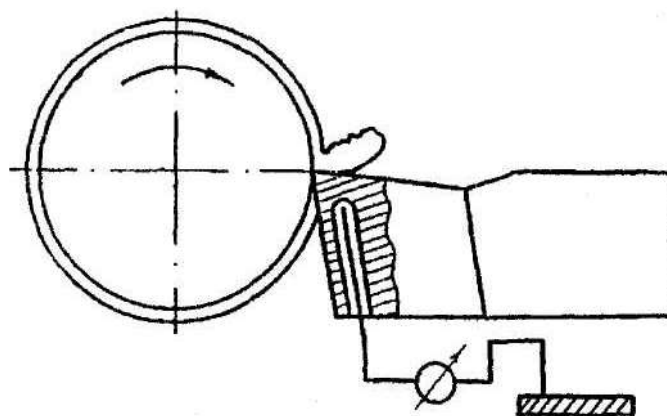


Рис. 13.4. Схема измерения температуры резания методом полуискусственной термопары.

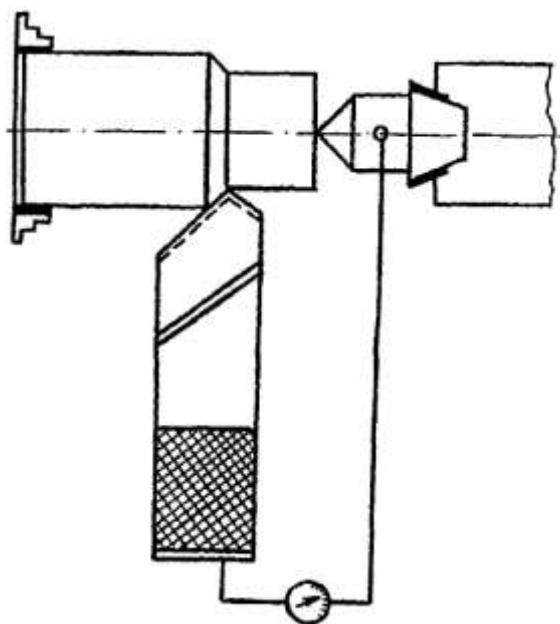


Рис. 13.5. Схема измерения температуры резания методом естественной термопары.

Метод естественной термопары (рис. 13.5) дает среднее значение температуры зоны резания. Элементами термопары является обрабатываемый материал и резец. Токоотъемник выполнен на базе вращающегося центра. Деталь изолирована от патрона, вращающийся центр - от задней бабки, резец - от суппорта. Термодвижущая сила поступает от токоотъемника и резца на гальванометр. Метод термокрасок состоит в том, что специальные краски в зависимости от температуры меняют свой первоначальный цвет. Набор из 14 красок позволяет измерять температуры от 45 до 780 °С.

Метод микроструктурного анализа основан на анализе разовых и микроструктурных изменений, которые происходят в наружных слоях поверхности инструмента в результате воздействия тепла. Микроструктурные изменения, определяемые при помощи металломикроскопа, и изменения твердости в поверхностных слоях инструмента дают возможность судить о температуре, которая имела место в той или иной точке поверхности.

Кроме определения температуры резания представляет интерес и характер распределения теплоты в резце и обрабатываемом материале, т.е. определение температурного поля в зоне резания. Температурное поле в зоне резания обычно рассчитывают на основе теории теплообмена в твердых телах с применением ЭВМ.

Тарировка термопары

Прежде чем приступить к экспериментам, термопару следует тарировать, т.е. установить зависимость между температурой резца и показателями милливольтметра. Тарировочное устройство состоит из электропечи, ванны для плавки алюминия, контрольного термометра, соединительных проводов, гальванометра, твердосплавной пластинки и пластинки из материала заготовки. В ванну с расплавленным алюминием погружают пластинку из обрабатываемого материала, резец с твердосплавной пластинкой и контрольный термометр (рис. 13.6.). Пластинку и резец соединительными проводами соединяют с гальванометром. При нагреве ванны записывают показания контрольного термометра и показания гальванометра. По результатам показаний строится тарировочный график $\theta = f(n)$. Естественная термопара обеспечивает удовлетворительные результаты, но требует относительно сложного тарирования, т.к. для каждого вида обрабатываемого материала и материала резца необходимо строить отдельные тарировочные графики.

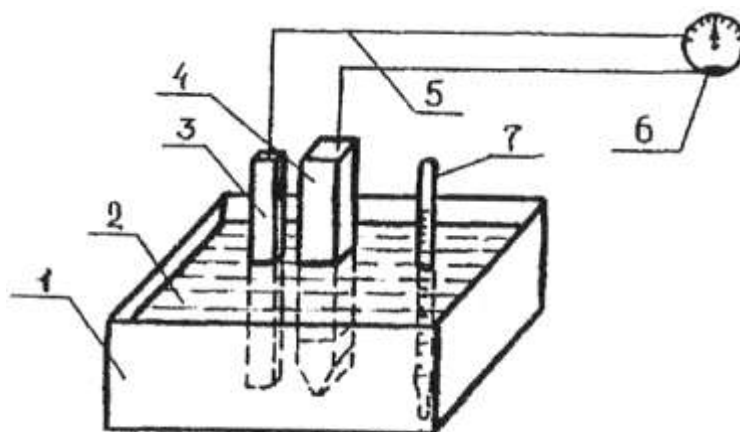


Рис. 13.6. Схема установки для тарировки термопары.

1 - ванночка для металла; 2 - расплавленный металл; 3 - пластина из материала заготовки; 4 - твердосплавная пластина резца; 5 -электропровода; 6 -гальванометр; 7 -теометр.

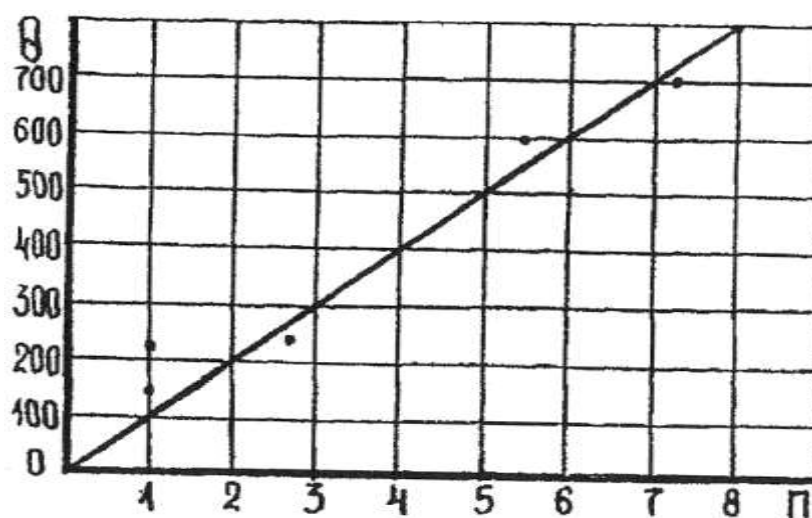


Рис. 13.7. Тарировочный график естественной термопары

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить стальную заготовку в станок при этом один конец жестко закрепить в патроне, а второй подпереть центром задней бабки.
 2. Установить резец в резцедержатель или проверить правильность его установки.
 3. Провести тарировку естественной термопары по ранее изложенной методике.
 4. Штангенциркулем в месте точения измерить диаметр заготовки.
 5. Настроить станок для проведения трех серий опытов, но при этом учесть, что в первой серии величина подачи и глубина резания постоянные, а измеряем величину скорости резания, во второй серии скорость и глубина постоянные, а измеряем величину продольной подачи, в третьей серии скорость и подача постоянные, а измеряем глубину резания.
- Результаты опытов и исходные данные записываем в таблицу.
6. Определить скорость резания при точении V , м/мин по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (13.4)$$

где D - диаметр заготовки, мм; n - число оборотов шпинделя, об/мин.

7. Используя данные таблицы построить в логарифмической системе координат график зависимости температуры в зоне резания θ от скорости резания V , график зависимости температуры в зоне резания θ от подачи S и график зависимости температуры в зоне резания θ от глубина резания t .

Математическое выражение приведенных графических зависимостей записывается как:

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 1} + Z_{\theta} \cdot \lg V, \quad (13.5)$$

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 2} + Y_{\theta} \cdot \lg S, \quad (13.6)$$

$$\lg \theta = \lg C_{\theta 3} + X_{\theta} \cdot \lg t, \quad (13.7)$$

Выражения (68), (69) и (70) являются уравнениями первой степени. Показатели степени Z_{θ} , Y_{θ} и X_{θ} численно равны тангенсу угла наклона прямых линий.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} = Z_{\theta}, \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{a_2}{b_2} = Y_{\theta}, \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{a_3}{b_3} = X_{\theta},$$

Отрезки прямых a_1b_1 , a_2b_2 и a_3b_3 пересекающие линию наклона в направлении осей координат выбирают произвольно. Замерив значения этих отрезков, которые представляют катеты прямоугольных треугольников, подсчитывают значения Z_{θ} , Y_{θ} и X_{θ} . Коэффициенты $C_{\theta 1}$, $C_{\theta 2}$ и $C_{\theta 3}$ зависят от свойств обрабатываемого материала и условий обработки. Из логарифмических уравнений (13.5), (13.6) и (13.7) следует, что

$$\theta = C_{\theta 1} \cdot V^{Z_{\theta}}, \theta = C_{\theta 2} \cdot S^{Y_{\theta}}, \theta = C_{\theta 3} \cdot t^{X_{\theta}}. \quad (13.8)$$

В общем виде зависимость температуры в зоне резания θ от скорости резания V , подачи S и глубины резания t будет иметь вид

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^{Z_{\theta}} \cdot S^{Y_{\theta}} \cdot t^{X_{\theta}}, \quad (13.9)$$

где; Z_{θ} , Y_{θ} и X_{θ} - показатели степеней; C_{θ} - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий обработки.

Численное значение коэффициента C_{θ} определяется решением уравнения (13.9). Для этого значения θ , V , S и t берут из таблицы, а значения степеней Z_{θ} , Y_{θ} и X_{θ} из построенных графиков или полученных аналитическим путем (порядок расчета приводится ниже).

Решение функции (13.4) аналитическим способом:

8. Определить показатели степени Z_{θ} , Y_{θ} и X_{θ} , решив уравнения (13.5), (13.6) и (13.7).

Из таблицы берем значения θ и V и подставляем в уравнение (13.5):

$$Z_{\theta} = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg V_2 - \lg V_1}, \quad (13.10)$$

Решением уравнения (13.10) для трех опытов первой серии получим значения $Z_{\theta 1}$, $Z_{\theta 2}$, $Z_{\theta 3}$.

9. Определить среднее значение $Z_{\theta \text{ ср}}$.

$$Z_{\theta \text{ ср}} = \frac{Z_{\theta 1} + Z_{\theta 2} + Z_{\theta 3}}{3}, \quad (13.11)$$

10. Из таблицы берем значения θ и S подставляем в уравнение (13.6)

$$Y_{\theta} = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg S_2 - \lg S_1}, \quad (13.12)$$

Решением уравнения (13.12) для трех опытов второй серии получим значения $Y_{\theta 1}$, $Y_{\theta 2}$, $Y_{\theta 3}$.

11. Определить среднее значение $Y_{\theta \text{ср}}$.

$$Y_{\theta \text{ср}} = \frac{Y_{\theta 1} + Y_{\theta 2} + Y_{\theta 3}}{3}, \quad (13.13)$$

12. Из таблицы берем значения θ и t и подставляем в уравнение (13.7)

$$X_{\theta} = \frac{\lg \theta_2 - \lg \theta_1}{\lg t_2 - \lg t_1}, \quad (13.14)$$

Решением уравнения (13.14) для трех опытов третьей серии получим значения $X_{\theta 1}$, $X_{\theta 2}$, $X_{\theta 3}$.

13. Определить среднее значение $X_{\theta \text{ср}}$.

$$X_{\theta \text{ср}} = \frac{X_{\theta 1} + X_{\theta 2} + X_{\theta 3}}{3}, \quad (13.15)$$

14. Определить коэффициент C_{θ} по формуле (13.9). Для этого прологарифмируем обе части уравнения (13.4) и получим уравнение

$$\lg \theta = \lg C_{\theta} + Z_{\theta} \lg V + Y_{\theta} \lg S + X_{\theta} \lg t.$$

Подставляя табличные значения θ ; V ; S и t из каждого опыта определяем девять значений C_{θ} .

15. Определить среднее значение коэффициента $C_{\theta \text{ср}}$.

$$C_{\theta \text{ср}} = \frac{C_{\theta 1} + C_{\theta 2} + C_{\theta 3} + C_{\theta 4} + C_{\theta 5} + C_{\theta 6} + C_{\theta 7} + C_{\theta 8} + C_{\theta 9}}{9}, \quad (13.16)$$

Подставить в выражение (13.9) полученные значения C_{θ} , Z_{θ} , Y_{θ} , X_{θ} и написать расчетную формулу для определения температуры в зоне резания θ .

Форма отчета

Лабораторная работа № 19

Тема: «Влияние элементов режима резания на температуру в зоне резания при точении».

1. Цель работы.
2. Тарировочный график.

Таблица результатов расчета функций и опытов.

№ серии	№ опыта	Диаметр, мм	Число оборотов шпинделя,	Скорость резания, м/мин	Логарифм скорости	Глубина резания	Логарифм глубины резания	Подача	Логарифм подачи	Показания прибора	Значение температуры	Логарифм температуры	Показатели степени	Средняя величина показателей	Логарифм постоянной	Постоянная	Средняя величина
1	1																
	2																
	3																
2	1																
	2																
	3																
3	1																
	2																
	3																

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как распределяется теплота в процессе резания?
2. Какие факторы влияют на температуру в зоне резания?
3. Какие методы применяются для определения температуры в процессе резания?
4. Как за счет элементов режима резания можно уменьшить температуру в зоне резания?
5. Как можно за счет геометрических параметров режущего инструмента уменьшить температуру в зоне резания?

2.20 Лабораторная работа №20 (2 часа).

Тема: «Геометрия спирального сверла, зенкера и развертки»

2.20.1 Цель работы. Закрепить знания студентов путем изучения конструкции и геометрических параметров сверла, зенкера и развертки. Практически ознакомиться со средствами и техникой измерения геометрических параметров их режущей части.

2.20.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и геометрические параметры сверла, зенкера и развертки.
2. Ознакомиться со средствами и техникой измерения геометрических параметров режущей части сверла, зенкера и развертки.
3. Заполнить протокол наблюдений

2.20.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Прибор для измерения задних углов сверла.
2. Универсальный угломер.
3. Штангенциркуль.
4. Набор сверл, зенкеров и разверток.

2.20.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сверление - распространённый метод получения отверстий в сплошном материале. Сверлением получают сквозные и несквозные (глухие) отверстия и обрабатывают предварительно полученные отверстия в целях увеличения их размеров, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

Сверление осуществляется при сочетании вращательного движения инструмента вокруг оси - *главного движения* и поступательного его движения вдоль оси - *движения подачи*. Оба движения на сверлильном станке сообщают инструменту.

Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении. В процессе резания затруднены отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости к режущим кромкам инструмента. При отводе стружки происходит трение её о поверхность канавок сверла и сверла о поверхность отверстия. В результате повышается деформация стружки и тепловыделение. Переменное значение скорости резания и переднего угла по длине режущей кромки сказывается на характере образования стружки. Поперечная режущая кромка (перемычка) имеет угол резания больше чем 90° , а скорость резания у перемычки почти равна нулю, поэтому у перемычки происходит не резание, а смятие, что вызывает повышенный износ сверла. Направляющие ленточки, не имея заднего угла, создают при сверлении значительное трение о поверхность обработанного отверстия.

Виды свёрл и их характеристика

Свёрла по конструкции и назначению подразделяют на спиральные, перовые, центровые и специальные.

Перовые свёрла наиболее просты в изготовлении, применяются для сверления отверстий от 0 до 25 мм. Перовые свёрла вследствие малой производительности и низкой точности отверстий применяются редко.

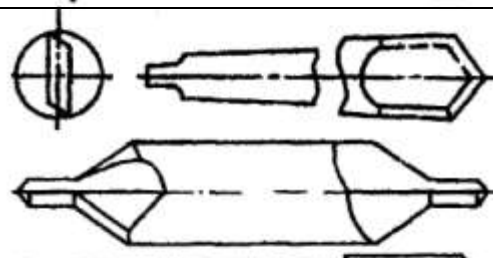
Центровые свёрла служат для получения центровых отверстий в различных заготовках. Комбинированные свёрла, например сверло-зенковка, сверло-развёртка, сверло-метчик, применяют для одновременного сверления и зенкования, сверления и нарезания резьбы и т. д.

Специальные сверла (например, пушечные, ружейные сверла) применяют для глубокого сверления (более пяти диаметров). Наибольшее распространение имеют спиральные сверла, так как они являются наиболее производительными.

Виды сверл

Таблица 2.1

Название сверла	Эскиз сверла
Спиральное с цилиндрическим и коническим хвостовиком	
Для глубокого сверления	



Перовое	
Центровочное	
Ружейное	
Для кольцевого сверления	

Части и элементы спирального сверла

У спирального сверла различают следующие части (рис. 2.1):

1. Рабочая часть - часть сверла, снабженная двумя винтовыми канавками; рабочая часть включает в себя режущую и направляющую часть сверла.
2. Режущая часть - часть сверла, заточенная на конус и несущая режущие кромки

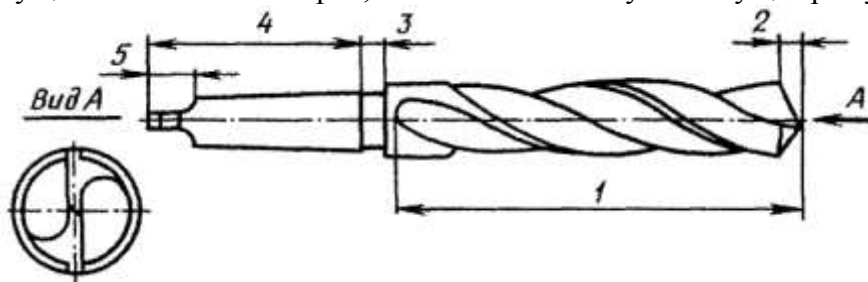


Рис. 2.1. Спиральное сверло.

Направляющая часть - часть сверла, которая обеспечивает направление сверла в процессе резания.

3. Хвостовик - часть сверла, служащая для его закрепления и передачи крутящего момента от шпинделя.
4. Лапка (у сверл с коническим хвостовиком) служит упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя.
5. Поводок (у сверл с цилиндрическим хвостовиком) предохраняет сверло от проворачивания в патроне.

Основные элементы спирального сверла

1. Передняя поверхность - винтовая поверхность канавки, по которой сходит стружка.
2. Задняя поверхность - поверхность, обращенная к поверхности резания.
3. Режущая кромка - линия, образованная пересечением передней и задней поверхностей, главных режущих кромок у сверла их две.
4. Ленточка - узкая полоска на цилиндрической поверхности сверла, расположенная вдоль винтовой канавки: обеспечивает сверлу направление при резании.
5. Поперечная кромка - линия, образованная в результате пересечения обеих задних поверхностей.

Геометрические параметры режущих кромок сверла

Углы режущих кромок сверла можно рассмотреть двояко: в статическом состоянии и в процессе резания (в движении).

На рис. 2.2 для произвольной точки А показаны углы режущей кромки сверла в двух сечениях: в плоскости N-N, нормальной к режущей кромке, и в плоскости 0-0 касательной к цилиндрической поверхности, на которой лежит рассматриваемая точка.

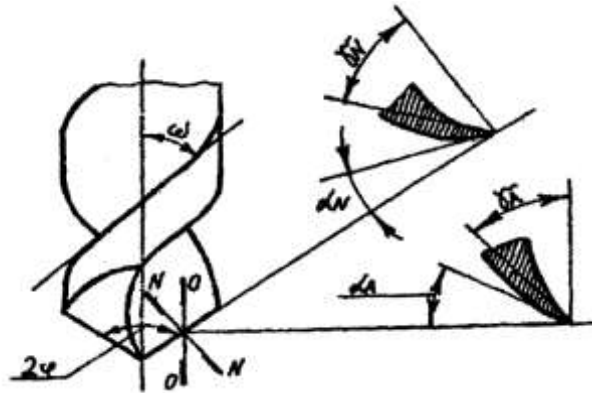


Рис. 2.2. Элементы рабочей части сверла

Передний угол γ - угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормально в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. По длине режущей кромки передний угол - является величиной переменной. По мере приближения к оси сверла передний угол уменьшается, а у поперечного режущего лезвия он принимает отрицательное значение.

Задний угол α_N в нормальной плоскости N-N может быть определён по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \varphi \quad (2.1)$$

где φ - угол в плане главной режущей кромки, равный половине угла при вершине.

Задний угол сверла - величина переменная: у периферии $\alpha = 8-14^\circ$, по мере приближения к поперечной режущей кромке задний угол возрастает и достигает $20-26^\circ$.

В процессе резания в результате вращательного и поступательного движения сверла поверхность резания представляет собой винтовую поверхность. Вследствие этого действительные углы изменяются, передний угол γ становится большим, а задний угол α меньшим:

$$\gamma_p = \gamma + \mu, \quad (2.2)$$

$$\alpha_p = \alpha - \mu \quad (2.3)$$

где μ - угол наклона траектории движения данной точки.

Величину μ для данной точки режущей кромки сверла можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi \cdot D} \quad (2.4)$$

где S - подача сверла, мм/об; D - диаметр, на котором расположена данная точка режущего лезвия сверла, мм.

Зенкеры

При обработке отверстий обеспечить высокую чистоту поверхности и точность размеров значительно труднее, чем при обработке наружных поверхностей.

Эти трудности возрастают по мере увеличения длины отверстия и уменьшения его диаметра. Для облегчения этой задачи служат размерные инструменты - зенкеры и развертки. Зенкер - многолезвийный расточной инструмент для обработки предварительно просверленного отверстия или отверстия, полученного литьём или

ковкой. Зенкерованием получают отверстие с точностью до 4-го класса и чистотой до 6-го класса.

Центрирование зенкер не обеспечивает: если до обработки зенкером отверстие имело биение, то биение сохраняется после зенкерования. Производительность при зенкеровании более высокая, чем при растачивании.

Зенкеры бывают: хвостовые и насадные (крепятся к оправке на конусной насадке); цельные и сборные (со вставными ножами); быстрорежущие и твердосплавные. По количеству рабочих перьев различают трёхперые и четырёхперые зенкеры. Иногда применяют двухперые зенкеры - ножи. Зенкеры крепят коническим хвостовиком в пиноль задней бабки, подача может быть ручной или механической.

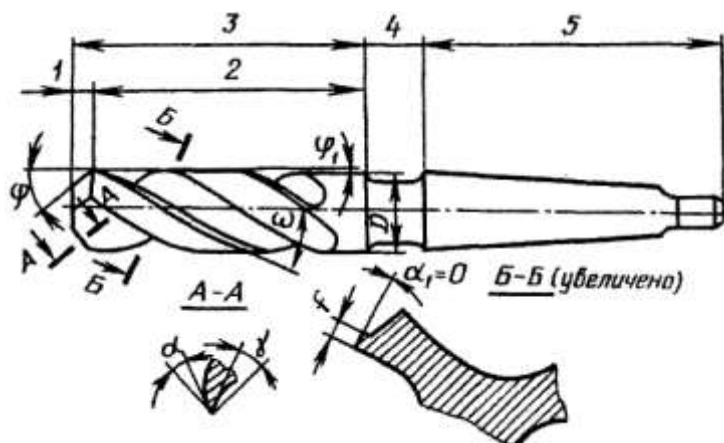


Рис.2.3. Конструкционные элементы зенкера:

1-режущая (заборная) часть; 2- калибрующая часть; 3- рабочая часть;
4- шейка; 5- хвостовик

Припуск под зенкерование отверстий составляет 0,5 - 2 мм на сторону в зависимости от диаметра. Ниже приведены средние значения припусков под зенкерование после сверления, которые удаляются за один проход (т.е. $t = h$).

Таблица 1.1. Припуск под зенкерование после сверления

Диаметр зенкерования, мм	до 20	21-35	36-45	46-50	51-60	61-70	71-80
Припуск h на сторону, мм	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2

Подачи при работе зенкерами из быстрорежущей стали 0,3-1,2 мм/об, твердосплавными зенкерами 0,4-1,5 мм/об, скорость резания соответственно 20-35 м/мин и 60-200 м/мин. Отверстия большего диаметра обрабатывают комбинированным инструментом - сверлом-зенкером.

Зенковкой обрабатывают фаски, потаи. Для получения поверхности высокой чистоты (до 8-го класса) зенковки, в отличие от зенкеров, делают многолезвийными. Стандартные зенковки имеют углы конуса рабочей части 45, 60, 75, 90 и 120

Развёртки

Как было указано, обработкой зенкером получают невысокую точность и чистоту поверхности. Чтобы без особых затруднений обеспечить высокую чистоту и высокую точность, пользуются размерными многолезвийными инструментами - *развёртками*. Обработкой развёрткой получают отверстия до 2-го класса точности с чистотой 7-го - 8-го класса, а обработкой последовательно двумя развёртками - до 9-го класса. Однако, как и

при зенковании, развёртыванием нельзя получить центрирование, если до этого отверстие имело биение или перекос.

По назначению развёртки делятся на слесарные (ручные) и станочные (машинные), по конструкции - на хвостовые и насадные, по материалу - на быстрорежущие и твердосплавные. Существуют также регулируемые (установочные) развёртки, размер которых можно изменять в небольших пределах. Развёртка состоит из рабочей части, шейки и хвостовика. Хвостовик машинных развёрток - конический (стандартный конус Морзе), ручных развёрток цилиндрический с квадратом под вороток. На рабочей части развёртки различают направляющий конус, заборный конус и калибрующую часть. Направляющий конус облегчает ввод развёртки в отверстие.

Заборный конус расположен под углом φ (рис. 2.4) к направлению подачи развёртки. Угол φ для обработки чугуна составляет $4-6^\circ$, для обработки стали $12-15^\circ$. Это значит, что для обработки чугуна заборный конус развёртки длиннее, чем для обработки стали. Таким способом уменьшают истирание режущих кромок при обработке материала с большой абразивностью.

Режущие кромки на заборном конусе остро заточены и выполняют работу резания.

Калибрующая часть - цилиндрический участок развёртки. Режущие зубья на этом участке имеют узкие шлифовальные ленточки шириной $0,05-0,2$ мм, которые направляют развёртку в отверстие, а кромка ленточки зачищает отверстие, обеспечивает высокую чистоту поверхности. Диаметр развёртки, измеренный по ленточкам противоположных зубьев, соответствует диаметру обрабатываемого отверстия.

Для облегчения вывода развёртки из отверстия на калибрующей части по ленточкам шлифуется обратный конус с углом $1:50$ (угол наклона около $10'$). Шаг между зубьями развёртки, как правило, делается неравномерным. Если у развёртки, например, 12 зубьев, то центральный угол составляет не 30° , а последовательно 33° , $34^\circ 30'$, 36° , $37^\circ 30'$, 39° , при этом противоположные зубья должны располагаться на одном диаметре, что важно для контроля развёртки. Неравномерность шага устраняет попадание режущей кромки в одно и то же место на поверхности отверстия в момент биения развёртки из-за колебаний чисел оборотов (при колебании напряжения в сети), износа подшипников и неравномерности структуры обрабатываемого металла.

Высокое качество обработки обеспечивают с правыми и левыми спиральными (винтовыми) канавками.

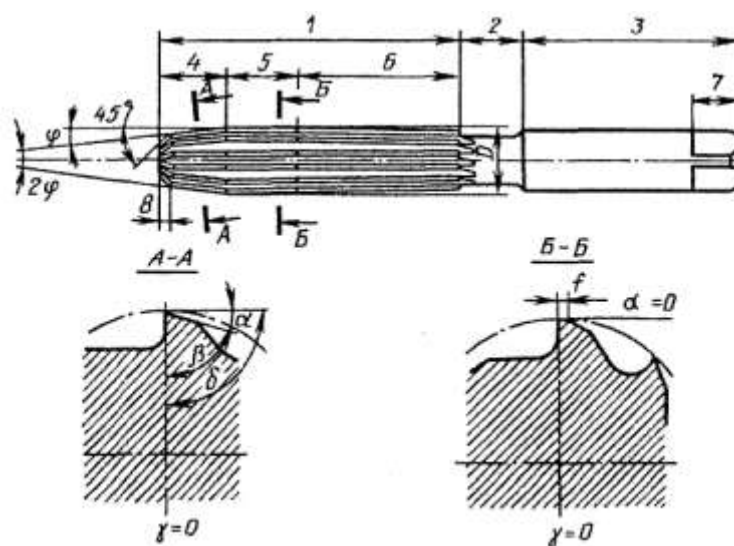


Рис. 2.4. Конструкционные элементы развёртки:

- 1 - рабочая часть; 2 - шейка; 3 - хвостовик; 4 - заборная (режущая) часть;
- 5 - калибрующая часть; 6 - обратный конус; 7 - квадрат;
- 8 - направляющий конус.

Перед развёртыванием отверстие очищают от грязи и стружки, протирают. Если хвостовик развёртки закреплён непосредственно в пиноли задней бабки, то незначительная несоосность хвостовика и рабочей части развёртки, перекос оси пиноли или загрязнение посадочного конуса вызывает неравномерное срезание припуска; отверстие будет иметь больший диаметр у концов и меньший в середине. Чтобы припуск срезался равномерно, и не было "разбивки размера", развёртки закрепляют в качающейся оправке: корпус оправки закрепляют в пиноли, а собственно оправка, несущая развёртку, связана с корпусом шарниром. Существуют также "плавающие" оправки, в которых развёртка "плавает", сохраняя горизонтальное положение. Припуск на развёртывание зависит от обрабатываемого материала и составляет 0,08-0,2 мм на сторону. При очень большом припуске трудно получить требуемый размер отверстия, кроме того, можно сломать развёртку. Очень малый припуск также нежелателен, так как поверхность предварительно просверленного отверстия имеет "наклёп" -некоторое повышение твёрдости в результате деформации поверхностного слоя при сверлении или расточке. Развёртка, работая по наклёпанному слою, будет быстро истираться и возможно её заклинивание в отверстии.

Развёртывание стальных заготовок деталей выполняется с охлаждением эмульсией, или маслом, а чугуновых - с охлаждением керосином или керосином со скипидаром.

Выбор режимов резания при развёртывании.

Подача принимается в 2-3 раза больше, чем при сверлении отверстия такого же диаметра, а скорость резания в 2-3 раза меньше. Величина подачи на чистоту обработанного отверстия не влияет, так как последняя зависит исключительно от состояния кромки на ленточке. Необходимость низкой скорости резания при развёртывании объясняется явлением наростообразования: при низкой скорости нарост на режущей кромке не образуется, что обеспечивает высокое качество обработки.

Припуск под чистовые (окончательные) развёртки принимается 0,05-0,25 мм на сторону. Для предварительной (черновой) развёртки припуск на сторону может быть увеличен в 2-3 раза. Средние значения припусков (глубин резания) при чистовом (окончательном) развёртывании:

Таблица 1.2. Припуск при чистовом развёртывании

Диаметр развёртки, мм	до 5	6-10	11-15	16-30	31-50	51-60	61-80
Припуск на сторону (глубина резания), мм	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25

Зенкеры и развёртки изготавливают как из инструментальных быстрорежущих сталей P18 и P9, так и с пластинками из твёрдых сплавов (Т15К6, при обработке сталей; ВК4; ВК6 и ВК8 при обработке чугунов); ручные развёртки изготавливают из сталей 9ХС и У12А.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Измерить штангенциркулем основные размеры сверла диаметр - D и диаметр - D_1 на расстоянии $L = 100$ мм от вершины рис. 26.
2. Определить угол обратного конуса по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{D - D_1}{2 \cdot L} \quad (2.5)$$

3. Универсальным угломером по схеме (рис. 2.6) измерить угол наклона поперечной кромки φ . Для этого пластину прикладывают к главной режущей кромке, а угольник к перемычке, результат отсчитывают по шкале.

4. Штангенциркулем непосредственно от вершины угла измерить толщину перемычки b (рис. 2.5).
5. Определить ширину поперечной кромки BC из условия:

$$BC = \frac{b}{\sin \psi} \quad (2.6)$$

где b - толщина поперечной кромки (перемычки).

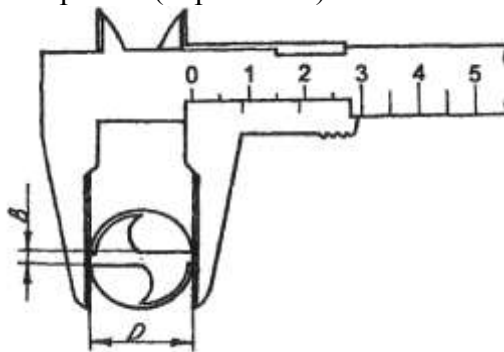


Рис. 2.5. Измерение конструктивных параметров сверла.

6. Универсальным угломером измерить угол наклона при вершине 2φ (рис. 2.7).

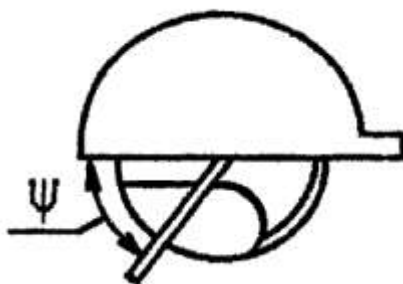


Рис. 2.6. Измерение угла наклона поперечной кромки.

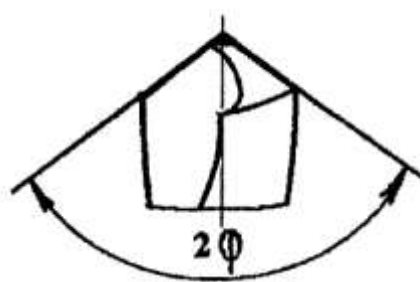


Рис. 2.7. Измерение угла при вершине.

7. Угол наклона винтовой канавки обычно определяется по отпечатку, который получается при прокатывании сверла по бумаге, измеренному универсальным угломером. Развертка угловой канавки изображена на рис. 2.8. Значение переднего угла γ_{NX} для различных точек режущей кромки a , b , c подсчитывается по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma_{NX} = \frac{D_X \cdot \operatorname{tg} \gamma_a}{D \cdot \sin \varphi}; \quad (2.7)$$

$$\gamma = \omega_a, \quad (2.8)$$

где, $\operatorname{tg} \gamma_{NX}$ - тангенс переднего угла;
 D_X - диаметр на котором проводим измерение;
 D - диаметр сверла;
 ω_a - угол наклона винтовой линии в точке a ;
 φ - половина угла при вершине,

Точка a режущей кромки соответствует наружному диаметру сверла (D), точка b режущей кромки отстоит от оси сверла на расстояние $3/4$ (D), точка c режущей кромки соответствует среднему диаметру сверла (D).

Получив значение переднего угла для различных точек режущей кромки ($\gamma_a, \gamma_b, \gamma_v$) строят график зависимости главного переднего угла от диаметра сверла.

8. Определить угол резания в главной секущей плоскости N-N для точки a режущей кромки из выражения:

$$\delta_a = 90 - \gamma_{Na} \quad (2.9)$$

где γ_{Na} - передний угол в главной секущей плоскости.

Результаты измерений и расчетные данные записать в таблицу отчета.

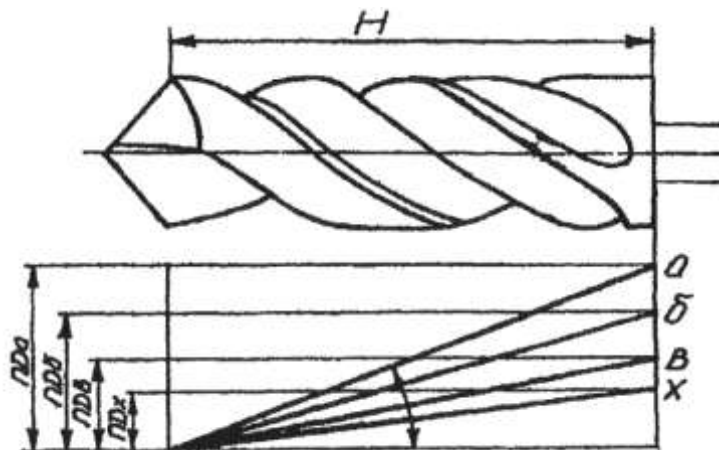


Рис. 2.8. Развертка угловой канавки.

9. Измерить величину заднего угла α в различных точках режущей кромки a, b, v . Измерение заднего угла проводится на специальном приборе (рис. 2.9). В патроне устройства крепится сверло. На диске патрона укреплен лимб в градусах и индекс, по которому проводится отсчет угла поворота сверла.

Патрон, в котором закреплено сверло, поворачивается от руки на любой угол. С помощью индикатора отсчитывается величина падения кривой задней заточки (при повороте сверла на некоторый угол). Показания индикатора и угла поворота сверла заносят в таблицу отчета.

Измерение проводят по трем окружностям с диаметрами $D, D_1 = 3/4D, D_2 = 1/2D$. Длина дуги S_x , соответствующая повороту сверла (для данного диаметра) определяется по формуле:

$$S_x = \frac{\pi \cdot D_x \cdot \theta}{360}; \quad (2.10)$$

где D_x - диаметр, на котором проводится измерение падения кривой задней поверхности;
 θ - угол поворота сверла в градусах.

Задний угол сверла α в различных точках режущей кромки определяется из выражения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n}{s}; \quad (2.11)$$

где n - показания индикатора, мм.

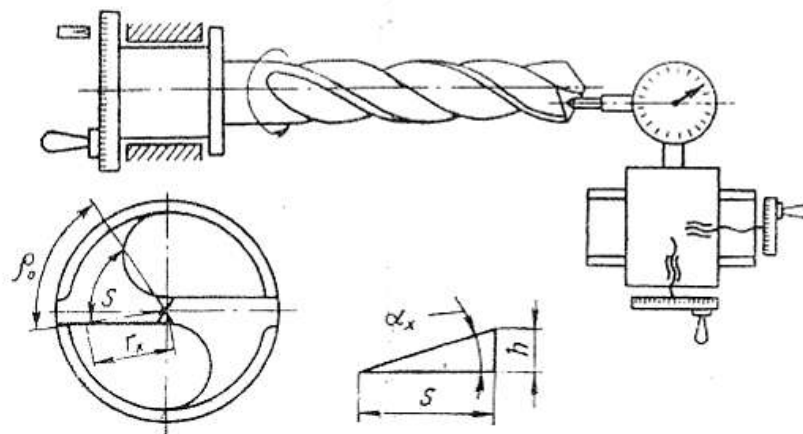


Рис. 2.9. Схема измерения заднего угла сверла

На основании полученных величин заднего угла строится график $a=f(D)$. Ход кривой графика указывает, что задний угол сверла является переменным, но увеличивается от периферии к центру. Передний угол γ увеличивается с увеличением диаметра.

10. Измерить микрометром номинальный диаметр d зенкера и диаметр d_1 на конце рабочей части.
11. Измерить штангенциркулем общую длину зенкера - L ; длину рабочей части - l , заборной части - l_1 (рис. 2.10).;
12. Вычислить обратную конусность K зенкера по формуле:

$$K = \frac{d - d_1}{l - l_1}; \quad (2.12)$$

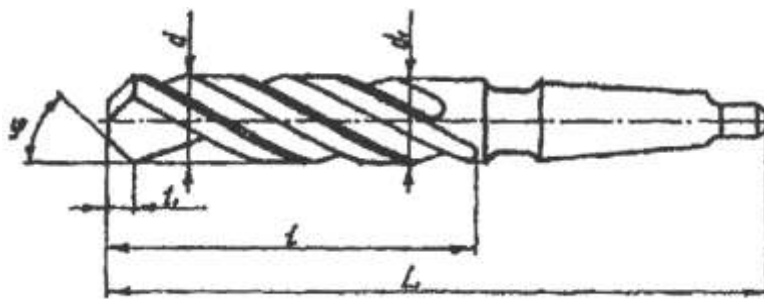


Рис. 2.10. Схема измерения конструктивных параметров зенкера.

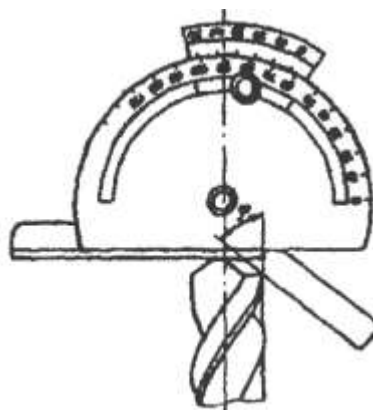


Рис. 2.11. Измерение главного угла в плане ϕ .

13. Универсальным угломером измерить главный угол в плане ϕ (рис. 2.11).
14. Угол наклона винтовой канавки измерить аналогично замеру этого угла у сверла.

15. Рассчитать передний угол γ на наружном диаметре по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}; \quad (2.12)$$

16. Измерить микрометром диаметр развертки в пяти местах по длине калибрующей части (рис. 2.12); за результат измерений взять наибольшее значение диаметра.

17. Измерить штангенциркулем (измерительной линейкой) общую длину развертки - L , длину рабочей части - l , заборной части - l_1 калибрующей части - l_2

18. Изменить угол заборного конуса σ универсальным угломером аналогично измерению этого угла у зенкера.

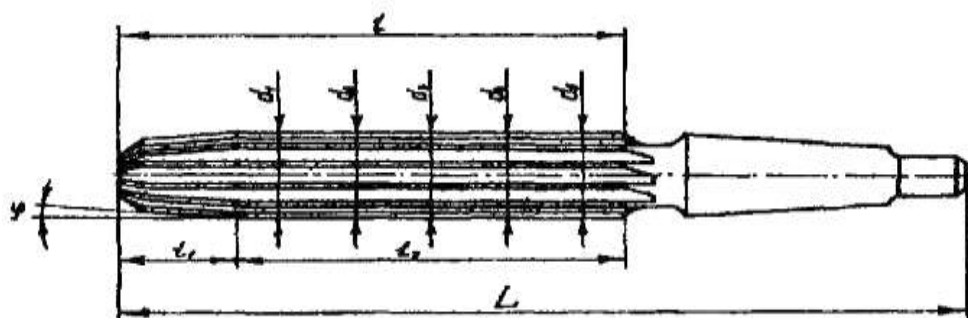


Рис. 2.12. Схема измерений параметров развертки.

Форма отчета

Лабораторной работе № 20

Тема: «Изучение и измерение геометрии сверла, зенкера и развертки»

1. Цель работы:
2. Эскиз сверла, зенкера и развертки.

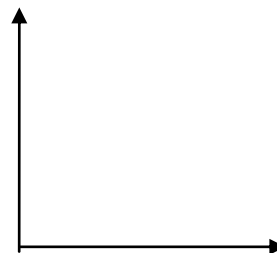
Таблица 2. Результаты замера сверла и вычислений

Конструктивные элементы сверла					Углы в градусах					
Диаметр сверла, D мм.	Длина сверла, L мм.	Длина рабочей части, мм.	Толщина поперечной кромки, b мм.	При вершине 2φ	φ_1	ψ	ω	На периферии γ_n	α	S

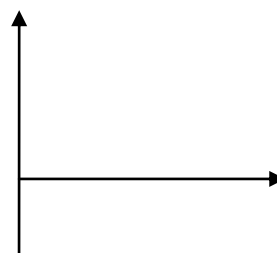
Определение значений переднего угла сверла

№ пп	D_x мм	$\operatorname{tg} \gamma_{Nx} = \frac{D_x \cdot \operatorname{tg} \gamma_a}{D \cdot \sin \varphi}$	γ_n

1			
2			
3			



Определение значений заднего угла сверла



№ пп	D_x мм	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n}{S}$	α
1			
2			
3			

Таблица 3. Результаты замеров зенкера и вычислений

Конструктивные элементы								Углы в градусах		
Тип зенкера	Материал зенкера	Длина зенкера, мм	Длина рабочей части, мм	Длина заборной части, мм	Величина обратной конусности	Номинальный диаметр, мм	Диаметр рабочей части, мм	Главный угол в плане	Угол наклона Винтовой канавки	Передний угол
		L	l	l_1	K	d	d_1	φ	φ	γ

Таблица 4. Результаты замеров развертки и вычислений

Конструктивные элементы											Углы в градусах	
Тип развертки	Материал развертки	Длина развертки, L мм	Длина рабочей части, l мм	Длина заборной части, l_1 мм	Длина калибрующей части, l_2 мм	d1	d2	d3	d4	d5	d _{наиб}	Угол заборного конуса

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные части и элементы спирального сверла?
2. Каковы особенности геометрии спирального сверла?
3. Назовите марки материалов для изготовления свёрл, зенкеров и развёрток?
4. Как изменяется величина главного заднего угла с увеличением расстояния от оси сверла?
5. Как выбирается величина угла при вершине в зависимости от свойств обрабатываемого материала?
6. На что влияет величина угла ϕ и каково его оптимальное значение?
7. В чём заключается особенность процесса сверления?
8. Укажите назначение, типы и особенности зенкеров?
9. Каковы основные виды и причины брака при зенкеровании?
10. Дайте общую классификацию развёрток?
11. Почему развёртка имеет неравномерный шаг?
12. Перечислите основные виды, причины и меры предупреждения брака при развёртывании.

2.21 Лабораторная работа №21 (2 часа).

Тема: «Геометрия токарного резца»

2.21.1 Цель работы. Закрепить знания студентов путем изучения конструкции и геометрических параметров резца. Практически ознакомиться со средствами и техникой измерения геометрических параметров токарного резца..

2.21.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и геометрические параметры токарного резца.
2. Ознакомиться со средствами и техникой измерения геометрических параметров режущей части токарного резца.
3. Заполнить протокол наблюдений

2.21.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Резцы различных типов.
2. Штангенциркуль и метрическая линейка.
3. Универсальный угломер и настольный угломер.

2.21.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Токарная обработка является одной из разновидностей обработки металлов резанием. Она осуществляется срезанием с поверхностей заготовки определенного слоя металла (припуска) резцами, сверлами и другими режущими инструментами.

Вращение заготовки, посредством которого совершается процесс резания, называется *главным движением*, а поступательное перемещение инструмента, обеспечивающее непрерывность этого процесса - *движением подачи* (рис. 1.1). Благодаря определенному сочетанию этих движений на токарных станках можно обрабатывать цилиндрические, конические, фасонные, резьбовые и другие поверхности.



Рис. 1.1. Основные движения при токарной обработке. I - главное; II - движение подачи.

Разновидности резцов

Наиболее часто употребляемые при токарных работах стержневые резцы (см. рис. 1.2) состоят из головки, принимающей непосредственное участие в резании, и стержня прямоугольного сечения, с помощью которого резец закрепляется в резцедержателе суппорта. По форме головки такие резцы делятся на прямые, отогнутые и оттянутые (рис. 1.2); по направлению подачи - на правые и левые (рис. 1.3); по назначению - на проходные, подрезные, отрезные и др.

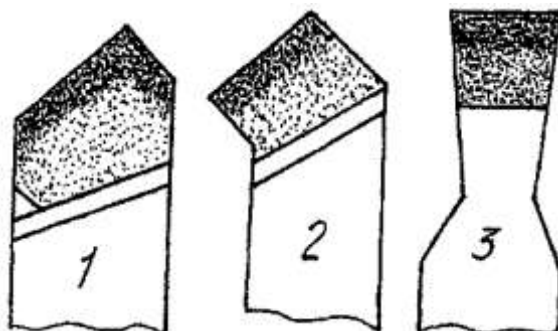


Рис. 1.2. Разновидности резцов по форме головки.
1 - прямой; 2 - отогнутый; 3 - оттянутый.

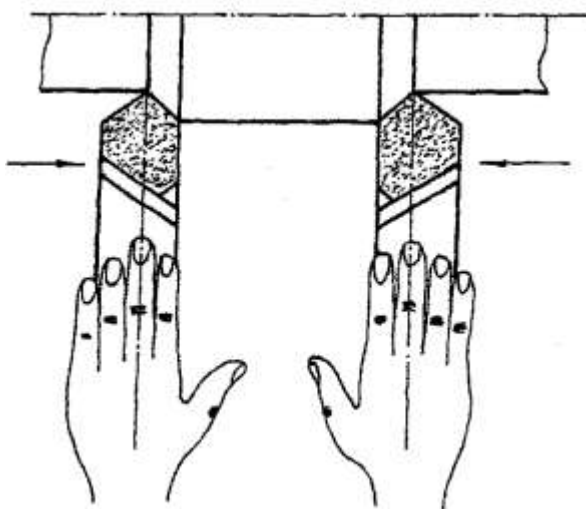


Рис. 1.3. Разновидности резцов по направлению подачи.

Элементы резца

У резца различают переднюю и задние поверхности, режущие кромки, вершины (рис. 1.4). По передней поверхности сходит стружка, задние обращены к обрабатываемой детали. При пересечении передней и задних поверхностей образуются режущие кромки, которые в зависимости от степени участия в процессе резания бывают главными и вспомогательными. Режущая кромка, осуществляющая основную работу резания, называется главной. Остальные кромки, зачищающие поверхности детали, называются вспомогательными.

Резцы имеют обычно только одну переднюю поверхность и одну главную режущую кромку. Соответственно режущим кромкам определяются названия задних поверхностей; образующая главную режущую кромку называется главной, а образующие вспомогательные режущие кромки - вспомогательными.

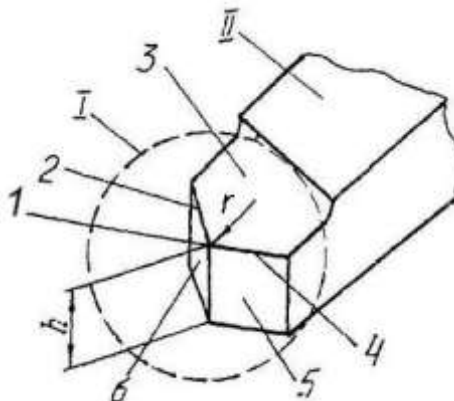


Рис. 1.4. Стержневой резец.

I - головка; II - стержень; 1- вершина; 2 -вспомогательная режущая кромка; 3-передняя поверхность; 4 - главная режущая кромка; 5 - главная задняя поверхность; 6 - вспомогательная задняя поверхность.

Вершиной называется точка пересечения режущих кромок. Острая вершина непрочна, поэтому ее скругляют некоторым радиусом r . Расстояние h от вершины до основания резца (опорной поверхности) называется высотой резца.

Исходные поверхности и плоскости при тчении

Для создания благоприятных условий резания резцу придается определенная геометрическая форма (геометрия), образуемая наклоном его поверхности и режущих кромок под некоторыми углами. Чтобы изучить эти углы, необходимо знать исходные поверхности и плоскости при точении (рис. 1.5).

Обработанной называется поверхность 3, полученная в результате обработки. Обрабатываемой называется поверхность 1, подлежащая обработке. Поверхностью резания называется поверхность 2, образуемая главной режущей кромкой резца.

К исходным плоскостям относят основную плоскость, резания и секущую плоскость.

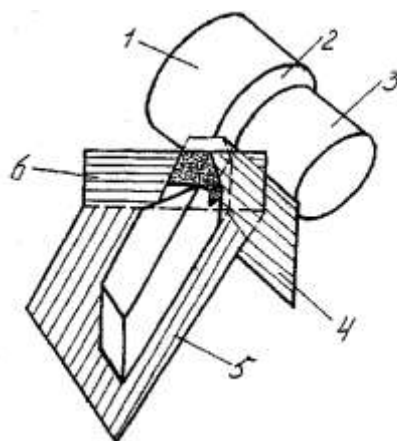


Рис. 1.5. Исходные поверхности и плоскости при точении.
 1 - обрабатываемая поверхность; 2 - поверхность резания;
 3 - обработанная поверхность; 4 - секущая плоскость;
 5 - основная плоскость; 6 - плоскость резания.

Основной называется плоскость 5, совпадающая с основанием резца. Плоскостью резания называется плоскость 6, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку резца. В нерабочем состоянии плоскость резания располагается перпендикулярно к основной плоскости.

Секущей, называется плоскость 4, перпендикулярная к проекции режущей кромки на основную плоскость. Различают главную и вспомогательную секущие плоскости соответственно режущим кромкам, которые они рассекают.

Углы токарного резца

Полная геометрия резца характеризуется: главными углами α , β , γ , вспомогательными задними углами α_1 , углами в плане ϕ , ϕ_1 , ϵ и углом наклона главной режущей кромки λ .

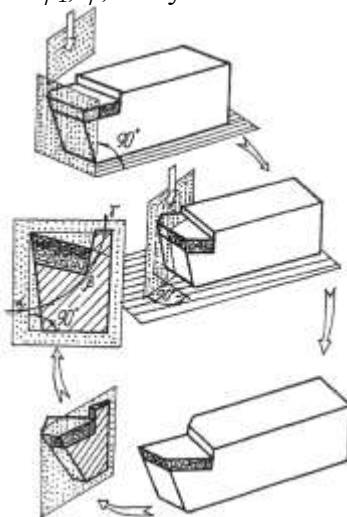


Рис. 1.6. Образование главных углов резца.

Главные углы резца, измеряемые в главной секущей плоскости, показаны на рис. 1.6. Задним углом α называется угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Углом заострения β называется угол между передней и главной задней поверхностями резца. Передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, проведенный через главную режущую кромку. Этот угол может иметь положительное значение, когда сумма углов α и β меньше 90° , либо отрицательное, если эта сумма больше прямого угла.

Вспомогательный задний угол α_1 (рис. 1.7) заключен, между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проведенной через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости.

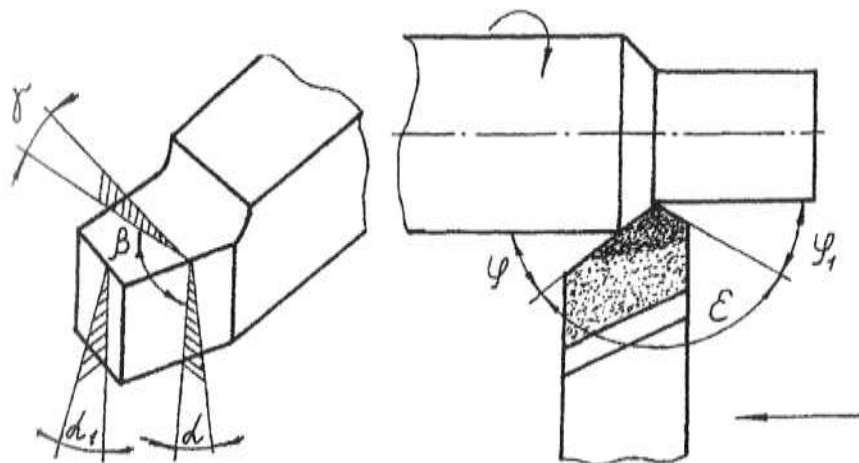


Рис. 1.7. Углы токарного резца.

Рис. 1.8. Углы резца в плане.

Углы в плане (рис. 1.8) определяют: положение режущих кромок резца относительно направления подачи. Главным углом в плане φ называется угол между направлением подачи и проекцией главной режущей кромки на основную плоскость. Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между направлением подачи и проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Углом при вершине ϵ называется угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

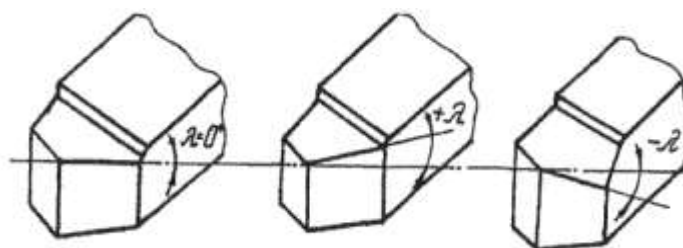


Рис. 1.9. Углы наклона главной режущей кромки резца.

Сумма углов в плане составляет 180° .

Углом наклона главной режущей кромки λ (рис. 1.9) называется угол между главной режущей кромкой и плоскостью. Этот угол может иметь три значения: нулевое, положительное и отрицательное. В первом случае режущая кромка расположена параллельно основанию, во втором - наклонно вверх от вершины; в третьем - наклонно вниз.

Геометрия токарного резца

Изменение углов резца. Углы резца как геометрического тела рассматривают как в процессе резания, так и вне его - в последнем случае рабочей части резца придают необходимые углы при заточке. В качестве примера на рисунке 1.10 показана геометрия проходного прямого резца.

Когда резец выполняет резание, номинальное значение углов изменяется в зависимости от величины и направления подачи, установки его относительно оси вращения детали. Изменению, иногда значительному, подвергаются главные углы (за исключением угла заострения) и углы в плане (кроме угла при вершине). Это следует учитывать для создания нормальных условий резания.

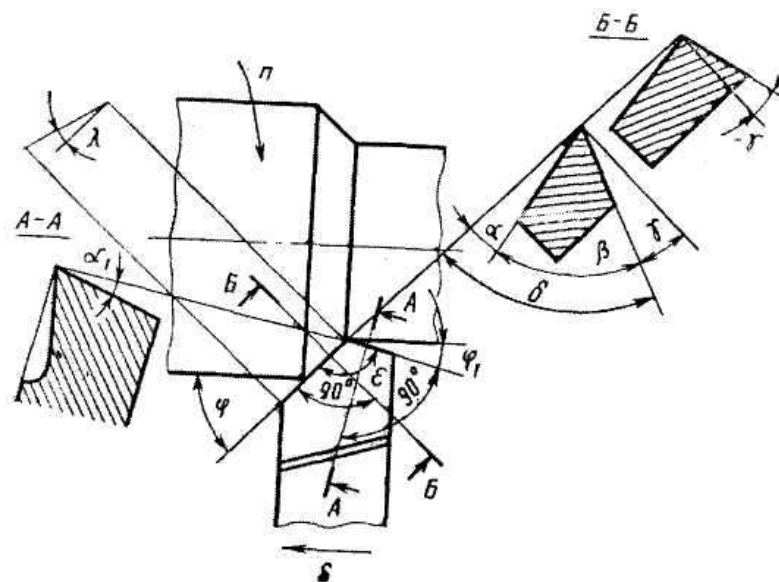


Рис. 1.10. Углы токарного резца.

Главные углы изменяются в результате наклона плоскости резания.

При установке резца для наружного точения выше оси детали

(рис. 1.11, а, справа) передний действительный угол γ_D увеличивается, а задний α_D уменьшается, потому что плоскость резания А-А принимает наклонное положение В-В и поворачивается на угол μ .

Для расточных резцов (рис. 1.11, а, слева) при установке их выше оси детали углы изменяются противоположно: задний угол α_D увеличивается, передний γ_D уменьшается.

При установке этих же резцов ниже оси детали изменение углов для каждого из них будет происходить в обратном направлении. Как же следует устанавливать резцы?

1. Для нарезания резьбы, обработки конусов, обтачивания фасонных поверхностей, отрезания и подрезки торцов надо, чтобы вершина резцов находилась на уровне линии центров станка.

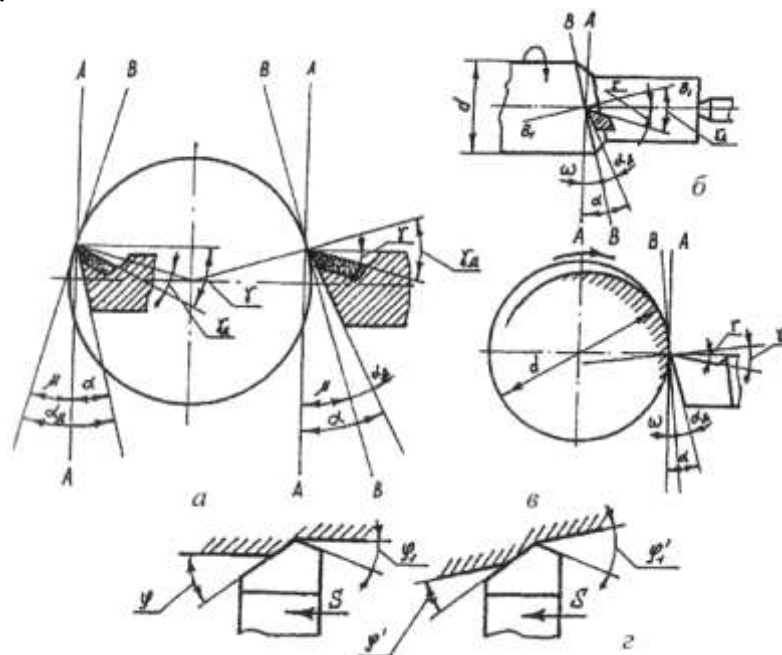


Рис. 1.11. Изменение углов резца в работе.

2. Установка резцов выше линии центров (до 0,03 диаметра обрабатываемой поверхности) допускается при обработке нежестких валов.

При точении с продольной подачей (рис. 1.11, б) поверхность резания приобретает винтовую форму, а плоскость резания поворачивается на угол подъема ω этой поверхности. В связи с этим действительное значение переднего угла γ_d увеличивается, а заднего α_d уменьшается. Также изменяются главные углы при работе с поперечной подачей (рис. 1.11, в), когда поверхность резания приобретает спиральную форму.

Изменение углов при наружном точении незначительны в связи с малой подачей, и их практически не учитывают. При нарезании резьбы, особенно многозаходных, главные углы резца изменяются значительно больше, что следует учитывать при заточке и установке его на станке.

При отрезании постепенно уменьшается диаметр поверхности резания. Поэтому с приближением резца к оси детали действительный задний угол становится отрицательным. Значит, главный задний угол отрезного резца следует делать несколько большим, чем проходного.

Углы в плане ϕ и ϕ_1 изменяются при различной установке резца относительно обрабатываемой поверхности и при изменении направления подачи (рис. 1.11, г).

Назначение и выбор углов резца

Передний угол γ оказывает наибольшее влияние на процесс образования стружки. С увеличением его облегчается сход стружки, уменьшается сопротивление резанию. Однако при большой величине этого угла ослабляется режущая кромка, приближается к ней центр давления стружки. Следовательно, величину этого угла надо выбирать в зависимости от свойств материалов обрабатываемой детали и резца. Для более мягких и пластичных материалов передний угол следует принимать большим, для более твердых и хрупких - меньшим. Для быстрорежущих резцов обладающих большей вязкостью, передний угол при равных условиях можно принимать большим, чем для твердосплавных резцов.

Главный задний угол α выполняют для чистовых работ 10-12°, для черновых - 8°. Вспомогательные задние углы α_1 принимают: для проходных и расточных резцов (0,8 - 1) α , для отрезных и канавочных - 2-3°.

Главный угол в плане ϕ (рис. 1.12, а) оказывает существенное влияние на прочность вершины, стойкость резца и силу сопротивления резанию. С уменьшением этого угла вершина становится более прочной и массивной и удлиняется активная длина главной режущей кромки I, участвующей в резании. Благодаря этому при том же сечении срезаемой стружки режущая кромка испытывает меньшее температурное напряжение, что повышает стойкость резца. В то же время более длинная активная часть режущей кромки способствует увеличению силы сопротивления резанию.

Следовательно, при достаточно жесткой технологической системе СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь) целесообразно применять резцы с малыми углами ϕ . В противных случаях рекомендуется пользоваться резцами с большими значениями этого угла. Практически угол ϕ у резцов выполняется в пределах 30-90°.

Вспомогательный угол в плане ϕ_1 определяет положение вспомогательной режущей кромки, активная длина которой практически не превышает подачи S (см. рис. 1.12, а). Следовательно, эта режущая кромка участвует в резании незначительно, но оказывает существенное влияние на прочность и стойкость вершины резца, и шероховатость обрабатываемой поверхности. При уменьшении угла ϕ_1 понижается высота гребешка h, остающегося на обработанной поверхности после прохода резца. Благодаря этому шероховатость поверхности становится меньшей, а одновременное увеличение угла при вершине ϵ способствует повышению прочности и стойкости наиболее ослабленного места резца вершины. В связи с этим угол ϕ_1 рекомендуется выполнять небольшим; для отрезных и канавочных резцов 1-3°, для проходных и расточных - 5-15°.

При переточке стандартных резцов указанные значения угла φ_1 можно выполнять на небольшом участке h вспомогательной режущей кромки длиной 3-5 мм, как показано на рис. 12, б.

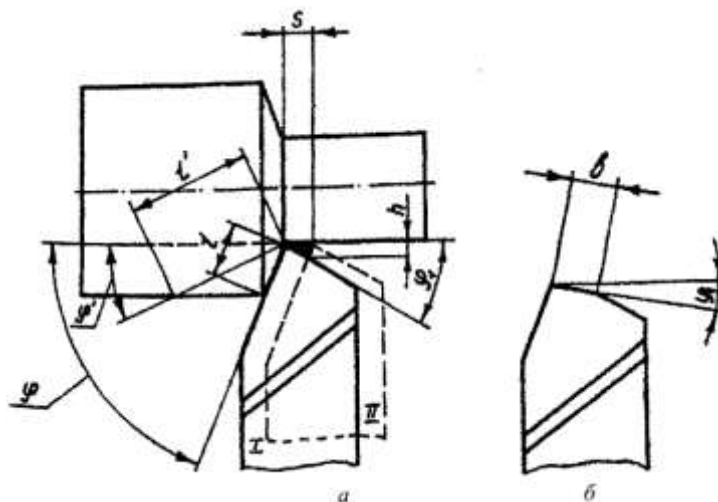


Рис. 1.12. Влияние углов в плане на работу резца.

Угол наклона главной режущей кромки λ влияет на прочность вершины резца, направления схода стружки и прогиб детали. При положительном значении угла λ вершина угла упрочняется, стружка сходит вправо в направлении обработанной поверхности, отжим детали увеличивается. При отрицательном значении этого угла вершина этого резца менее прочная, стружка сходит влево в направлении обрабатываемой поверхности, а прогиб детали уменьшается. Поэтому для чистового точения угол λ рекомендуется выполнять отрицательным (-2°) - (-4°), для чернового - положительным до 10° . При универсальных работах этот угол обычно принимают равным 0° .

Формы передней поверхности резцов

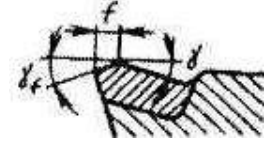
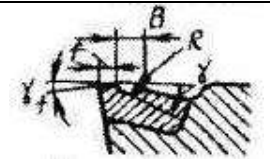
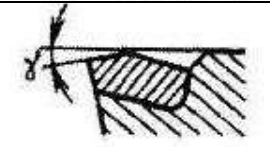
При резании пластичных металлов режущая кромка испытывает давление только в момент врезания, после чего центр давления удаляется от нее, и узкая полоска передней поверхности, примыкающей к режущей кромке, существенного влияния на процесс образования стружки уже не оказывает. Следовательно, если у самой режущей кромки сделать узкую фаску с малым или даже отрицательным передним углом, то стойкость такого резца увеличится.

Практически фаску делают шириной $f < 0,8S$ (где S - подача) с передним углом для быстрорежущих резцов $0-5^\circ$, для твердосплавных - (-5°).

Следует учитывать, что фаска способствует увеличению нароста. Поэтому у резцов для чистового точения при подаче меньше $0,2$ мм/об фаску делать не рекомендуется.

Таблица 1.1

Формы передней поверхности резцов, оснащённых твёрдым сплавом.

Формы	Наименование	Эскиз	Способ применения
1	Плоская с положительным передним углом		1. Обработка чугуна, бронзы и других металлов.
2	Плоская с отрицательной фаской		2. Тонкое и чистовое точение при $S \leq 0,2$ мм/об. Обработка сталей и ковкого чугуна
3	Криволинейная с отрицательной фаской		Обработка сталей, когда необходимо завивать или дробить стружку.
4	Плоская с отрицательным передним углом		Черновая обработка высокопрочных сталей и стального литья с загрязненной коркой.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить линейкой или штангенциркулем конструктивные параметры токарных резцов: длину резца - L , длину головки - l_1 , длину тела (стержня) - l_2 , сечение тела резца B х H , высоту - h (рис. 1.13), данные занести в таблицу отчета.

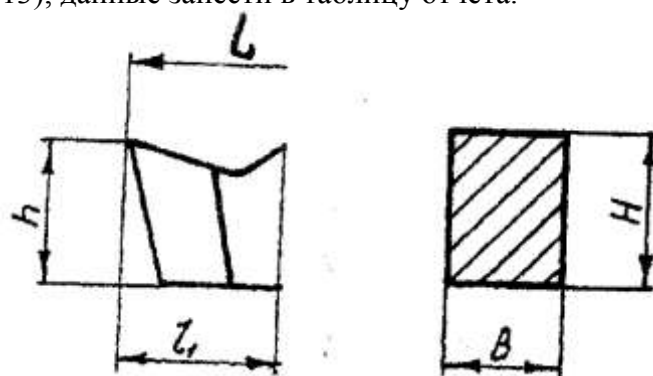


Рис. 1.13. Геометрические размеры резца.

2. Измерить углы резца, используя универсальный и настольный угломеры.

Измерение углов резца универсальным угломером

На основании сектора 1 (рис. 1.14) нанесена основная градусная шкала 2; по сектору перемещается пластина 3 с закрепленным на ней нониусом 4. С помощью державки 5 на пластинке 3 закрепляется угольник 6; пластина 7 жестко скреплена с сектором 1. Хотя основная шкала угломера градуирована в пределах $0 - 90^\circ$, однако, путем постановки и снятия угольника 6 угломер обеспечивает измерение углов в пределах от $0-180^\circ$, точность отсчета по контуру составляет 2° . Данным прибором измеряется: главный угол в плане - φ (рис. 1.15), вспомогательный угол в плане - φ_1 (рис. 1.16) и угол при вершине ε (рис. 1.17).

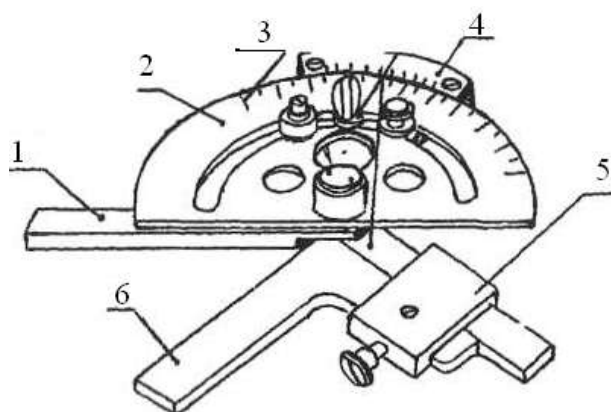


Рис. 1.14. Универсальный угломер.

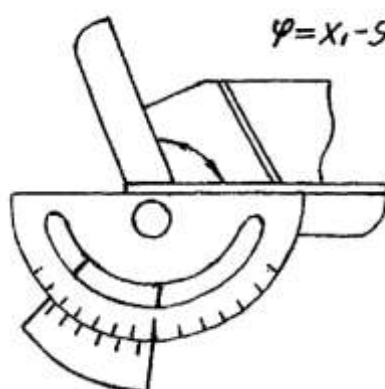


Рис. 1.15. Измерение главного угла в плане.

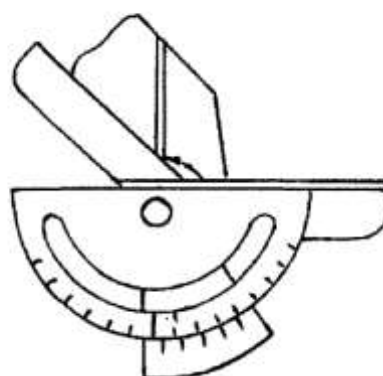


Рис. 1.16. Измерение вспомогательного угла в

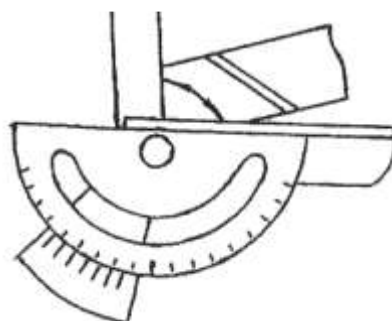


Рис.1.17. Измерение угла при вершине.

Измерение углов резца настольным угломером.

Для удобства измерения углов резца на кафедре был изготовлен настольный угломер. Настольный угломер представляет собой чугунную или стальную плиту (основание) - 1 (рис. 1.18) со стойкой - 2. На стене 2 при помощи стопорного винта 3 укреплен кронштейн - 4, несущий градусную шкалу (сектор) - 5. Измерение углов резца производится поворотным шаблоном - 6. Поворотный шаблон 6 имеет указатель (индексы) - 7, направленные к градусной шкале - 5 и взаимно перпендикулярные плоскости. Данный прибор применяется для замера переднего угла - γ (рис. 1.19), задних углов резца α и α_1 (рис. 1.20), угла наклона главной режущей кромки - λ (рис. 21).

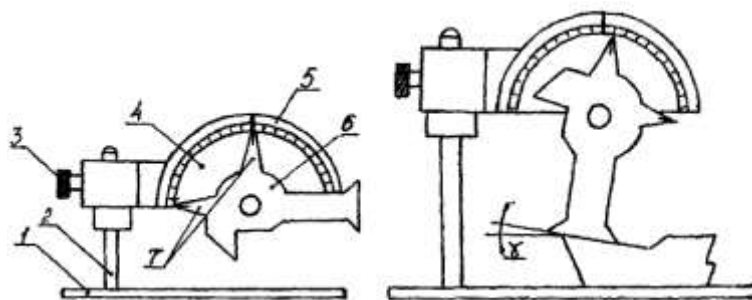


Рис. 18. Настольный угломер.

Рис. 19. Измерение переднего угла.

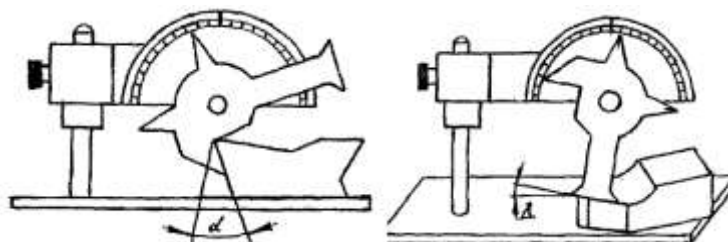


Рис. 1.20. Измерение заднего угла.

Рис. 1.21. Измерение угла наклона

режущей кромки.

Угол заострения – β , угол резания – δ и угол при вершине резца ε определяют расчетным путем по формулам

$$\beta = 90^\circ - \alpha + \gamma \quad (1.1)$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma = \alpha + \beta \quad (1.2)$$

$$\varepsilon = 180^\circ - \varphi + \varphi_1 \quad (1.3)$$

Результаты измерения и расчетов фиксируются на эскизе и вносятся в таблицу 1.

Форма отчета

Лабораторная работа № 21

Тема «Конструкция и геометрия токарного резца»

1. Цель работы:
2. Эскиз резца: (по заданию)

Таблица 1. Результаты измерений основных размеров и углов

Длина резца L , мм.	Длина головки l_1 , мм.	Длина стержня l_2 , мм.	Сечение резца ВxН	Углы резца, град.									
				главные				в плане			вспомога- тельный	наклона	
				α	γ	β	δ	φ	φ_1	ε			α_1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные части и элементы токарного проходного резца.
2. Дайте определение главных углов резца.
3. Дайте определение углов, определяемых в основной плоскости.
4. Назовите марки материалов для изготовления резцов.
5. Каким образом изменяются углы резца в процессе резания?
6. На что влияет величина угла в плане ϕ и каково его оптимальное значение?
7. На что влияет угол наклона главной режущей кромки λ ?
8. На что влияет изменение главных углов?
9. Изобразите рисунок резца и укажите на нем: переднюю поверхность, задние поверхности, угол наклона главной режущей кромки.
10. Напишите формулу по определению площади сечения срезаемого слоя при точении и назовите ее элементы.

2.22 Лабораторная работа №22 (2 часа).

Тема: «Кинематическая схема станка марки 6Н11»

2.22.1 Цель работы.

1. Изучить конструкцию и кинематическую схему вертикально-фрезерного станка модели 6Н11.
2. Изучить назначение органов управления и механизмов, применяемых в станке.

2.22.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и кинематическую схему вертикально-фрезерного станка модели 6Н11.
2. Изучить назначение органов управления и механизмов, применяемых в станке.
3. Заполнить протокол наблюдений

2.22.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Вертикально-фрезерный станок модели 6Н11.
2. Кинематическая схема станка.

2.22.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Фрезерные станки относятся к шестой группе, их подразделяют на следующие типы:

3. вертикальные консольные;
4. непрерывного действия;
5. резервный;
6. копировальные и гравировальные;
7. вертикальные бесконсольные;
8. продольные;
9. широкоуниверсальные;
10. горизонтальные консольные;
11. разные фрезерные;

На предприятиях со средне- и мелкосерийным производством, а также на участках технической подготовки производства наиболее распространены фрезерные консольные станки: вертикальные и горизонтальные широкоуниверсальные станки.

Общий вид горизонтально-фрезерного станка показан на рисунке 9.1.

В станине 1 размещена коробка скоростей 2. По вертикальным направляющим станины перемещается консоль 7. Заготовка, устанавливаемая на продольном столе 4 в тисках или приспособлении, получает подачу в трех направлениях: продольном (перемещение стола по направляющим салазок поперечного стола 6), поперечном (перемещение салазок по направляющим консоли) и вертикальном (перемещение консоли по направляющим станины). Главным движением является вращение шпинделя. Коробка подач 8 размещена внутри консоли. В верхней части станины расположен хобот 3 с серьгой 5 и подшипником для поддержания второго конца длинной оправки с фрезой. Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называют универсальными.

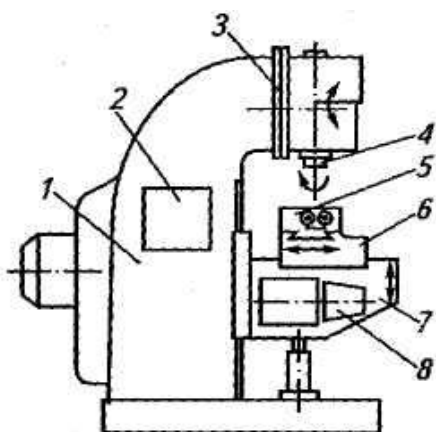


Рис.9.1. Общий вид горизонтально-фрезерного станка: 1-станина; 2-коробка скоростей; 3-хобот; 4 и 6- продольный и поперечный столы; 5- серьга; 7-консоль; 8- коробка подач

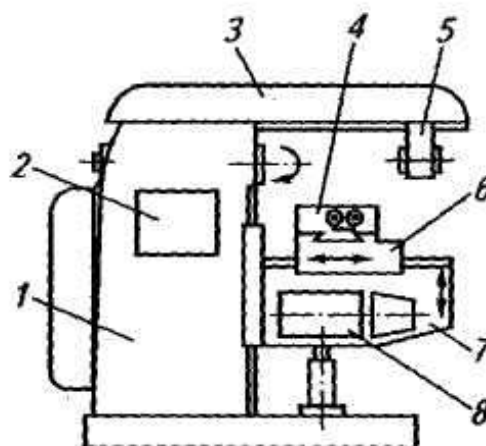


Рис. 9.2. Общий вид вертикально-фрезерного станка; 1-станина; 2-коробка скоростей; 3- шпиндельная головка; 4-шпиндель; 5- рабочий стол; 6- направляющие салазки; 7- консоль; 8- коробка подач

Вертикально-фрезерные станки (рис. 9.2) имеют много общих унифицированных деталей и узлов с горизонтально-фрезерными станками.

В станине 1 размещена коробка скоростей 2. Шпиндельная головка 3 смонтирована в верхней части станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости. При этом ось шпинделя 4 можно поворачивать под углом к плоскости рабочего стола 5. Главным движением является вращение шпинделя. Стол, на котором закрепляют заготовку, имеет продольное перемещение по направляющим салазок 6 поперечного стола. Салазки перемещаются поперечно по направляющим консоли 7, которая перемещается по вертикальным направляющим станины. Таким образом, заготовка, установленная на рабочем столе 5, может перемещаться в трех направлениях. В консоли смонтирована коробка подач 8.

Широкоуниверсальные станки по конструкции аналогичны консольно-фрезерным горизонтальным и вертикальным станкам, но имеют поворотную часть с приводом вращения. Для трансформации широкоуниверсального станка из горизонтального в вертикальный достаточно повернуть оголовок внутренним посадочным отверстием шпинделя горизонтально или вертикально.

На консольных фрезерных (вертикально-, горизонтально-фрезерных и широкоуниверсальных) станках обрабатывают:

- горизонтальные, вертикальные, наклонные плоскости и скосы; комбинированные поверхности; уступы и прямоугольные пазы;
- фасонные и угловые пазы; пазы типа «ласточкин хвост»; закрытые и открытые шпоночные пазы; пазы под сегментные шпонки; фасонные поверхности; цилиндрические зубчатые колеса методом копирования.

На *продольно-фрезерных станках* (рис. 9.3) фрезеруют поверхности заготовок большой массы и размеров (типа станин, корпусов коробок передач, рамных конструкций и т. п.) торцовыми и концевыми фрезами. Продольно-фрезерные станки бывают одно- и двухстоечные с длиной стола 1250...12 000 и шириной 400...5000 мм.

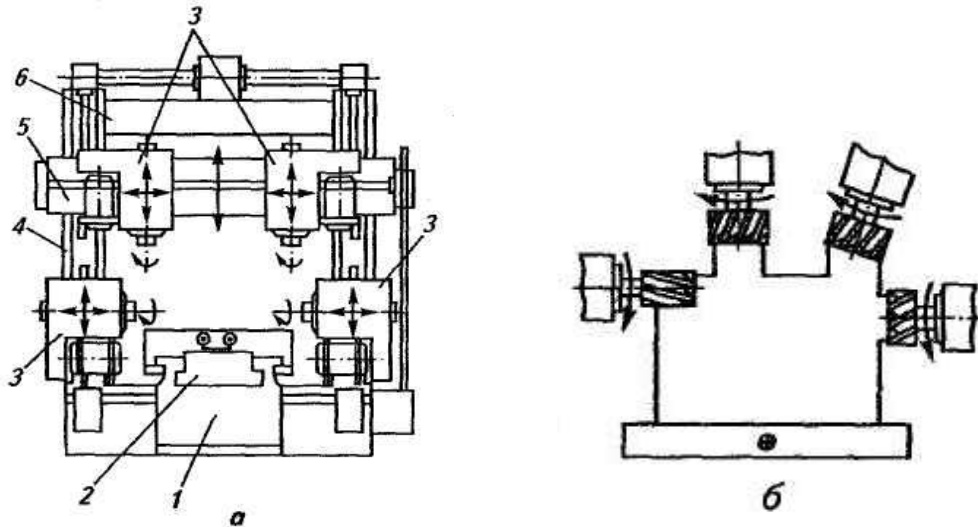


Рис. 9.3. Общий вид продольно-фрезерного двухстоечного станка (а) и схема обработки заготовки (б): 1 - станина; 2-стол; 3-фрезерные головки; 4 - стойка; 5- траверса; 6- поперечина

Стол станка 2, на котором устанавливают заготовку, имеет только одно продольное перемещение по направляющим станины. На каждой стойке 4 расположены фрезерные головки 3, которые могут перемещаться по их направляющим вверх и вниз. В верхней части стойки соединены поперечиной 6, что повышает общую жесткость станка. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 5. Две верхние фрезерные головки 3 перемещаются по направляющим траверсы и могут поворачиваться на угол до $\pm 30^\circ$. Шпиндель каждой фрезерной головки может выдвигаться на 100...200 мм в осевом направлении.

Вследствие отсутствия консоли станки этого типа имеют большую жесткость, что позволяет работать на повышенных режимах резания.

Фрезерные станки непрерывного действия предназначены для обработки плоских поверхностей торцовыми фрезами при больших партиях заготовок. Эти станки подразделяют на карусельно- и барабанно-фрезерные.

На карусельно-фрезерных станках заготовки устанавливают на круглом вращающемся столе, фрезерная головка с двумя шпинделями перемещается по вертикальным направляющим. Оба шпинделя имеют один привод, но настраиваются на разную частоту вращения; один из них предназначен для черновой обработки, другой — для чистовой. Шпиндели станка постоянно вращаются, а заготовки по очереди поступают в зону обработки. Заготовки устанавливают и снимают со станка без остановки стола.

На барабанно-фрезерных станках заготовки размещаются в барабане с автоматической или полуавтоматической загрузкой и разгрузкой и при прохождении зоны расположения фрез обрабатываются за счет подачи инструмента или движения заготовки во вращающемся барабане.

Копировально-фрезерные станки применяют для контурного и объемного копировального фрезерования. Контурное копирование применяют для получения плоских поверхностей замкнутого криволинейного контура. При этом одно движение подачи — задающее и постоянное, другое движение — следящее и зависит от копира. Соотношение двух движений определяет контур. Объемное копирование производят последовательно отдельными фасонными полосами.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пользуясь станком и методическим руководством, изучить конструкцию и кинематическую схему вертикально-фрезерного станка.
2. Написать общее уравнение кинематической цепи главного и вспомогательного движения.
3. Определить (по индивидуальному заданию) частоту вращения шпинделя и скорость перемещения стола.
4. Настроить станок на фрезерование плоскости, приняв глубину резания и продольную подачу и скорость резания согласно индивидуальному заданию.

Общая характеристика станка

Станок предназначен для фрезерования различных деталей сравнительно небольших размеров в основном концевыми, дисковыми, угловыми, модульными фрезами в условиях индивидуального и серийного производства. Возможность установки на стол станка делительной головки позволяет нарезать зубья шестерен с прямым и косым зубом, а также нарезать спиральные канавки при изготовлении фрез, зенкеров и тому подобных деталей.

Основные узлы станка

А - станина с коробкой скоростей и шпиндельным узлом

Б - стол

В - консоль с коробкой передач

Г - основание с резервуаром для охлаждения жидкости

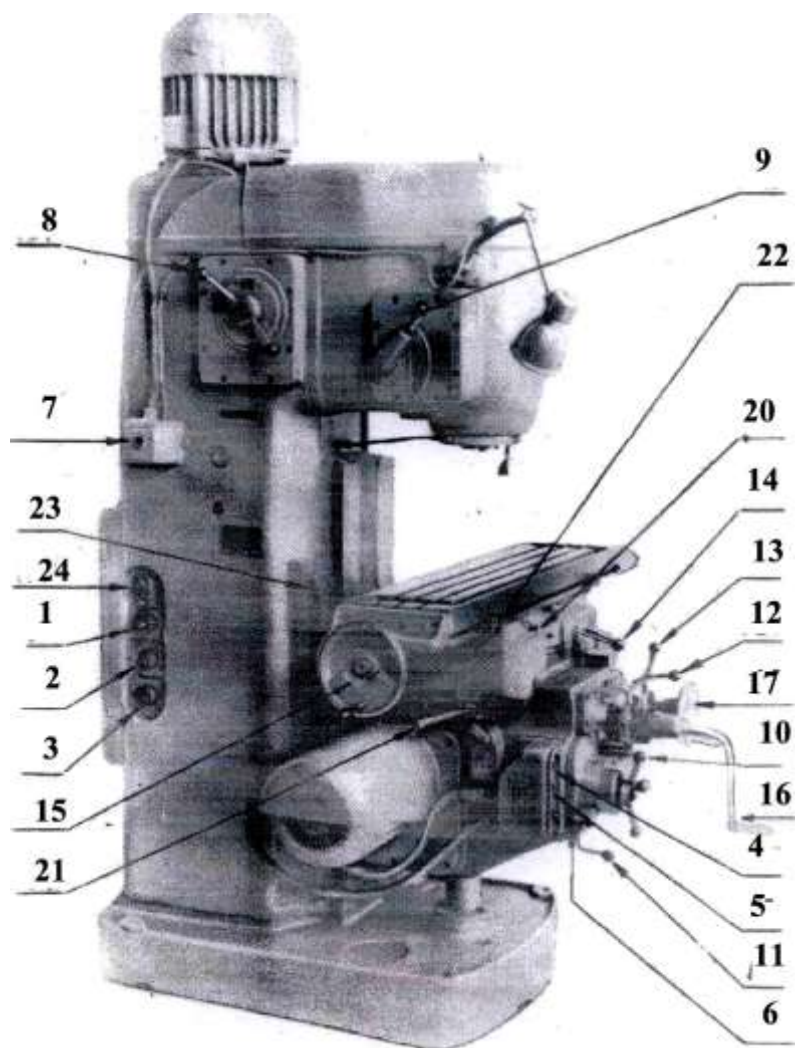


Рис. 9.4. Схема вертикально-фрезерного станка 6Н11.

Органы управления

1. Вводный выключатель
2. Выключатель электронасоса
3. Реверсивный переключатель электродвигателя шпинделя (вправо—влево)
4. Кнопка «Пуск» — электродвигателя шпинделя.
5. Кнопка «Пуск» — электродвигателя подачи.
6. Рычажок остановки станка {выключение электродвигателей шпинделя и подачи).
7. Кнопка для кратковременного включения электродвигателя шпинделя («Толчок»).
8. Рукоятка переключения скоростей шпинделя.
9. Рукоятка переключения перебора шпинделя.
10. Рукоятка переключения подач стола.
11. Рукоятка переключения перебора механизма подачи.
12. Рукоятка включения вертикальной механической подачи.
13. Рукоятка включения поперечной механической подачи.
14. Рукоятка включения продольной механической подачи.
15. Маховичок продольной подачи стола вручную.
16. Рукоятка вертикальной подачи стола вручную.

17. Маховичок поперечной подачи стола вручную.
18. Рукоятка включения ускоренной подачи во всех направлениях.
19. Рукоятка закрепления консоли от вертикального перемещения по станине.
20. Рукоятка для закрепления стола от продольного перемещения.
21. Рукоятка для закрепления салазки стола от поперечного перемещения по консоли.
22. Упоры автоматического выключения механической подачи в продольном, поперечном и вертикальном направлениях.
23. Выключатель местного освещения.

Принцип работы

Обрабатываемые детали закрепляются непосредственно на столе, в машинных тисках или в специальных приспособлениях, устанавливаемых на столе станка.

При необходимости деления круглой заготовки на несколько равных частей используют универсальную делительную головку.

Хвостовые фрезы закрепляют непосредственно в конусе шпинделя и. цанговом патроне.

Торцевые фрезерные головки устанавливают на концах шпинделя. Насадные фрезы закрепляют на оправках.

Настройка станка в соответствии с конфигурацией и размерами обрабатываемой детали производится за счет быстрых или ручных перемещений стола поперечных салазок и консоли.

ГЛАВНОЕ ДВИЖЕНИЕ. Главное движение обеспечивается коробкой скоростей и перебором, обеспечивая вращательное движение фрезы с различной частотой вращения. Главный вал, который вращает фрезу, называется шпинделем станка. Вращение от фланцевого электродвигателя мощностью 4,5 кВт передается полужесткой муфтой валу коробки скоростей. На валу I коробки перемещается шлицам двойной подвижный блок шестерен Б₁ на валу III неподвижно закреплены шестерни 24, 31, 28, 34, 38. По валу III перемещаются два двойных подвижных блока шестерен Б₂ и Б₃. В зависимости от положения подвижного блока Б₁ движение передается валу II через шестерни 24-38 или через шестерни 38-24. В зависимости от положения блока Б₂ и Б₃, передается через шестерни 34-28 или 31-31 ли включен блок Б₃, передается через шестерни 28-34 или 24-38. Всего, таким разом, вал II имеет 8 скоростей вращения.

Выводной шкив диаметром, равным 150 коробки скоростей установлен на отдельном валу IV и получает вращение от вала II через шестерни 20-20.

Вал IV смонтирован в кронштейне, который может поворачиваться относительно оси вала III, обеспечивая возможность перемещения шкива для натяжения ременной подачи.

Далее вращение передается валу V, расположенному согласно со шпинделем станка, на противоположном конце вала V имеется шестерня 30.

При включенной кулачковой муфте М движение шпинделя VII передается от вала V через шестерни 30-64, переборный валик VI и шестерни 25-69; высокие числа оборотов передаются шпинделю непосредственно от вала V, когда муфта М включена, а шестерни 64 и 25 выведены из зацепления соответственно с шестернями 30 и 69:

Перебор удваивает количество скоростей, обеспечивая 16 различных частот вращения в минуту шпинделя.

Частоту вращения можно определить, используя уравнение перебора:

$$n = 1420 \cdot \left(\frac{38}{24}; \frac{24}{38} \right) \left(\frac{24}{38}; \frac{28}{34}; \frac{31}{31}; \frac{34}{28} \right) \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{150}{220} \cdot 0,985 \cdot \left(1; \left(\frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} \right) \right) = [\text{об/мин}]$$

ДВИЖЕНИЕ ПОДАЧ

Стол фрезерного станка, как при подаче, так и при быстрых перемещениях получает движение от фланцевого электродвигателя, мощностью 1,7 кВт, непосредственно связанного полужесткой муфтой с первым валом УІІІ коробки передач. Валу ІХ вращение передается блоком Б₄ через шестерни 24-38 или шестерни 38-24. Вал Х получает вращение через блок Б₅ или Б₆ и имеет 8 скоростей. На конце вала Х закреплена широкая шестерня 18, которая находится в постоянном зацеплении с шестерней 37 неподвижного блока Б₇. Шестерни последнего могут зацепляться с шестернями 15 или 37, жестко закрепленными на валу ХІІ, обеспечивая этому валу 16 различных скоростей вращения.

От вала ХІІ вращение передается через червячную передачу 3-30 и обгонную муфту М валу ХІІІ. На противоположном конце последнего закреплена шестерня 22, которая через шестерни 42 и 42 вращает центральный вал ХУІ коробки реверса.

Распределительная шестерня 42 связана с валом ХУІ предохранительной муфтой М и зацепляется одновременно с шестерней 30, закрепленной на валу ХУІІ и с правыми шестернями 42 и 42, свободно сидящими на валах ХУІІІ и ХІХ.

Кулачковая муфта М служит для реверсирования вертикальной подачи стола, осуществляемой ходовым винтом, который получает вращение от коробки реверсов через конические шестерни 12-24. Кулачковая муфта М установлена для реверсирования поперечной подачи, осуществляемой винтом ХУІІІ.

Движение продольной подачи стола заимствуется от коробки реверсов и передается шестерне 30 и далее через шестерни 35, 27, шестеренчатый вал 19, шестерни 19-19, коническую передачу 14-28 и конический реверс 19-19-19 продольному ходовому винту ХХУІІ.

Кулачковая муфта М служит для реверсирования продольной подачи.

Величину продольной подачи определяет последующему уравнению:

$$S_{\text{прод}} = 1480 \cdot \left(\frac{34}{28}; \frac{20}{42} \right) \cdot \left(\frac{24}{38}; \frac{31}{31}; \frac{34}{28}; \frac{28}{34} \right) \cdot \frac{18}{37} \cdot \left(\frac{37}{15}; \frac{15}{37} \right) \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{27} \cdot \frac{27}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = [\text{мм/мин}]$$

Величину поперечной подачи можно определить из выражения:

$$S_{\text{попер}} = 1480 \cdot \left(\frac{34}{28}; \frac{20}{42} \right) \cdot \left(\frac{24}{38}; \frac{31}{31}; \frac{34}{28}; \frac{28}{34} \right) \cdot \frac{18}{37} \cdot \left(\frac{37}{15}; \frac{15}{37} \right) \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{30}{30} \cdot 6 = [\text{мм/мин}]$$

Величину вертикальной подачи определяют из выражения:

$$S_{\text{верт}} = 1480 \cdot \left(\frac{34}{28}; \frac{20}{42} \right) \cdot \left(\frac{24}{38}; \frac{31}{31}; \frac{34}{28}; \frac{28}{34} \right) \cdot \frac{18}{37} \cdot \left(\frac{37}{15}; \frac{15}{37} \right) \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{12}{24} \cdot 6 = [\text{мм/мин}]$$

Быстрое перемещение стола, поперечных салазок и консоли

Эти перемещения осуществляются с постоянной скоростью. В этом случае вращение от электродвигателя, минуя коробку передач, непосредственно передается через вал УІІІ, винтовые колеса 12-24, фрикционную муфту М валу ХІІІ и далее к рабочим органам станка. При быстром вращении вал ХІІІ, благодаря наличию обгонной муфты, автоматически расцепляется с корпусом червячной шестерни 30.

Скорость быстрых перемещений в поперечном и вертикальном направлениях соответственно расчетным выражениям.

Ручные перемещения стола в продольном, поперечном и вертикальном направлениях соответственно осуществляются рукояткой маховичком и рукояткой.

Форма отчета

Тема: «Конструкция и кинематика вертикально – фрезерного станка модели 6Н11»

Цель работы.

Домашняя подготовка

1. Ознакомиться с условными обозначениями, применяемыми в кинематических схемах металлорежущих станков.
2. Ознакомиться с механизмами, применяемыми в металлорежущих станках.
3. Пользуясь учебными пособиями, учебником, ознакомиться с устройством фрезерных станков и их кинематическими схемами.

Содержание работы

1. Пользуясь станком и учебными пособиями, изучить конструкцию и кинематическую схему вертикально-фрезерного станка.
2. Написать общее уравнение кинематической цепи главного и вспомогательного движения.
3. Определить (по заданию) число оборотов шпинделя и скорость перемещения стола.
4. Настроить станок на фрезерную плоскость. Принять: глубину резания мм, продольную подачу.....мм/мин, скорость резания м/мин.

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ СТАНКА

	наименьшее	наибольшее
Расстояние от торца шпинделя до стола	0	400

СТОЛ

Размеры рабочей площади стола, мм			длина	ширина
			1100	250
Наибольшее перемещение, мм	Ручное	продольное	поперечное	вертикальное
		630	230	420
	механическое	2232	2232	1116
Быстрое перемещение				
Выключение упора	имеется			
Шаг ходового винта стола		6	6	6

ПРИВОД

Пределы подач стола в м/мин

Мощность электродвигателя	Главное движение	Подача стола	охлаждение
Число скоростей шпинделя			
Пределы чисел оборотов шпинделя в мин			
Число передач			

Спецификация рукояток управления	
№п/п	Наименование и назначение

Кинематическая схема станка модели 6Н11 (приложение 3).

Расчеты числа оборотов шпинделя:

Расчёты скорости перемещения стола:

2.23 Лабораторная работа №23 (2 часа).

Тема: «Универсальная делительная головка УДГ-135»

2.23.1 Цель работы. Изучить конструкцию делительной головки и освоить её настройку на простое, сложное деление и фрезерование спиральных канавок..

2.24.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и кинематическую схему универсально-делительной головки.
2. Выполнить (по заданию) расчет простого деления и нарисовать схему.
3. Выполнить (по заданию) расчет сложного деления и представить схему.
4. Выполнить (по заданию) расчет дифференциального деления и представить схему.

2.23.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Универсальная делительная головка УДГ-135.
2. Вертикально-фрезерный станок 6Н11.
3. Кинематическая схема делительной головки.

2.23.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Делительная головка служит для периодического поворота заготовок на равные или неравные углы (например, при фрезеровании многогранников, зубьев колес) и для непрерывного вращения заготовок, согласованного с продольной подачей (например, при нарезании спиральных канавок у сверл, зенкеров или при фрезеровании косозубых колес). Делительные головки находят применение также и на долбежных станках. В комплект наиболее распространенной универсальной лимбовой делительной головки (рис. 11.1, а) входят делительная бабка 1, задняя бабка 2 и люнет 3.

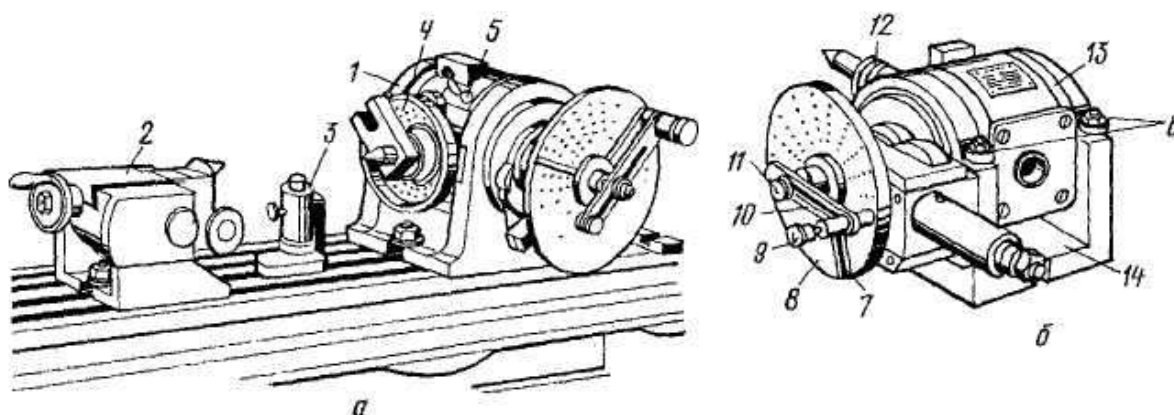


Рис. 11.1. Универсальная делительная головка (а) и делительная бабка (б).

Делительную бабку (рис. 11.1, б) устанавливают на правой стороне стола фрезерного станка. Она, в свою очередь, состоит из основания 14 и корпуса 13. Основание неподвижно крепится на столе фрезерного станка болтами, которые своими головками входят в Т-образный паз стола. Корпус вместе со шпинделем лежит в основании на шейках и может поворачиваться в вертикальной плоскости на угол от -10 до $+90^\circ$. В требуемом положении корпус закрепляют гайками 6. Поворот корпуса применяют для

установки обрабатываемых деталей, закрепляемых в патроне, под углом. Справа корпуса головки располагаются гитары настройки (на рис. 11.1, б не показаны).

Для подсчета требуемого угла поворота шпинделя 7, а следовательно, и обрабатываемой детали служит делительный диск (лимб) 8, имеющий с обеих сторон несколько рядов отверстий, расположенных по concentрическим окружностям. Например одна сторона диска может иметь 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 и 43 отверстия; вторая сторона - 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 и 66 отверстий. Отверстия на диске служат для фиксации рукоятки в определенных положениях. Для установки фиксатора рукоятки на любой ряд отверстий делительного лимба рукоятку 9 вместе с планкой 10 опускают или поднимают по пазу и закрепляют гайкой 11. Для быстрого и точного подсчета требуемого числа отверстий на диске находится раздвижной сектор 12.

На рисунке 11.2 отдельно изображены делительный лимб 1 и раздвижной сектор 2.

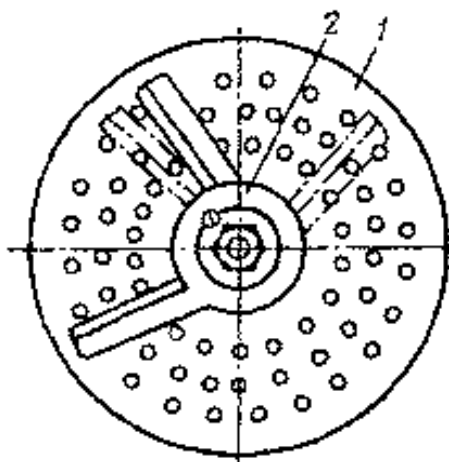


Рис. 11.2. Схема делительного диска.

Характеристикой головки K называется величина, обратная передаточному числу червячной передачи (обычно $K=40$).

Заднюю бабку комплекта делительной головки устанавливают на левой стороне стола фрезерного станка. Она служит для поддержания второго конца обрабатываемой детали или оправки. Посредством задней бабки центр перемещается в продольном и вертикальном направлениях и устанавливается под углом $\pm 10^\circ$. Люнет служит опорой при обработке длинных и тонких деталей. Периодический поворот обрабатываемой детали

на определенный угол с помощью делительной головки достигается способами непосредственного, простого и сложного (дифференциального) делений.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Непосредственное деление.

Деление применяется при делении окружности в градусном выражении. При делении данным способом необходимо вывести червяк из зацепления с червячным колесом.

Поворот шпинделя осуществляется от руки вращением диска непосредственного деления. Отсчёт угла поворота производится по градусной шкале 2, нанесенной на диске непосредственного деления и нониусу, закрепленному на корпусе головки. Цена деления шкалы нониуса равна 5 минутам.

2. Простое деление.

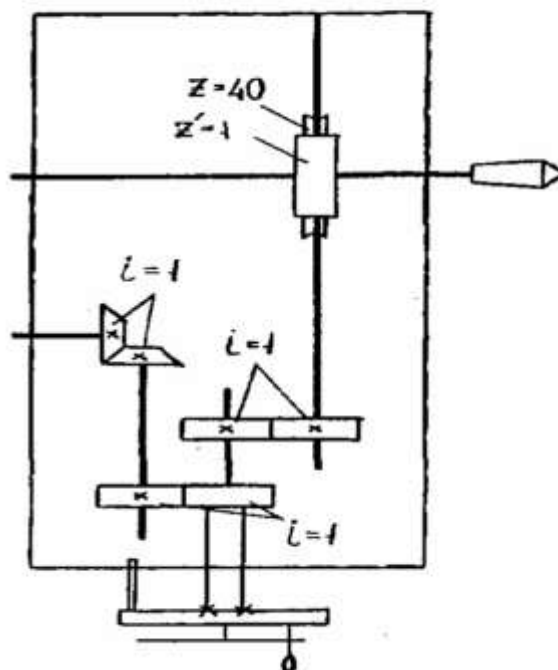


Рис. 11.3. Кинематическая схема делительной головки.

При простом делении шпиндель и заготовку, соединенную с ним, поворачивают на заданный угол вращением рукоятки 8. Одному обороту рукоятки соответствует поворот шпинделя, равным $1/40$ оборота, т.е. червяк однозаходный, а червячное колесо имеет 40 зубьев. Отсчёт поворота рукоятки 8 производится относительно делительного диска 5, на торце которого просверлены отверстия с равными расстояниями между центрами всех отверстий.

На одной стороне делительного диска имеется следующее число отверстий: 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43.

На другой стороне имеем: 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 66.

Делительный диск при простом делении соединяется с корпусом делительной головки стопором 7 и остаётся неподвижен. Величина поворота рукоятки определяется по формуле:

$$n = \frac{N}{z} \quad (11.1)$$

где n - число оборотов рукоятки, $N=40$ - характеристика головки, z -число, на которое необходимо произвести деление окружности заготовки

Например, необходимо разделить окружность на 20 частей, тогда рукоятку повернём на $n = 40/20 = 2$, два оборота.

Если необходимо разделить на 30 частей тогда:

$$n = 40/30 = 1 \frac{10}{30} = 1 \frac{1}{3}$$

необходимо рукоятку повернуть на один оборот и одну треть относительно делительного диска (5). Ищем окружность с числом отверстий кратной знаменателю, эта окружность с 24, 30, 39, 51, 66 отверстиями. Произведём расчёт:

$$n = 1 \frac{1 \cdot 8}{3 \cdot 8} = 1 \frac{8}{24}$$

повернём рукоятку на один оборот и на 8 отверстий по окружности с 24 отверстиями, а если выберем окружность с 66 отверстиями, сделаем расчёт:

$$n = 1 \frac{1 \cdot 22}{3 \cdot 22} = 1 \frac{22}{66}$$

Делаем один оборот и 22 отверстия на окружности с числом 66.

Ещё один пример: Требуется нарезать зубчатое колесо с $z = 36$. Определить число оборотов рукоятки.

$$n = \frac{40}{36} = 1 \frac{4}{36} = 1 \frac{1}{9}$$

Необходимо отыскать окружность на диске с числом отверстий кратных знаменателю и, умножив числитель и знаменатель на одно и то же число, получим в знаменателе число, равное числу отверстий на делительном диске, тогда числитель покажет, сколько отверстий необходимо отложить для каждого следующего фрезерования зуба.

$$n = 1 \frac{1}{9} \cdot \frac{6}{6} = 1 \frac{6}{54}$$

Как видим из расчёта, для нарезания каждого зуба рукоятку необходимо повернуть на 1 оборот и 6 отверстий на делительной окружности с числом отверстий 54. Схема настройки делительной головки на простое деление представлена на рис. 11.3.

3. Дифференциальное (сложное) деление.

К сложному методу деления прибегают в том случае, когда нельзя произвести заданный поворот шпинделя делительной головки простым делением, т.е. нельзя при неподвижном делительном диске произвести отсчёт нужного поворота рукоятки относительно диска.

Для этого применяется сложный метод деления. При сложном делении шпиндель головки связывают кинематической цепью, состоящей из двух пар сменных шестерен: a , b , c и т.д., а также пары конических и цилиндрических колёс с делительным диском 5 (рис. 11.4). В этом случае вращение рукоятки 8 будет вызывать не только вращение шпинделя делительной головки, но и одновременное вращение делительного диска 5. Требуемый поворот рукоятки может в этом случае получить как алгебраическую сумму двух поворотов: поворота рукоятки относительно делительного диска I , и поворота самого делительного диска согласно выражения:

$$\frac{40}{z} = \frac{40}{z_1} \pm \frac{1}{z} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

где $\frac{40}{z}$ - требуемый поворот рукоятки, соответствующий повороту шпинделя на заданную часть заготовки.

$\frac{40}{z_1}$ - отсчитываемый поворот рукоятки относительно делительного диска /величина задаётся/

$\frac{1}{z}$ - один полный поворот относительно делительного диска

$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$ - передаточное отношение сменных шестерен, связывающих шпиндель головки с делительным диском.

Величина z_1 , выбирается из условия близости к заданному значению z_0 и, дающему возможность, произвести деление, пользуясь отверстиями на делительном диске 5, обеспечивая расчётное передаточное отношение с имеющимся комплектом шестерен.

$$i_{cm} = \frac{40 \cdot z_1 - z}{z} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$



Если выбранное нами число z_1 больше z то делительный диск должен вращаться в сторону рукоятки, а при значении z_1 меньше z , рукоятка и делительный диск должны вращаться в противоположные стороны. Изменение направления вращения делительного диска и рукоятки обеспечивается за счёт установки промежуточной шестерни.

Пример: Необходимо произвести деление окружности на 207 частей:

$z = 207$ выбираем $z_1 = 200$

$$n = \frac{40}{200} = \frac{5}{25}$$

Деление заготовки будем производить на диске с числом отверстий 25 и каждый раз откладываем 5 отверстий, но если диск будет неподвижен, получим 200 зубьев, а не заданное 207.

Для деления на необходимое число определяем передаточное отношение для обеспечения необходимого поворота делительного диска подбираем шестерни /имеющиеся в комплекте/, обеспечив:

$$i = \frac{40 \cdot z_1 - z}{z} = \frac{40 \cdot 200 - 207}{200} = \frac{40 \cdot 7}{200} = -\frac{280}{200} = -\frac{40}{50} \cdot \frac{7}{4} = -\frac{40}{50} \cdot \frac{70}{40} = \frac{70}{40} \cdot \frac{40}{z_{np}} \cdot \frac{z_{np}}{50}$$

4. Фрезерование винтовых канавок.

Фрезерование винтовых канавок происходит при продольном перемещении стола фрезерного станка и одновременном вращении заготовки относительно своей оси, закреплённой в делительной головке.

Для получения необходимого вращения заготовки устанавливается гитара с набором сменных шестерен, которые передают движение от ходового винта к шпинделю головки. Гитара устанавливается на фрезерном станке таким образом, чтобы конец винта продольной подачи стола проходил через отверстие шестерни $z = 38$ см. рис. 11.5, а шпонка входила в паз шестерни.

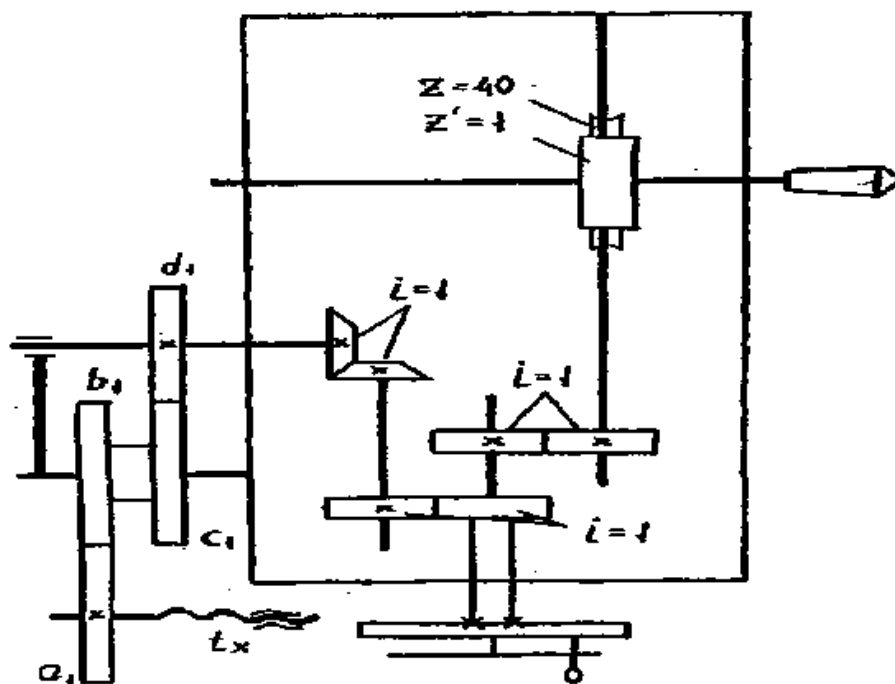


Рис. 11.5. Схема настройки делительной головки на фрезерование винтовых канавок. Зубчатое колесо $z = 24$ паразитное, передаёт вращение шестерни $z = 38$. Зубчатое сменное колесо a сидит на общей шпонке с зубчатым колесом b $z = 38$. Зубчатое колесо b , c насажено на общую втулку. Зубчатое колесо d насаживается на вал удлинённой ступицы b . Вращение ступицы привода через конические зубчатые колёса передаётся делительному диску 5, а от него через фиксатор 9, рукоятку 8, цилиндрические зубчатые колёса, червяк, червячное колесо шпинделю головки I.

Правильный профиль винтовой канавки можно получить только в том случае, если плоскость вращения фрезы совпадает с направлением винтовой канавки.

Для этого стол горизонтально-фрезерного станка должен быть повернут на угол соответствующий углу.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\pi \cdot D}{T}; \quad (11.2)$$

где φ - угол поворота стола в градусах,

D - диаметр обрабатываемой детали,

T - шаг винтовой канавки

Подбор сменных шестерен определяется по формуле:

$$i = \frac{40 \cdot t}{T} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1}; \quad (11.3)$$

где i - передаточное отношение сменных шестерен,

40 - характеристика головки,

t - шаг ходового винта станка,

T - шаг нарезаемой винтовой спирали,

a_1 - шестерня устанавливается на постоянном пальце гитары,

b_1 - шестерня устанавливается на переставном пальце гитары,

c_1 - шестерня устанавливается на постоянном пальце гитары,

d_1 - шестерня на приводе головки /на удлинённой ступице/

При нарезании левых винтовых канавок между шестернями a , b , c , d устанавливается паразитная шестерня.

Форма отчета

Лабораторная работа №23

Тема: «Конструкция и кинематика универсальной делительной головки УДГ-135».

Цель работы:

Содержание работы:

5. Изучить конструкцию и кинематическую схему универсально-делительной головки.
6. Выполнить (по заданию) расчет простого деления и нарисовать схему.
7. Выполнить (по заданию) расчет сложного деления и представить схему.
8. Выполнить (по заданию) расчет дифференциального деления и представить схему.

Расчеты:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены делительные головки?
2. Назовите основные узлы лимбовой делительной головки.
3. Что называется характеристикой делительной головки?
4. Для чего нужен поворот корпуса делительной головке относительно горизонтальной оси?
5. Для чего служит делительный диск в лимбовой головке?
6. Для чего служит в лимбовой головке раздвижной сектор?
7. Объяснить деление окружности «простым делением» и «сложным делением» (дифференциальное деление).
8. На какое число отверстий устанавливается раздвижной сектор?
9. Как выбирают приближённое число z при сложном дифференциальном движении.
10. Напишите формулу для определения числа оборотов рукоятки делительной головки при простом делении и назовите её элементы.
11. Напишите формулу для определения числа оборотов рукоятки делительной головки при дифференциальном делении и назовите её элементы.
12. Формула для определения передаточного отношения гитары делительной головки при дифференциальном делении и назовите её элементы.
13. Формула для определения передаточного отношения гитары делительной головки при фрезеровании винтовых канавок и назовите её элементы.
14. Формула для определения угла поворота стола горизонтально-фрезерного станка при нарезании винтовых канавок.
15. Откуда получает вращение делительный диск при дифференциальном

деления?

16. Когда делительный диск вращается по ходу и против вращения рукоятки при дифференциальном делении.

17. Как обеспечить деление окружности, при нарезании многозаходной (многовинтовой) канавки?

18. Откуда получает вращение заготовка при нарезании винтовой канавки?

19. За счёт чего производится изменение направления вращения заготовки при нарезании левой или правой винтовой канавки?

2.24 Лабораторная работа №24 (2 часа).

Тема: «Кинематическая схема 1К62»

2.24.1 Цель работы. Изучить кинематику и конструкцию токарно-винторезного станка.

2.24.2 Задачи работы:

0. Изучить конструкцию токарно-винторезного станка модели 1К62.

1. Освоение приемов управления станком и наладка станка на выполнение работ.

2. Содержание работы:

3. Пользуясь станком в натуре и учебными пособиями, изучить кинематическую схему станка модели 1К62.

4. Написать общее уравнение кинематической цепи главного движения и цепи подачи.

5. Определить (по заданию) число оборотов шпинделя, скорость перемещения суппорта или шаг нарезаемой резьбы.

6. Настроить станок согласно расчетам.

2.24.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

3. Токарно-винторезный станок 1К62.

4. Кинематическая схема станка.

2.24.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При токарной обработке движение подачи формирует образующую линию, а движение резания создает вращение этой линии вокруг оси, в результате получают цилиндрические, конические, торцовые или фасонные поверхности тела вращения. При врезании резца в обрабатываемую поверхность проекция режущей кромки на основную плоскость определяет форму образующей линии. Линия пересечения основной плоскости с обработанной поверхностью является следом траектории движения подачи или проекцией формы режущей кромки фасонного резца.

При токарной обработке заготовку устанавливают в центрах, в патроне, в специальном приспособлении или на планшайбе и она вращается. Поэтому в результате токарной обработки могут быть получены только поверхности тела вращения, при этом образующая линия обработанной поверхности может быть любой сложности.

На токарных станках выполняют следующие виды обработки резанием: точение, разрезание, резьбонарезание.

Разновидности точения:

обтачивание — точение наружной поверхности с движением подачи вдоль образующей линии обрабатываемой поверхности;

расточивание — точение внутренней поверхности с движением подачи вдоль образующей обрабатываемой поверхности;

подрезание — точение торцовой поверхности, различают продольное и поперечное подрезание в зависимости от направления подачи;

фасонное точение — точение фасонным резцом;

копировальное точение - точение по копиру.

К станкам токарной группы относятся станки следующих типов:

1. автоматы и полуавтоматы одношпиндельные;
2. автоматы и полуавтоматы многошпиндельные;
3. револьверные (имеют автоматическую подачу заготовки, вместо задней бабки установлена револьверная головка со сменяемым инструментом);
4. сверлильно-отрезные;
5. карусельные (для деталей большого диаметра и небольшой высоты типа маховиков, колес, колец), ось вращения вертикальная, имеется несколько суппортов;
6. винторезные и лобовые (для деталей типа дисков большого диаметра, с горизонтальной осью); этими станками оснащают в основном предприятия с мелко- или среднесерийным производством, участки индивидуального производства, изготовления инструмента, оснастки и т. д.;
7. многорезцовые (имеют 2...4 суппорта, на которых расположено по несколько резцов);
8. специальные;
9. разные токарные;
7. новые модели.

Основными характеристиками токарных станков являются высота центров над станиной и межцентровое расстояние. По высоте центров токарные станки делят на группы: мелкие, с высотой центров до 160 мм; средние, с высотой центров от 160 до 300 мм; крупные, с высотой центров более 300 мм.

У станков с одинаковой высотой центров может быть разное межцентровое расстояние. Наиболее распространены станки с высотой центров 200 мм и межцентровым расстоянием 1000 мм.

Каждый станок имеет *паспорт* — основной документ, определяющий технологические возможности станка. Он содержит данные о модели и типе, габаритных размерах, максимальных размерах обрабатываемой детали, об отдельных узлах станка — суппорте, задней бабке и др., о механизмах главного движения и движения подачи и многие другие. Паспорт станка составляет завод-изготовитель.

Паспортом станка пользуются при проектировании технологического процесса, для согласования выбранного режима резания, а также при техническом нормировании станочных работ.

Основные узлы станка. На рисунке 7.1 показаны основные элементы станка: станина 21, передняя бабка с коробкой скоростей 2, задняя бабка 15, коробка подач 23, суппорт 10 с фартуком 20, привод быстрых перемещений суппорта 17, гитара со сменными колесами 1, шкаф с электрооборудованием 16. У многих моделей универсальных токарных станков отсутствуют привод быстрых перемещений суппорта и шкаф с электрооборудованием. Станина с двумя ножками (тумбами) служит для установки на ней всех остальных узлов станка. Ее изготавливают обычно из серого чугуна. На верхней части предусмотрены направляющие, по которым перемещаются каретка суппорта и задняя бабка. Передняя бабка представляет собой коробку скоростей, неподвижно закрепленную на станке и предназначенную для вращения обрабатываемой детали с разной скоростью. Важная часть передней бабки - шпиндель, представляющий собой стальной пустотелый вал, установленный в подшипниках. На наружном конце шпинделя имеются посадочные поверхности для установки патрона или планшайбы. Коническое отверстие в переднем конце шпинделя служит для установки хвостовика центра в случае обработки деталей в центрах. Сквозное отверстие в шпинделе используют для размещения длинных заготовок (прутков) и удаления из шпинделя центров. Задняя бабка служит для поддержания правого конца длинных заготовок с

помощью центра 4 (рис. 7.2, а), для крепления инструмента (сверла, зенкера, развертки) при обработке отверстий, а также используется при обточке конических поверхностей. Центры и инструменты устанавливают в пиноли 6.

Ее осевое перемещение выполняют маховиком 9 с помощью винта 7 и гайки 8. Пиноль закрепляют в требуемом положении рукояткой 5. Для точения конусов корпус 3 смещают винтом 10 по направляющим нижней плиты 2 в поперечном направлении. Заднюю бабку можно перемещать по направляющим станины 1 и закреплять в определенном месте болтами с гайками и планкой.

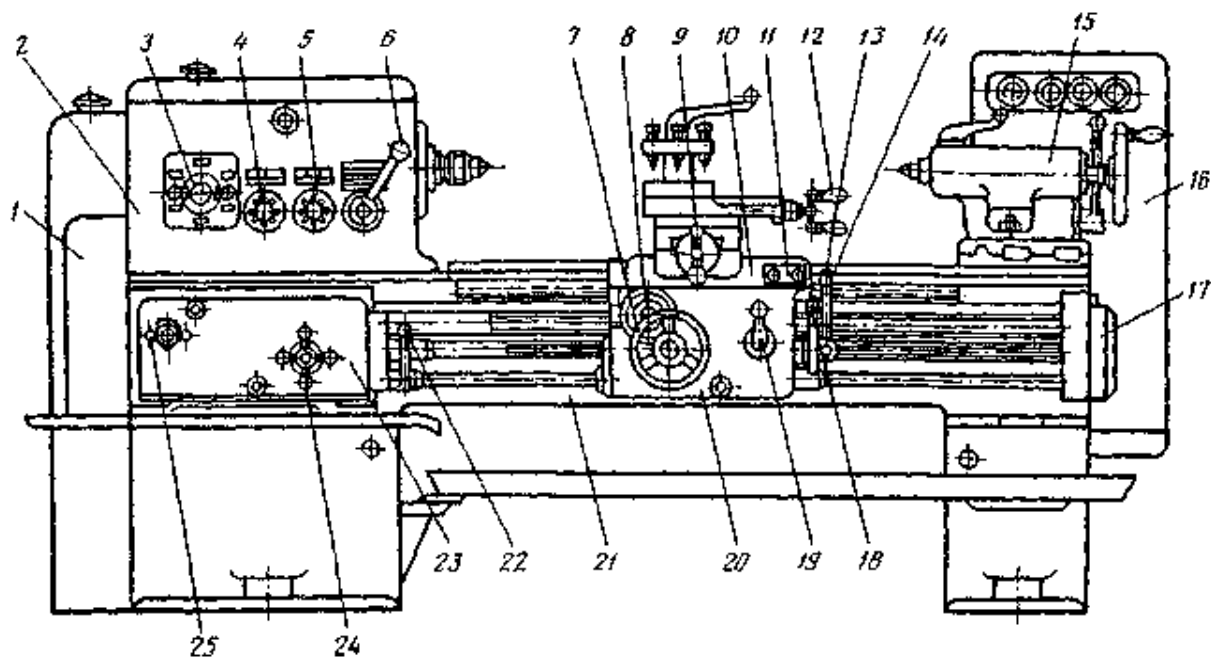


Рис. 7.1. Схема токарно-винторезного станка

Коробка подач служит для получения различных подач. Она получает движение от шпинделя станка через механизм гитары со сменными зубчатыми колесами. От коробки подач движение передается ходовому валу или ходовому винту.

Суппорт предназначен для закрепления и подачи режущего инструмента. Он состоит из четырех основных частей: каретки (нижних салазок) 8 (рис. 7.2, б), нижней 6, средней поворотной 5 и верхней 2 (верхних салазок) частей. Каретка 8 перемещается в продольном направлении по направляющим станины как механически (от ходового винта или ходового вала), так и вручную. Нижняя часть суппорта 6 движется по направляющим каретки в поперечном направлении также механически и вручную.

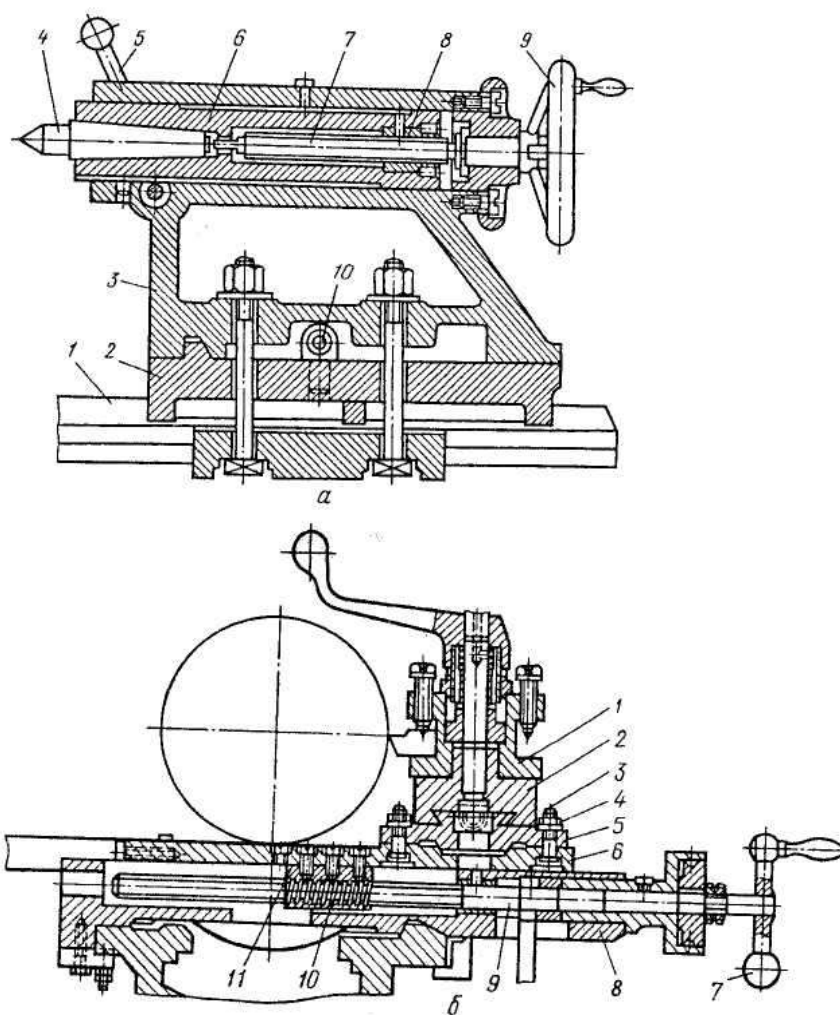


Рис. 7.2. Схемы задней бабки (а) и суппорта (б) токарно-винторезного станка

Механический привод суппорта осуществляется от фартука через зубчатые колеса на поперечный винт каретки 9, а ручное перемещение - посредством рукоятки 7. Среднюю часть суппорта 5 можно поворачивать относительно нижней части в обе стороны на угол 45° и закреплять в требуемом положении двумя болтами 3 и гайкой 4. Поворот суппорта используют при точении конусов. Верхняя часть 2 суппорта, несущая резцовую головку У, перемещается только вручную по направляющим средней части суппорта 5 от рукоятки с помощью винта и гайки. Благодаря независимому перемещению каждой из основных частей суппорта режущему инструменту можно сообщать продольное, поперечное и криволинейное движение, а также движение под углом (для точения на конус). Гайка ходового винта нижней части поперечного суппорта сделана разрезной и состоит из двух половинок 11 и 10.

Фартук прикреплен к нижней части суппорта и служит для размещения механизмов преобразования вращательного движения ходового винта или ходового вала в поступательное движение подачи суппорта.

Для управления станком служат рукоятки, маховички и другие органы управления (см. рис. 7.1): 3 и 6 - рукоятки переключения скоростей; 4 - рукоятка переключения звена увеличенного шага; 5 - «грибок» управления для нарезания правых и левых резьб; 7- маховичок ручного продольного перемещения суппорта; 8- ползунок с пуговкой для включения и выключения реечной шестерни фартука; 9 - рукоятка ручного поперечного перемещения суппорта; 11- кнопочная станция; 12 - рукоятка ручного перемещения верхней части суппорта; 13 - кнопка включения быстрых перемещений суппорта; 14-

рукоятка включения, выключения, реверсирования продольной и поперечной подач суппорта; 18 и 22 - рукоятки включения, выключения и реверса шпинделя; 19 - рукоятка включения маточной гайки фартука; 24 и 25 - рукоятки управления коробкой подач.

Токарно-винторезный станок 1К62. Этот станок предназначен для точения различных деталей и нарезания резьб. Его обычно применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

Основные технические данные станка: наибольший диаметр заготовки над станиной 400 мм и под суппортом 200 мм; наибольший диаметр обрабатываемого прутка, проходящего через отверстие в шпинделе, 50 мм; расстояние между центрами 710, 1000, 1400 и 2000 мм; число значений частот вращения шпинделя 22; пределы частот вращения шпинделя 12,5...1600 мин⁻¹; пределы продольных передач 0,05...2,8 мм/об.; поперечных 0,025...1,4 мм/об.; шаги нарезаемой резьбы - метрической 0,5... 112 мм, дюймовой 0,5...56 ниток на 1", модульной 0,5...112 мм, питчевой - 56...95 питча.

Механизм главного движения (приложение 1).

Вращение от электродвигателя мощностью 10кВт передается клиноременной передаче 142-254 валу I коробки скоростей. Усиленные многодисковые фрикционы, управляемые муфтой М₁ служит для включения прямого и обратного хода шпинделя.

При прямом ходе вал II получает вращение через двойной подвижной блок шестерён Б₁ 56-34 и 51-39 с двумя различными скоростями. При обратном ходе валу II сообщается вращение с одной скоростью шестернями 50-24 и 36-38. Наличие тройного блока шестерён Б₂ 29-47, 21-55, 38-38 позволяет получить на валу III шесть различных чисел оборотов в минуту. Последние могут быть переданы шпинделю либо непосредственно через шестерни 65-43, когда двойной блок шестерён Б₅ включен влево, либо через перебор, когда блок Б₅ включен вправо. В этом случае вращение шпинделю VI от вала III передается двумя двойными подвижными блоками Б₃ и Б₄, позволяющими получить три различных передаточных отношения: 1,1/4 и 1/16 (четвертое отношение совпадает со вторым); валом V и передачей 27-54. Через перебор шпиндель получает 18 различных скоростей вращения, а всего 24 скорости в диапазоне 1:160 от 12,5 до 2000 об/мин. следует заметить, что практически станок модели 1К62 имеет только 23 различных скорости вращения шпинделя вследствие малой разницы между наибольшим числом оборотов шпинделя, получаем через перебор (660 об/мин) и наименьшим числом оборотов, получаем без перебора (680 об/мин). при обратном вращении шпиндель имеет 12 скоростей - от 19 до 2420 об/мин.

Общее уравнение цепи главного движения определяется выражением:

$$n_{\text{шп}} = 1450 \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot \left(\frac{56}{34}; \frac{51}{39}; \left(\frac{50}{24}; \frac{36}{38} \right) \right) \cdot \left(\frac{29}{47}; \frac{21}{55}; \frac{38}{38} \right) \cdot \left(\frac{65}{43}; \left(\left(\frac{22}{88}; \frac{45}{45} \right); \left(\frac{22}{88}; \frac{45}{45} \right); \frac{27}{54} \right) \right)$$

Движение подач

Привод подач состоит из звена увеличения шага Б₃ и Б₄, двухскоростного механизма резерва Б₅, гитары сменных колёс С₁С₂, коробки подач и механизма подач фартука. Движение подач заимствуются либо непосредственно от шпинделя через шестерни 60-60, когда блок Б₆ звена увеличения шага находится в крайнем левом положении (как показано на схеме), либо от вала III через шестерни 45-45, когда блок Б₆ перемещён в крайнее правое положение.

В последнем случае в зависимости от передаточного отношения перебора подача и шаг резьбы увеличивается в 2 или 8 или в 32 раза.

Реверс, используемый в основном для изменения направления вращения ходового винта, имеет две скорости правого и одну скорость левого вращения. При крайнем левом положении тройного подвижного блока шестерён Б₇ вращения от вала VII валу VIII передаётся шестернями 42-42 с передаточным отношением, равным 1, при среднем положении блока Б₇-шестернями 28-56 с передаточным отношением, равным 1/2, а при

крайнем правом положении блока Б₇ изменяется направление вращения, которое в этом случае передаётся колесами 35-28-35 с передаточным отношением, равным 1.

Коробка передач получает вращение от VIII через гитару со сменными блоками шестерен С₁ и С₂. Для нарезания метрических и дюймовых резьб и получения механической подачи сменные блоки С₁ и С₂ устанавливаются как показано на схеме и вращением коробки подач сообщается зубчатыми колесами 42-95-50. При необходимости нарезания модульных и питчевых резьб блоки шестерен переворачиваются, и вращение коробки подач передается зубчатым колесам 64-95-97. Коробка подач состоит из семиступенчатого механизма Нортон, четырехступенчатого множительного механизма и переключающего устройства с обгонной муфтой. Нарезание дюймовых, питчевых и торцевых резьб производится как показано на схеме, при включенной шестерен 35, установленной на валу X и выключенных муфтах М₂ М₃ и М₄, вращение от вала IX передается валу XIV через шестерни 35-37-35, механизм Нортон, колеса 35-28 и 28-35 и множительный механизм, состоящий из двух подвижных двойных блоков шестерен Б₈ и Б₉, которые обеспечивают получение четырех различных передаточных отношений: 1/8, 1/4, 1/2, 1. При включении кулачковой муфты М₅ вращение от вала XIV передается ходовому винту XVI.

В изображенном на схеме положении механизма Нортон и Б₈, Б₉ множительного механизма. Коробка подач настроена для нарезания дюймовых резьб с шагом S = 2,309 мм (11 ниток на 1). Действительно:

$$S = 1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{50} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{28}{25} \cdot \frac{36}{44} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{35} \cdot \frac{12}{48} = 2.309 \text{ мм}$$

При нарезании резьбы (метрической и модульной). А также для получения механической передачи, коробка подач перенастраивается. Шестерня 35 на валу X выводится из зацепления с шестерней 37, включая муфты М₂ и М₄, а муфта М₃ остается выключенной. В этом случае вращение от вала XI передается муфтой М₂, валом XI, механизмом Нортон, муфтой М₄ и множительным механизмом.

$$S = 1 \cdot \frac{54}{27} \cdot \left(\frac{45}{45}; \frac{88}{22} \right) \cdot \left(\frac{45}{45}; \frac{88}{22} \right) \cdot \frac{45}{45} \cdot \left(\frac{42}{42}; \frac{28}{56} \right) \cdot \frac{67}{95} \cdot \frac{45}{97} \cdot \left(\frac{26 \dots 48}{36} \right) \cdot \frac{25}{28} \cdot (Б_8)(Б_9) \cdot 6 \cdot 2$$

Например, для нарезания модульной резьбы с шагом S = 18,8496 мм (модуль равен 6 мм) уравнение кинематической цепи привода подач имеет вид:

$$S = 1 \cdot \frac{57}{27} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{88}{22} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{64}{97} \cdot \frac{48}{36} \cdot \frac{25}{28} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} \cdot 12 = 18,8496 \text{ мм}$$

В изображенном на схеме положении двухвенцовый блок Б₁₀ передаст вращение ходовому валику XVII через двухвенцовую шестерню 56, обгонную муфту М₀ и вал XV для осуществления механической передачи суппорта. При смещении шестерни Б₁₀ влево, ее левый зубчатый венец входит в зацепление с шестерней 56, жестко закрепленной на валу XV, и вращение последнему передается помимо обгонной муфты, что необходимо для нарезания торцевых резьб. От ходового валика XVII вращение через колеса 27-20-28, предохранительную муфту М и червячную передачу 4-20 сообщается валу XIX. Последний связан с передней шестерней 40 непосредственно с зубчатыми венцами кулачковых муфт М₇ и М₉, а задней шестерней 40 через паразитное колесо 45 – зубчатыми венцами кулачковых муфт М₆ и М₈. При сцеплении кулачковых муфт М₆ и М₉, включается механическая продольная передача в том или ином направлении, при этом вращение от вала XX через зубчатые колеса 14-66 передается валу XXI с закрепленной на нем реечной шестерней 10. Z = 10.

В изображенном на схеме положении привода подач величина продольной передачи суппорта определяется выражением:

$$S = 1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{42}{95} \cdot \frac{95}{50} \cdot \frac{35}{37} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{35}{25} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{58} \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{27}{28} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{40}{66} \cdot 10,3 \cdot 3,14 = 0,4 \text{ мм / об}$$

Поперечная подача в ту или иную сторону включается муфтой М₈ или М₉, после чего вращение вала XXII передается ходовому поперечному винту XXIII шестернями 40-61-20.

При одинаковой настройке коробки подач поперечные подачи имеют вдвое меньшую величину, чем продольные.

Вспомогательные движения

Быстрые перемещения в продольном и поперечном направлениях осуществляется от отдельного электродвигателя, расположенного с задней стенки (стороны), через коническую передачу 85-147, ходовой валик 17 и далее – по тем же кинематическим цепям фартука по которым суппорту сообщается движение рабочей передачи. Скорость быстрых перемещений равна 3,8 м/мин.

Форма отчета

Лабораторной работе №24

Тема: «Устройство и кинематика токарно-винторезного станка модели 1К62».

Задачи работы:

8. Изучить конструкцию токарно-винторезного станка модели 1К62.
9. Освоение приемов управления станком и наладка станка на выполнение работ.
10. Содержание работы:
11. Пользуясь станком в натуре и учебными пособиями, изучить кинематическую схему станка модели 1К62.
12. Написать общее уравнение кинематической цепи главного движения и цепи подач.
13. Определить (по заданию) число оборотов шпинделя, скорость перемещения суппорта или шаг нарезаемой резьбы.
14. Настроить станок согласно расчетам.

Основные данные станка:

Наибольший диаметр, устанавливаемый над станиной – 225мм.

Расстояние между центрами – 1000мм.

Высота центров – 200мм.

Размер обрабатываемых изделий

Наибольший диаметр	прутка, мм.	45
	над верхней частью суппорта, мм.	110
	над нижней частью суппорта, мм.	180
Шаг нарезаемой резьбы	метрической	
	дюймовой	
	модульной	

Суппорт

Число резцов в резцедержателе			4
Наибольшие размеры державки резца, мм.		ширина	25
		высота	37
Высота от опорной поверхности резца до линии центров, мм.			26
Наибольшее перемещение, мм.		продольное	поперечное
	от руки	940	185
	по валику	940	--
	по винту	940	185
Выключающие упоры			+
Быстрое перемещение			+
Цена одного деления, мм.			1

Перемещение на один оборот лимба, мм.	продольное	200
	поперечное	5
Резцовые салазки	наибольший угол поворота, в градусах	± 90
	поворот на одно деление шкалы, мм.	1
	наибольшее перемещение, мм.	140
	перемещение на одно деление лимба, мм.	0,05
	перемещение на один оборот лимба, мм.	5

Шпиндель

Конус: система №	6
Диаметр отверстия шпинделя, мм.	80
Торможение шпинделя	+

Задняя бабка

Конус: система №	5
Наибольшее перемещение пиноли, мм.	20
Перемещение пиноли на одно деление шкалы, мм.	0,05
Поперечное смещение, мм.	20
Величина поперечного смещения на одно деление, мм.	-

№	Спецификация рукояток управления

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется приводом металлорежущего станка?
2. Перечислите основные функции привода.
3. Перечислите основные функции передач в станках.
4. Перечислите основные виды передач, применяемых в станках.
5. Что называется передаточным отношением?
6. Дайте определение и укажите основное назначение кинематической схемы.
7. Как на кинематической схеме обозначается ременная передача?
8. Как на кинематической схеме обозначается зубчатая передача с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами?
9. Как на кинематической схеме обозначается червячная передача?
10. Как на кинематической схеме обозначается реечная передача?
11. Как на кинематической схеме обозначается винтовая передача?
12. Как на кинематической схеме обозначается цепная передача?
13. Как на кинематических схемах обозначаются червячные колеса свободно, подвижно и неподвижно сидящие на валу?
14. Как на кинематических схемах обозначаются фрикционная и кулачковая муфта?
15. Как на кинематической схеме обозначается механизм со скользящим и накладным зубчатым колесом?
16. Как на кинематических схемах обозначаются реверсивные механизмы с цилиндрическими и коническими колесами?
17. Чему равно передаточное отношение кинематической цепи?

18. Укажите назначение станка и маркировку по ЭНИМС с расшифровкой.
19. Перечислите виды работ, выполняемых на станке.

2.25 Лабораторная работа №25 (2 часа).

Тема: «Кинематика станка модели 7Б35»

2.25.1 Цель работы. Изучить кинематику и конструкцию поперечно-строгального станка модели 7Б35, а также рассчитать кинематические параметры.

2.25.2 Задачи работы:

1. Пользуясь станком в натуре и учебными пособиями, изучить их устройство и кинематическую схему станка.
2. Написать общее уравнение кинематической цепи главного и вспомогательного движения.
3. Определить (по заданию) число двойных ходов ползуна и скорость перемещения стола за один двойной ход в минуту.

2.25.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Поперечно-строгальный станок модели 7Б35.
2. Кинематическая схема станка.

2.25.4 Описание (ход) работы:

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Строгальные станки предназначены для обработки резцом плоских и линейчатых поверхностей, пазов, торцов и других подобных работ. Строгальные станки разделяются на поперечно-строгальные, продольно-строгальные и долбежные. У поперечно-строгальных станков поступательно-возвратное движение совершает закрепленный в суппорте резец, а обрабатываемая деталь движется периодической поперечной подачей. У продольно-строгальных станков поступательно-возвратное движение совершает обрабатываемая деталь, а резец - периодическую подачу в поперечном направлении. У долбежных станков резец получает поступательно-возвратное движение вниз и вверх, а обрабатываемая деталь - периодическую подачу в поперечном, продольном или круговом направлении.

Строгальные и долбежные станки применяют в единичном и мелкосерийном производствах, вследствие простоты и дешевизны инструмента при достаточной точности обработки и меньшей стоимости по сравнению с фрезерными станками. По производительности и качеству обработки строгание обычно уступает фрезерованию, однако в некоторых случаях обработка строганием или долблением является не только наиболее рациональным, но и единственно возможным процессом по технологическим особенностям обрабатываемых деталей.

Процесс строгания имеет много общего с точением. Особенности строгания являются переменная скорость рабочего и холостого хода, резец при строгании находится под воздействием факторов резания только во время рабочего хода, а во время холостого хода резец не работает и охлаждается; врезание резца в заготовку сопровождается ударами, подача имеет прерывистый характер и осуществляется в конце холостого хода.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией станка и изучить его управление.
2. Изучить кинематическую схему поперечно-строгального станка.

3. Написать уравнение кинематической цепи числа двойных ходов ползуна в минуту (в соответствии с вариантом), а также подачи стола и суппорта.
4. Настроить станок для строгания плоскости.

Назначение:

Поперечно-строгальный станок модели 7Б35 предназначен для обработки резцом горизонтальных, вертикальных и наклонных плоских и фасонных поверхностей с наибольшей длиной обработки 500мм, а также для прорезания всевозможных прямолинейных пазов, канавок и выемок.

Работы, выполняемые на строгальных станках

Строгание применяют для обработки плоских и несложных фасонных поверхностей с прямолинейными образующими в единичном и мелкосерийном производстве. Некоторые примеры работ, выполняемых на строгальных станках: строгание горизонтальной плоской поверхности при поперечной подаче стола (рис. 10.1,а), строгание вертикальной плоской поверхности при вертикальной подаче суппорта (рис. 10.1,б), строгание пазов и канавок (рис. 10.1,в), когда широкие пазы выполняют последовательно за несколько проходов резца; строгание Т-образных пазов за три приема, обработка средней части паза, обработка левой части, обработка правой части паза (рис. 10.1,г); строгание наклонных плоских поверхностей при установке суппорта под углом 45 градусов (рис. 10.1,д); строгание фасонных поверхностей (рис. 10.1,е).

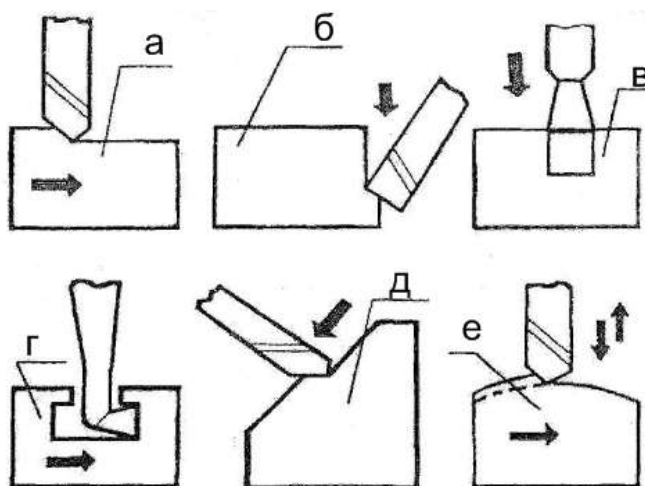


Рис. 10.1. Работы, выполняемые на строгальных станках

Общие сведения о станке

Габариты, мм 2335*1355*1540

Масса, кг-1800

Ползун: Длина хода, мм - min -20, max – 500

Стол: Рабочая поверхность, мм 500 х 360

Наибольшее перемещение, мм:

механическое горизонтальное-5 00

ручное: горизонтальное-500, вертикальное-310

Автоматическое горизонтальное перемещение, м/мин-2,23

Суппорт:

Наибольшее перемещение головки резца от руки, мм -170.

Наибольший угол поворота резцовой головки - 60°.

Электродвигатель: Мощность, кВт - 5,5 при 1440 об/мин.

Поперечно-строгальный станок модели 7Б35 состоит из основных узлов, указанных на рис. 10.2. На правой стороне станка смонтирована чугунная коробка подач, в которой находится механизм горизонтальной подачи стола.

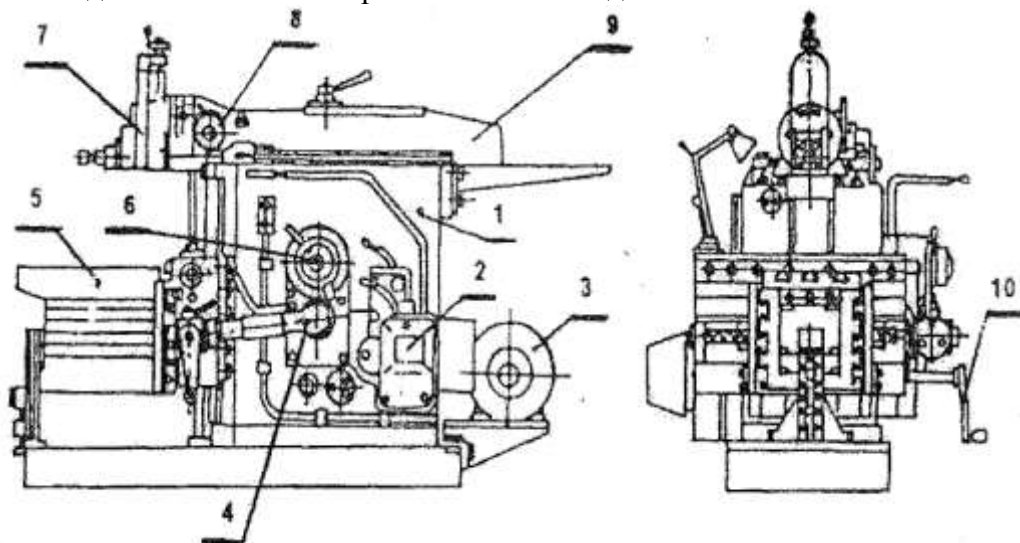


Рис.10.2. Общий вид станка 7Б35.

1 - станина, 2 - коробка скоростей, 3 - электрооборудование,
4 - механизм подачи стола, 5 - стол, 6 - кулисный механизм, 7 - суппорт, 8 - механизм
вертикальной подачи суппорта, 9 - ползун, 10 - рукоятка.

К передней части станка крепится узел стола, состоящий из поперечины, салазок и собственно стола.

На задней части станка на чугунном кронштейне установлен электродвигатель.

На верхних направляющих станины собран узел ползуна, в котором с правой стороны вмонтирован механизм вертикальной механической подачи суппорта, а в передней его части укреплен суппорт.

Кулисный механизм, коробка скоростей и узел смазки смонтированы внутри станины.

Органы управления станка 7Б35 представлены на рисунке 10.3

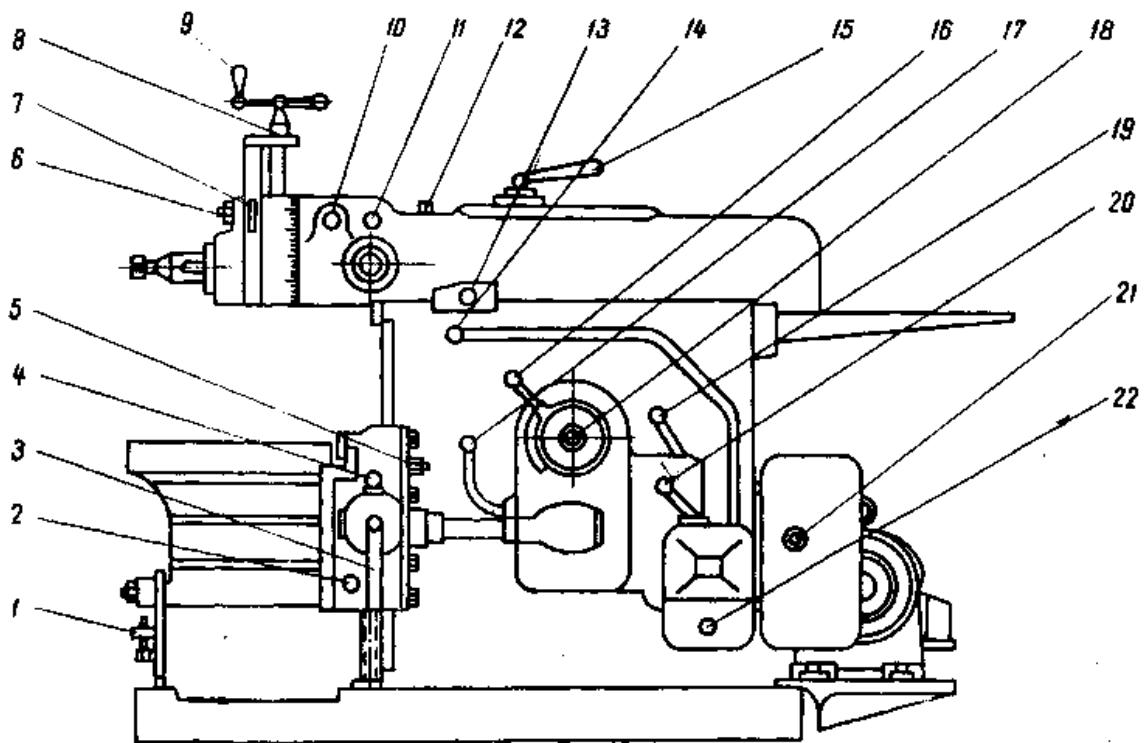


Рис. 10.3. Расположение органов управления:

- 1 - точный упор стола; 2 - рукоятка вертикального перемещения стола; 3 - рукоятка горизонтального перемещения стола; 4 - рукоятка реверсирования подачи; 5 - гайка зажима вертикальных салазок;
- 6 - гайка зажима поворотной доски суппорта; 7 - рукоятка зажима салазок суппорта; 8 - рукоятка тормоза винта суппорта; 9 - рукоятка вертикального перемещения суппорта; 10 - рукоятка зажима суппорта; 11 - рукоятка установки величины автоматической подачи суппорта; 12 - рукоятка перемещения ползуна; 13 - упор автоматической подачи суппорта; 14 - рукоятка включения фрикциона; 15 - рукоятка зажима ползуна;
- 16 - рукоятка установки величины подачи; 17 - рукоятка ускоренного перемещения стола; 18 - рукоятка установки длины хода ползуна;
- 19 - рукоятка переключения перебора; 20 - рукоятка переключения скоростей; 21 - рукоятка замка электрошкафа; 22 - рукоятка поворота шестерен переключения скоростей;

Цепь главного движения

Движение от электродвигателя передается через клиноременную передачу на приводной шкив станка. Число оборотов приводного шкива:

$$n_{пр} = 1450 \cdot 0,985 \cdot 148/336 = 625 \text{ об/мин}$$

Число двойных ходов ползуна в минуту.

$$n_{дв.ход.} = n_{пр} \cdot i \quad (10.1)$$

где $n_{пр}$ – число оборотов приводного шкива,
 i – передаточное отношение.

$$i = \left(\frac{28}{36}; \frac{33}{28} \right) \cdot \left(\frac{23}{38}; \frac{18}{43} \right) \cdot \frac{15}{48} \cdot \left(\frac{48}{86}; \frac{16}{107} \right)$$

При включении дисковой фрикционной муфты вращение от приводного шкива передается на вал I (прилож. 4) коробки скоростей с двумя блоками зубчатых колес 33, 28 (B_1) и 23,

18 (Б₂), переключением которых передаются четыре ступени скоростей валу II коробки. Зубчатое колесо 15 с удлиненным зубом, закрепленное на валу II коробки скоростей, находится в постоянном зацеплении с колесом 48 передвигного блока Б₃ зубчатых колес 48, 16 (Б₃), зацепляющихся с одним из пары кулисных колес 80-107.

Переключением блока зубчатых колес 48-16 можно удвоить полученное ранее количество скоростей.

Цепь подач стола

Укрепленный на валу кулисного механизма кулачок поворачивает зубчатый сектор 30 (рис.10.4), сцепляющийся с зубчатым колесом 31, последнее через поводок и сидящую на нем собачку поворачивает храповое колесо 32, соединенное кулачковой муфтой с валом конического колеса 33. Коническое колесо 33 сцепляется с колесом 34, от которого движение передается через вал коническому колесу 37. Включением кулачковой муфты с одним из конических колес 38 или 39 сообщается вращение ходовому винту 40 и реверсирование движения стола.

Кинематическая цепь подачи стола включает звенья: 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38 (или 39), винт 40 и гайку 41. Звено 32 – переменное.

$$S_{\text{стола}} = \frac{n}{64} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot m \cdot t \quad (10.2)$$

где; $z_1=30$, $z_2=27$, $z_3=36$, $z_4=25$.- зубчатые колеса участвующие в зацеплении;

m - число заходов винта (число винтовых канавок);

t - шаг винта;

n - число зубьев, захватываемых собачкой.

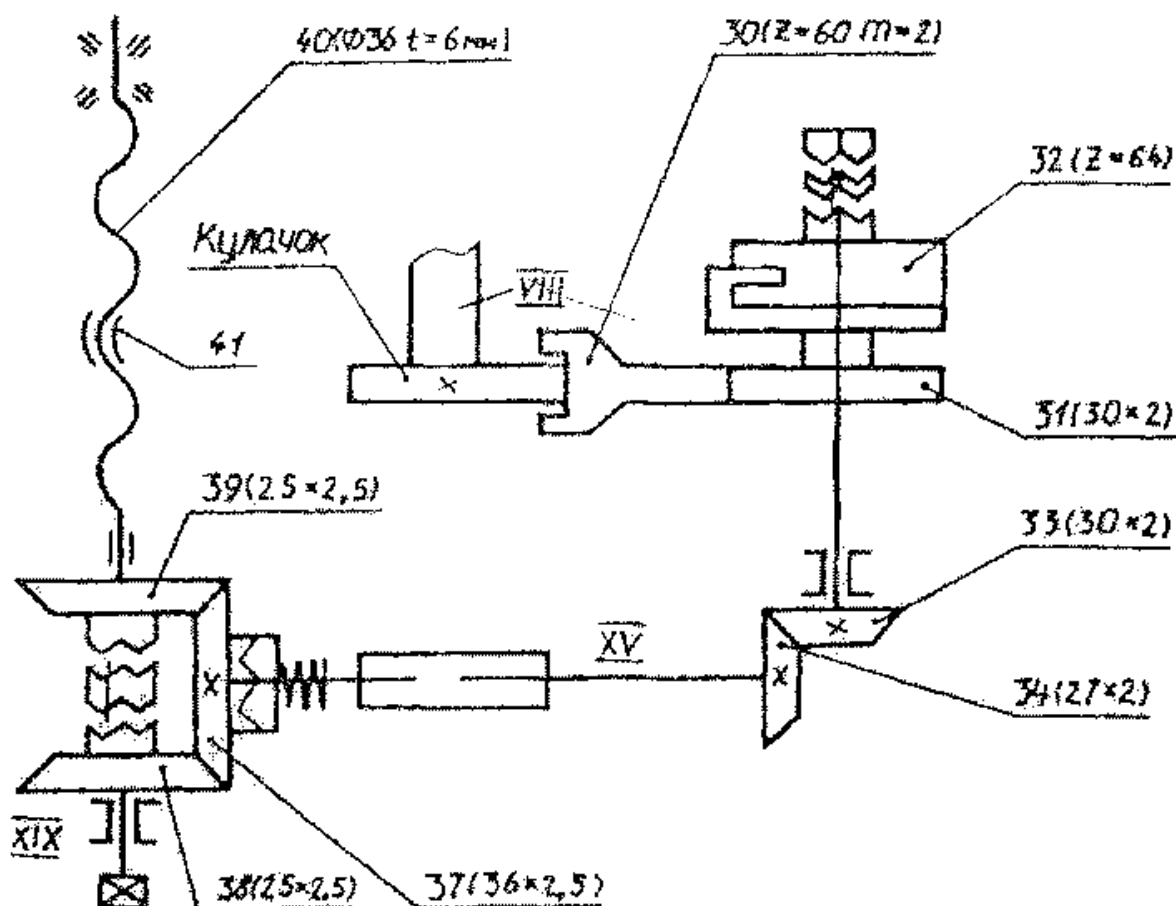


Рис. 10.4. Кинематическая схема цепи подачи стола поперечно-строгального станка 7Б35

Цепь подачи суппорта

При обратном (холостом) ходе ползуна рычаг механизма подачи, попадая на специальный кулачок, установленный на верхней плоскости станины, поворачивает храповое колесо 45 (рис. 10.5), соединенное при помощи штифта и собачки с коническим колесом 46. Далее движение передается на конические колеса 47, 48, 49. Коническое колесо 49 служит гайкой 55 для винта подачи суппорта.

Кинематическая цепь подачи суппорта включает звенья: 45, 46, 47, 48, 49, винт 50 и гайку 55.

Звено 45 - переменное.

$$S_{\text{суп}} = \frac{n}{45} \cdot \frac{33}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot t \quad (10.3)$$

где; n - число зубьев захватываемых собачкой;
 t - шаг винта, мм.

Механизм установки вылета ползуна

Вращением кривошипной рукоятки, надеваемой на квадратный конец валика зубчатого колеса 51, а также через коническое колесо 52, винт и гайку перемещают ползуны относительно обрабатываемого изделия, устанавливая тем самым вылет ползуна.

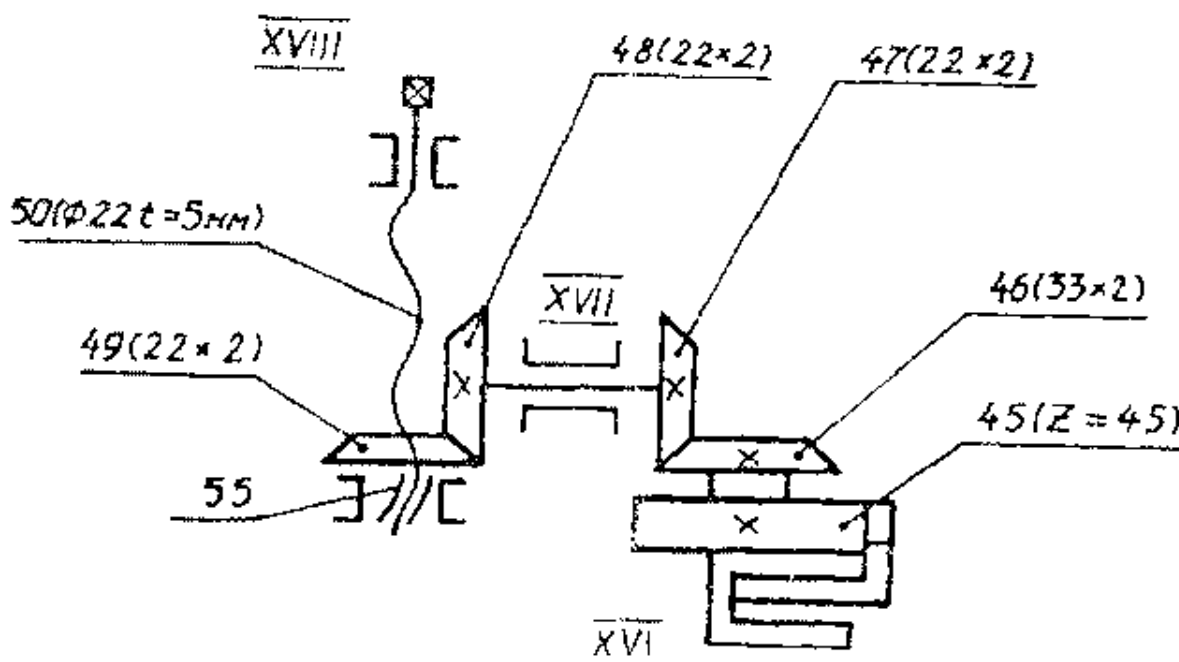


Рис. 10.5. Кинематическая схема цепи подачи суппорта поперечно-строгального станка 7Б35

Механизм вертикального перемещения стола

Вертикальное перемещение стола осуществляется вращением от руки при помощи кривошипной рукоятки валика с коническим колесом 42. Валик передает движение коническому колесу 43, которое служит гайкой для неподвижного винта.

Механизм установки длины хода ползуна

Длину хода ползуна регулируют в пределах 20-500мм и изменяют смещением пальца камня кулисы относительно центра вращения вала кулисного механизма. Для этого

поворачивают кривошипной рукояткой валик с зубчатым колесом 23 и зубчатые колеса 24, 25, 26, действуя на винт 27 и гайку.

Механизм быстрого (ускоренного) перемещения стола

Приводной шкив станка, соединенная с косозубым колесом 12, находящимся в зацеплении с колесом 13, передает движение зубчатым колесам 14-15 масляного насоса. На валу зубчатого колеса 13 установлена звездочка 16, соединенная цепью со звездочкой 17, сидящей на одном валу со звездочкой 18, соединенной цепью со звездочкой 19 следующего валика. На валике звездочки 19 установлено зубчатое колесо 20, сцепляющееся с колесом 29, последнее при включении кулачковой муфты сообщает быстрое движение столу через конические колеса 33, 34, 37, 38 (или 39) и винтовую пару 40 и 41.

Цепь ускоренного перемещения стола включает звенья 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 29, 33, 34, 37, 38 (или 39), винт 40 и гайку 41.

Кулисный механизм

Кулисный механизм (рис.10.6) преобразует вращательное движение кулисных зубчатых колес в возвратно-поступательное прямолинейное движение ползуна.

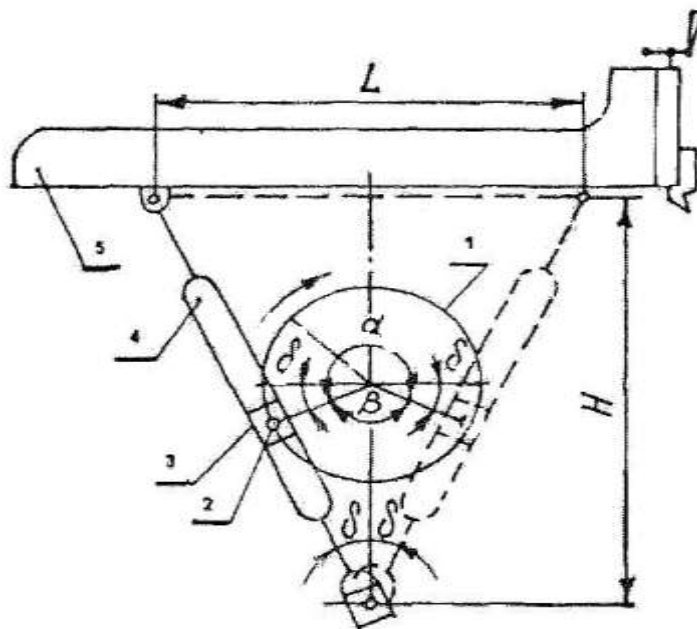


Рис. 10.6. Кулисный механизм:

1 - кулисное зубчатое колесо; 2 – палец; 3 – камень; 4 – кулиса; 5 - ползун.

Кулисный механизм монтируется внутри станины станка и получает движение от коробки скоростей при зацеплении зубчатого венца 21 или 22 (рис.10.3) с соответствующими зубчатыми колесами коробки скоростей. Косозубые венцы 21 и 22 привернуты к корпусу кулисного барабана и передают ему вращательное движение с восемью ступенями чисел оборотов в минуту.

На торце корпуса кулисного барабана в призматических направляющих установлен палец кулисы, на котором насажен камень кулисы, входящей также в направляющие прорези, расположенные вдоль кулисы.

При вращении корпуса, а вместе с ним и кулисного пальца, последний описывает окружность, увлекая за собой камень кулисы, который перемещается в направляющих кулисы и заставляет ее качаться вокруг нижней оси.

Верхний конец кулисы шарнирно связан при помощи серьги, надетой на палец, с ползуном. Кулиса, совершающая качательное движение, сообщает ползуну прямолинейное

возвратно-поступательное движение. Длина хода ползуна регулируется перемещением пальца кулисы относительно центра корпуса.

Длину хода ползуна изменяют поворотом кривошипной рукоятки, надеваемой на выступающий квадрат вала. На конце вала нарезаны зубья, которые зацепляются с зубчатым колесом, заклиненным на конической шестерне валика, и вращение передается конической шестерне, заклиненной на валу, который входит своим резьбовым концом в гайку кулисного пальца. Вращая винт, перемещают палец кулисы относительно центра корпуса.

Длина хода ползуна отмечается лимбом, на котором против нулевой риски устанавливается деление с цифровым обозначением получаемой длины хода.

Время одного двойного хода ползуна t равно времени одного оборота кулисного зубчатого колеса:

$$t = \frac{l}{n} = t_p + t_x = \frac{\alpha}{360} \cdot \frac{l}{n} + \frac{\beta}{360} \cdot \frac{l}{n}, \text{ мин}, \quad (10.4)$$

где n -число двойных ходов ползуна в минуту (или частоты вращения кулисного колеса);

t_p - время рабочего хода ползуна в минуту;

t_x - время холостого хода ползуна в минуту;

α - угол рабочего хода; $=180 + 2\delta$;

β - угол холостого хода; $=180 - 2\delta$

Из рисунка 10.6 следует

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{L}{2 \cdot H}; \quad (10.5)$$

где L -длина хода ползуна в мм;

H -расстояние от центра качания кулисы до центра пальца, соединяющего кулису с ползуном, в мм.

Средняя скорость рабочего хода ползуна

$$V_{p.c.p} = \frac{L}{1000 \cdot t_p} = \frac{0.36 \cdot L \cdot n}{\alpha}, \text{ м /мин}, \quad (10.6)$$

Средняя скорость ползуна

$$V_{c.p.} = \frac{2 \cdot L \cdot n}{1000}, \text{ м /мин}, \quad (10.7)$$

Форма отчета

Лабораторная работа №25

Тема «Конструкция и кинематика поперечно - строгального станка модели 7Б35»

Цель работы:

Домашняя подготовка

1. Ознакомиться с условными обозначениями, применяемыми в кинематических схемах металлорежущих станков.
2. Ознакомиться с механизмами, применяемыми в металлорежущих станках.
3. Пользуясь учебными пособиями и паспортом станка, ознакомиться с устройством и

кинематической схемой поперечно-строгального станка.

Содержание работы:

1. Пользуясь станком в натуре и учебными пособиями, изучить их устройство и кинематическую схему станка.
2. Написать общее уравнение кинематической цепи главного и вспомогательного движения.
3. Определить (по заданию) число двойных ходов ползуна и скорость перемещения стола за один двойной ход в минуту.

Таблица 1.ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ СТАНКА

Длина хода ползуна	наименьшая	наибольшая
	20	500
Наибольший вылет ползуна		380

Таблица 2.СТОЛ

Механически				
Наибольшее перемещение, мм		от руки	наибольшее	наименьшее
Быстрое перемещение, мм/мин			610	
Перемещение на одно деление лимба, мм		0,1		
Перемещение на один оборот лимба, мм		12		
Размеры рабочей площади стола		длина	ширина	число пазов
Верхней, мм		500	360	3
Боковой	правый	390	370	3
	левый	390	370	3
Поддерживающая стойка			имеется	

Таблица 3. СУППОРТ

Наибольшее вертикальное перемещение резцовой головки, мм	
Перемещение на одно деление лимба, мм	0,05
Наибольший угол поворота резцовой головки в градусах	±90
Перемещение на один оборот лимба, мм	5
Поворот на одно деление шкалы в градусах	1

Таблица 4. Спецификация рукояток управления

№	Наименование и назначение

Расчеты:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Напишите формулу определения скорости ускоренного перемещения стола.
2. Какие виды движения предусматривает кинематика станка?
3. Какую функцию выполняет в станке кулисный механизм?
4. Объясните изменения скорости хода ползуна.
5. Перечислите виды резцов, используемых в станке, и каковы их особенности.
6. Напишите формулу определения скорости холостого хода ползуна.
7. Напишите формулу определения скорости рабочего хода ползуна.
8. Что включает в себя механизм установки длины хода ползуна?
9. В зависимости, от каких параметров устанавливается величина подачи стола?
10. С какой целью строгальные резцы делают изогнутыми?
11. За счет чего качество обработанной поверхности на продольно-строгальном станке выше, чем на поперечно-строгальном?
12. Напишите формулу определения машинного времени при строгании.

2.26 Лабораторная работа №26 (2 часа).

Тема: «Электронный токарный станок с ЧПУ Smart-turn 7/200 1000.»

2.261 Цель работы. Ознакомиться с основными функциями электронного токарного бстанка Smart-turn 7/200 1000 и органами управления.

2.26.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с основными функциями электронного токарного станка Smart-turn 7/200 1000.
2. Ознакомиться с органами управления электронного токарного станка Smart-turn 7/200 1000.

2.26.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Электронный токарный станок с ЧПУ Smart-turn 7/200 1000.

2.26.4 Описание (ход) работы:

Общий обзор

1 Шпиндель

Перед любым циклом обработки резанием необходимо устанавливать скорость вращения шпинделя. Если нажать на область основного экрана, отведенную для скорости вращения шпинделя, откроется соответствующий экран настроек. Для настроек шпинделя предусматриваются следующие экраны:

- (1) Экран настроек постоянной скорости вращения OFF, вкладка CSS OFF.
- (2) Экран настроек постоянной скорости вращения ON, вкладка CSS ON.

(3) Экран настроек количества передач - вкладка Gear-Number.

Примечание

Если параметры шпинделя были заданы на экране исходных параметров цикла обработки, нет необходимости указывать скорость вращения шпинделя на данном экране.

При задании параметра No.9103#5=1, если нажать кнопку управления шпинделем CW/CCW на панели управления оператора, информация о состоянии шпинделя (модальная информация ЧПУ) обновляется в соответствии с данными, сохраненными на экране настроек шпинделя. Последовательность операций должна быть следующей:

(1) Если нажать кнопку SET на экране настроек шпинделя, введенные данные будут сохранены в памяти Turn Mate i. Данные будут сохраняться в памяти Turn Mate i в качестве настроек шпинделя по умолчанию после нажатия кнопок Power OFF или RESET.

(2) Если нажать кнопку управления шпинделем CW/CCW на панели управления оператора, обновится состояние шпинделя (модальная информация ЧПУ) в соответствии с данными, сохраненными на экране настроек шпинделя.

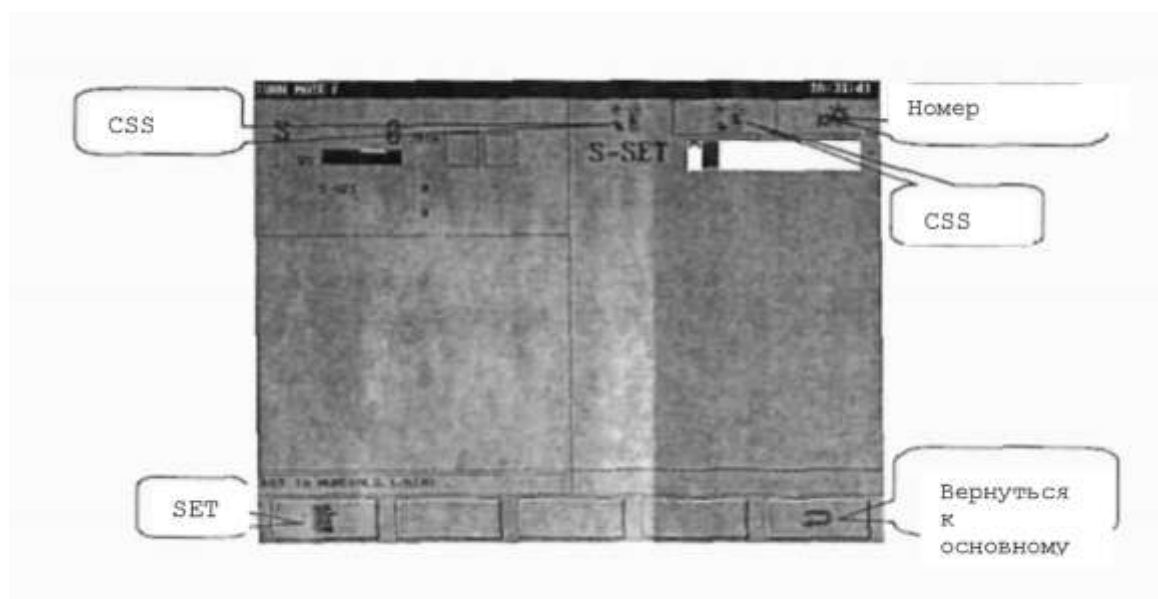
Примечание

1 Для подключения вышеуказанной функции необходимо адаптировать многозвенную программу. См. Приложение «d.5 установка скорости вращения шпинделя кнопкой cw/ccw».

2 Обратите внимание на то, что при нажатии клавиши set на экране настроек шпинделя состояние шпинделя (модальная информация чпу) напрямую не обновляется. Если нажать кнопку управления шпинделем cw/ccw на панели управления оператора, обновится состояние шпинделя (модальная информация чпу) в соответствии с данными, сохраненными в памяти turn mate i.

1.1 Функция постоянной скорости вращения отключена

Если выбрать вкладку CSS OFF, отобразится следующий экран. На этом экране скорость вращения шпинделя обозначается в об/мин.



Последовательность операций следующая:

(1) Введите в поле S-SET желаемую скорость вращения шпинделя, затем нажмите клавишу INPUT (ввод).

(В нижнем левом углу экрана появится сообщение "KEY IN NUMERALS. (/MIN)" - Введите числовое значение. (/мин.)).

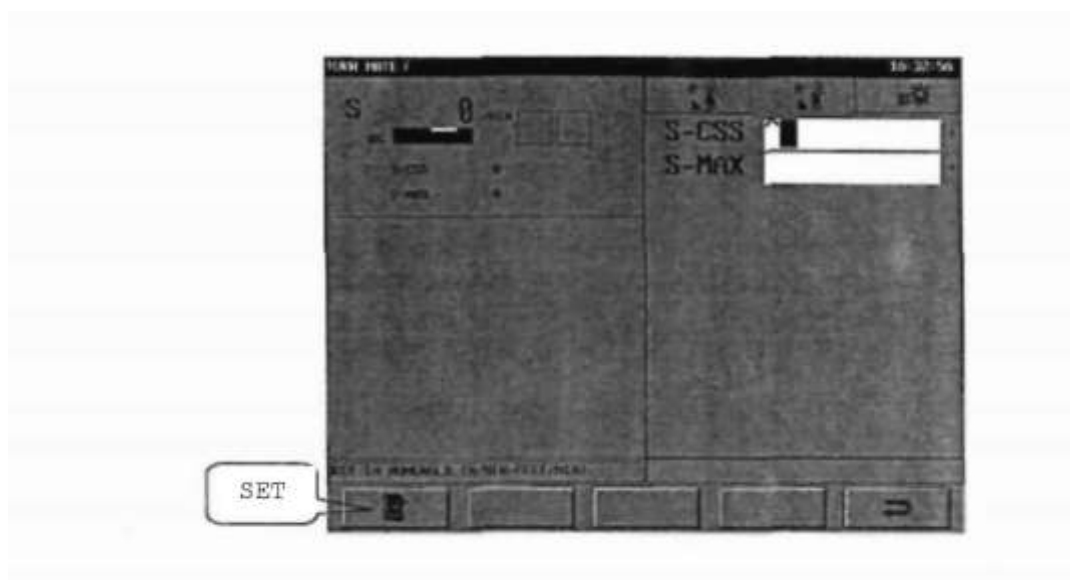
(2) Затем нажмите клавишу SET.

(3) Заданная величина в об/мин отобразится рядом с полем S-SET в верхнем левом углу экрана.

(Величина, отображаемая рядом с S, является фактической скоростью вращения шпинделя, считываемой ЧПУ).

1.2 Функция постоянной скорости вращения включена

Если выбрать вкладку CSS ON, отобразится следующий экран. На этом экране скорость вращения шпинделя обозначается в об/мин.



Последовательность операций следующая:

(1) Введите в поле S-CSS желаемую скорость вращения шпинделя, затем нажмите клавишу INPUT.

(В нижнем левом углу экрана появится сообщение "KEY IN NUMERALS. (M/MIN, FEET/MIN)" - Введите числовое значение (м/мин, футы/мин)).

(2) Введите в поле S-MAX значение максимальной скорости вращения шпинделя, затем нажмите клавишу INPUT.

(В нижнем левом углу экрана появится сообщение "KEY IN NUMERALS. (/MIN)" - Введите числовое значение (/мин.)).

(3) Затем нажмите клавишу SET.

(4) Заданная величина постоянной скорости вращения в об/мин отобразится рядом с полем S-CSS в верхнем левом углу экрана. Заданная величина максимальной скорости вращения шпинделя отобразится рядом с полем S-MAX в левом углу экрана.

(Величина, отображаемая рядом с S, является фактической скоростью вращения шпинделя, считываемой ЧПУ).

Примечание

Данные ввода для постоянной скорости вращения можно преобразовать в фут/мин переключателем параметров дюйм/метр.

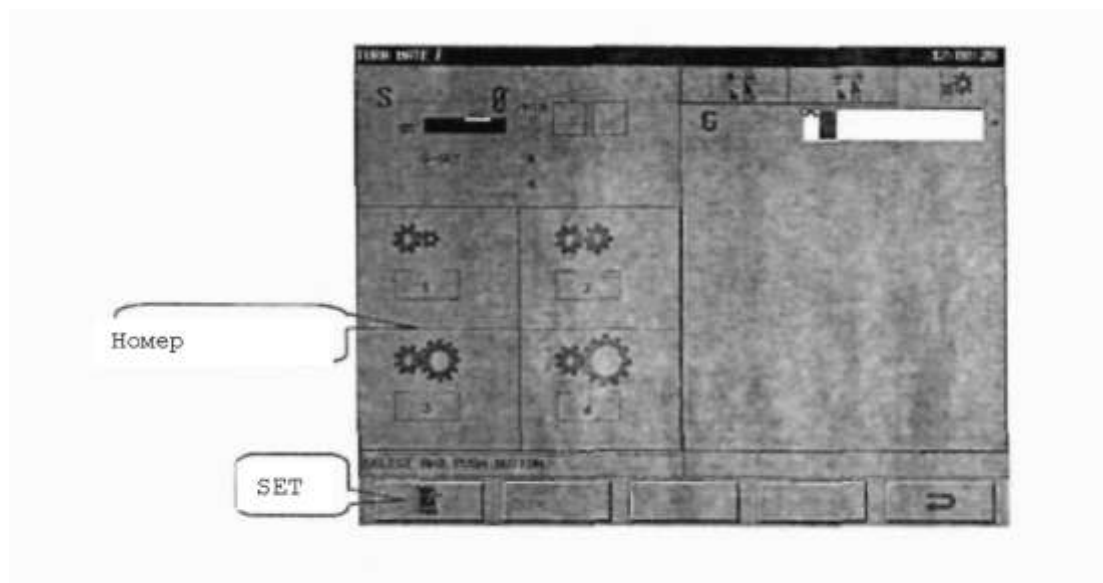
1.3 Номер передачи

Если выбрать вкладку Gear-Number (номер передачи), отобразится следующий экран.

На экране можно задать передачи с 1 по 4.

На левой стороне экрана расположены четыре кнопки со значками. Чтобы выбрать необходимый номер передачи, нужно нажать на кнопку с соответствующим значком.

Номер передачи можно также задать, введя соответствующую цифру с клавиатуры.



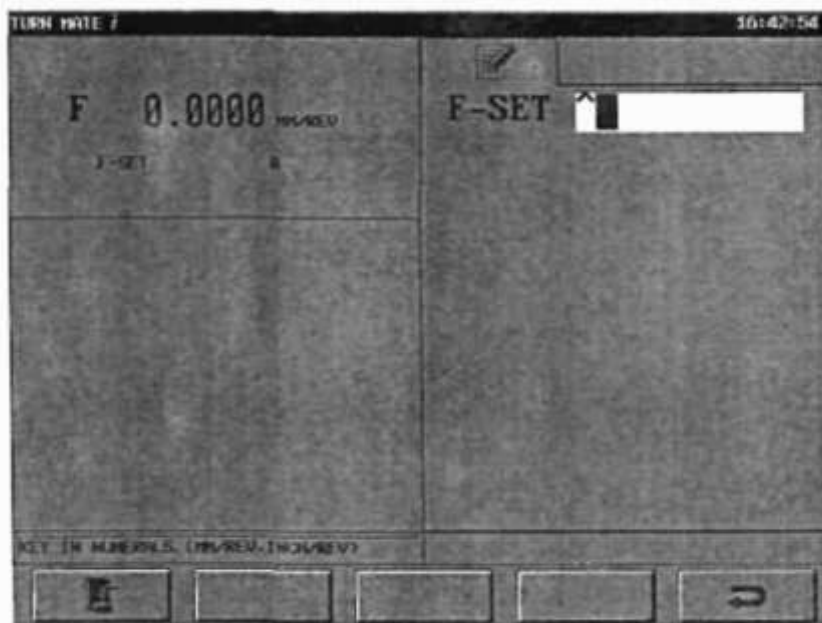
ПРИМЕЧАНИЕ

- 1 Настройка параметра No.9102#6 позволяет отобразить/убрать поле номера передачи.
- 2 Установите параметры No.9115-No.9118, указав M-код, используемый для выбора номера передачи. Соответствующий код выполняется при выборе номера передачи и нажатии клавиши *SET*.

2. Скорость подачи

Перед каждым циклом обработки необходимо задать скорость подачи. Если нажать на область скорости подачи на основном экране, отобразится экран настроек скорости подачи.

Чтобы вернуться к основному экрану, нажмите клавишу RET (возврат) в правом нижнем углу экрана.



Последовательность операций должна быть следующей:

- (1) Введите желаемую величину скорости подачи в поле F-SET, затем нажмите клавишу INPUT.
(В нижнем левом углу экрана появится сообщение "KEY IN NUMERALS. (MM/REV, INCH/REV)" - Введите числовое значение (мм/об, дюйм/об)).
- (2) Затем нажмите клавишу SET.
- (3) Заданная величина скорости подачи отобразится рядом с полем F-SET на левой стороне экрана.

Величина, отображаемая рядом с полем F, является фактической скоростью подачи, считываемой ЧПУ.

Примечание

- 1 Вводить данные скорости подачи можно в мм/об или дюйм/об.
- 2 Если скорость подачи была задана на экране исходных параметров цикла обработки, нет необходимости задавать ее на экране настроек скорости подачи.

3. Режущий инструмент

Если нажать на соответствующую область основного экрана, отобразится экран выбора режущего инструмента.

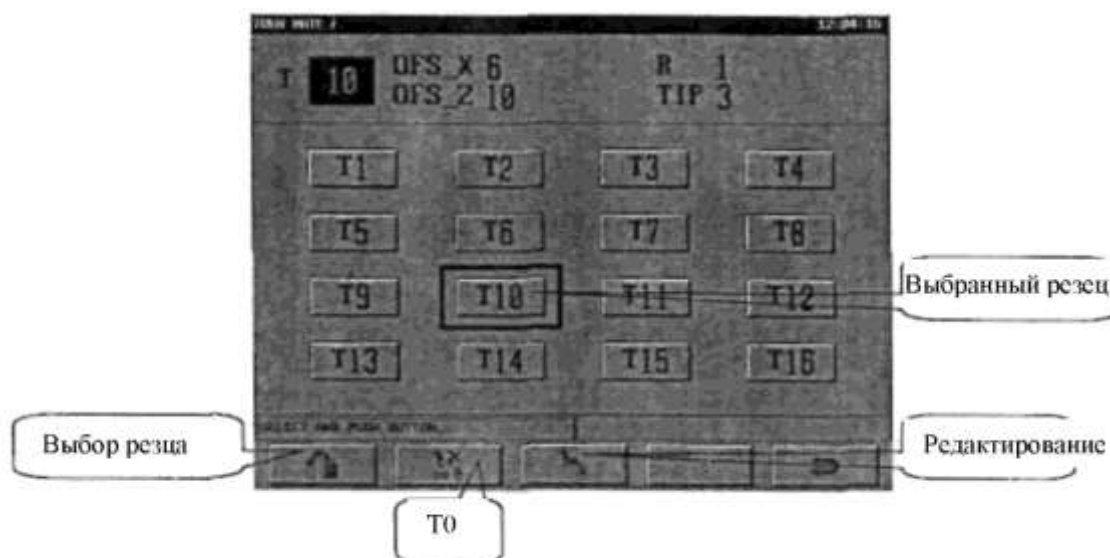
3.1 Выбор режущего инструмента

Номер выбранного резца и соответствующее значение коррекции отображаются на правой стороне экрана.

Чтобы выбрать резец, нажмите кнопку с соответствующим номером, затем нажмите клавишу SET. Номер резца сохранится в соответствующей переменной системы ЧПУ #4120.

Чтобы отредактировать параметры коррекции для выбранного резца, нажмите клавишу EDIT внизу экрана (отобразится экран настроек коррекции резца) и измените значения коррекции.

Чтобы отменить выбор резца, нажмите клавишу T0 внизу экрана. В результате этого в поле выбранного резца будет 0, значение коррекции также будет 0. Чтобы вернуться к основному экрану, нажмите клавишу RET в нижнем правом углу экрана.



Примечание

- 1 В TURN MATE *i* может быть зарегистрировано до 16 режущих инструментов (резцов).
- 2 При нажатии клавиши Tool Selection (выбор резца) функция коррекции на инструмент будет задействована в соответствии с настройками параметра No.5002.
- 3 Функция коррекции на радиус вершины резца не активируется на экране выбора резца.
- 4 Экран выбора резца отображается в соответствии с настройками параметра No.9102#7.

4. Цикл резки.

4.1 Создание цикла резки

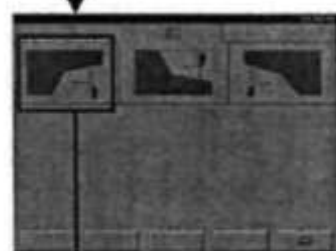
Ниже приводится последовательность операций для создания нового цикла резки.



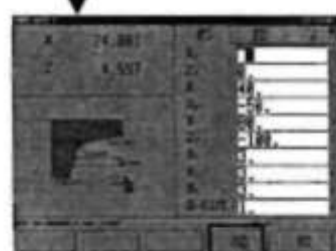
(1) Для отображения экрана выбора цикла резки нажмите на направляющий чертеж на основном экране.



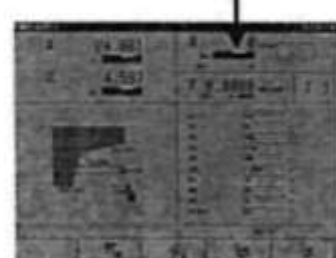
(2) Чтобы выбрать меню необходимого цикла, нажмите на соответствующий чертеж во вкладке CYCLE (ЦИКЛ).



(3) Автоматически отображается вкладка DETAIL (ДЕТАЛЬ). Чтобы выбрать необходимый цикл, нажмите на соответствующий чертеж.



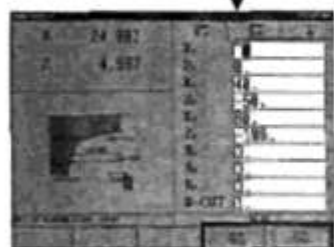
(4) Автоматически отображается экран исходных параметров. Введите необходимые параметры цикла.



(5) Чтобы сохранить данные и вернуться к основному экрану, нажмите клавишу СОХРАНИТЬ.



(1) Чтобы отобразить экран исходных параметров цикла резки, нажмите на область на основном экране, отведенную для параметров цикла.



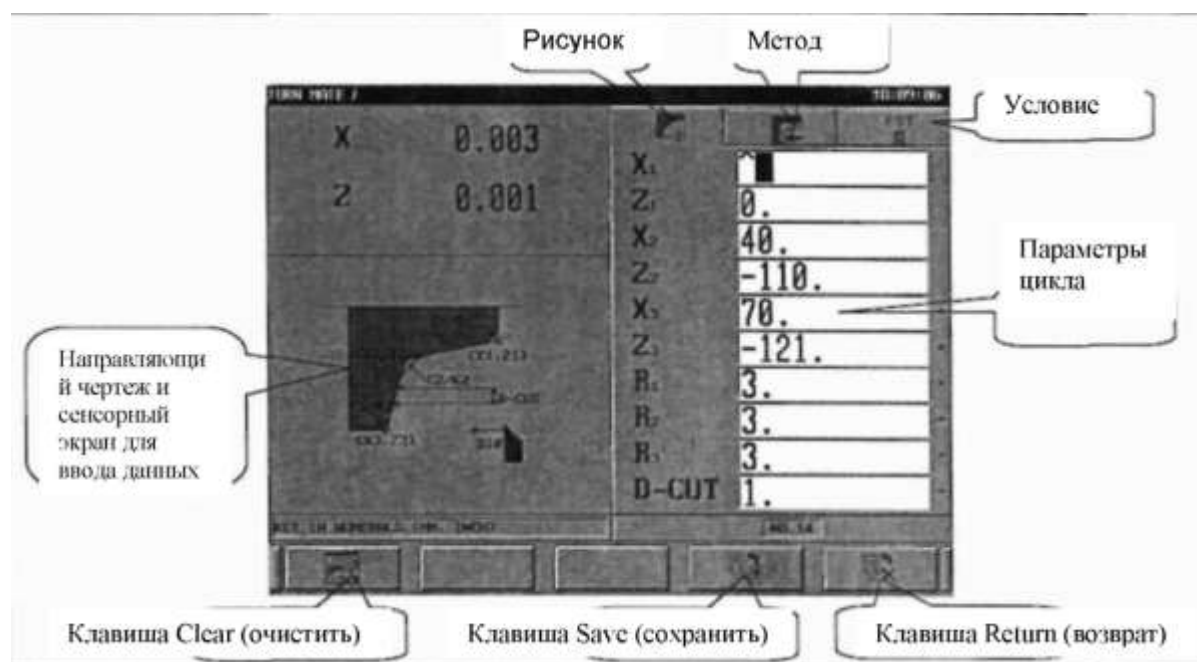
(2) Данные можно редактировать на экране исходных параметров цикла.



(3) Чтобы сохранить данные и вернуться к основному экрану, нажмите клавишу SAVE (СОХРАНИТЬ).

4.2 Экран исходных параметров цикла

Ниже приводится структура экрана исходных параметров цикла.



(1) Направляющий чертеж

В данной области экрана отображается направляющий чертеж редактируемого цикла резки. Направляющий чертеж цикла резки изменяется в зависимости от вводимых данных. Эта область также используется для ввода некоторых данных.

(2) Вкладки

Вводимые данные размещаются во вкладках Figure (рисунок), Method (метод) и Condition (условие).

(3) Параметры цикла

Параметры цикла определяют условия резки, геометрию и методы загибания разрезаемого профиля.

Знак звездочки "*", стоящий рядом с введенным параметром, означает, что данная графа данных может быть оставлена пустой.

(4) Клавиша Save (сохранить)

Чтобы сохранить данные в памяти и вернуться к основному экрану, нажмите клавишу Save.

(5) Клавиша Return (возврат)

Чтобы отменить сохранение данных и вернуться к основному экрану без сохранения данных, нажмите клавишу Return.

(6) Клавиша Clear (очистить)

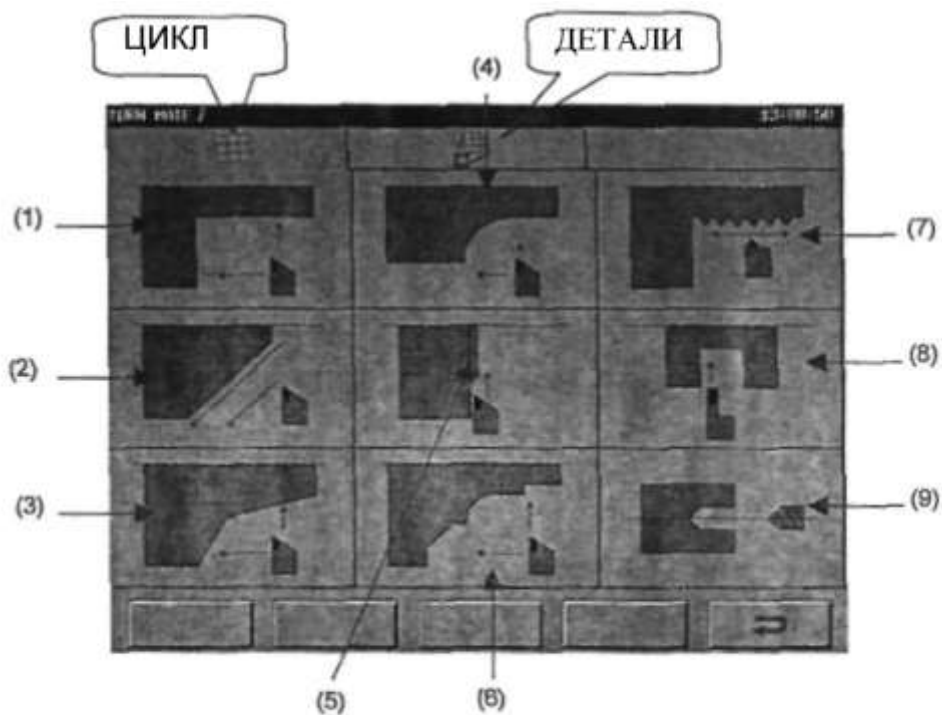
Чтобы удалить данные и вернуться к основному экрану без сохранения данных, нажмите клавишу Clear.

4.3 Типы циклов резания

Экран выбора циклов состоит из вкладки CYCLE (цикл) и вкладки DETAIL (детали).

4.3.1 Общая группа циклов резания.

Циклы резания сгруппированы в семейства циклов резания.



В пределах вкладки ЦИКЛ можно выбрать следующие семейства.

- (1) Прямоугольные циклы
- (2) Циклы фасок
- (3) Циклы конусов
- (4) Циклы радиусов
- (5) Циклы лицевых поверхностей
- (6) Циклы произвольных фигур
- (7) Циклы резьбы
- (8) Циклы канавок
- (9) Циклы отверстий

4.3.2 Детализированная группа циклов резания

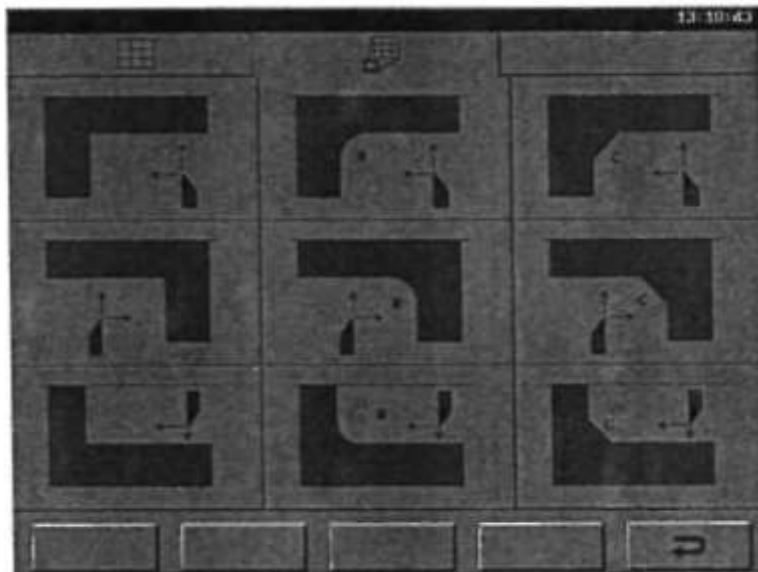
Вкладка DETAIL автоматически отображается после выбора нужного семейства циклов резания.

Приведенные ниже вкладки DETAIL отображаются в зависимости от выбора нужного семейства циклов резания.

- (1) Семейство прямоугольных циклов (девять циклов)

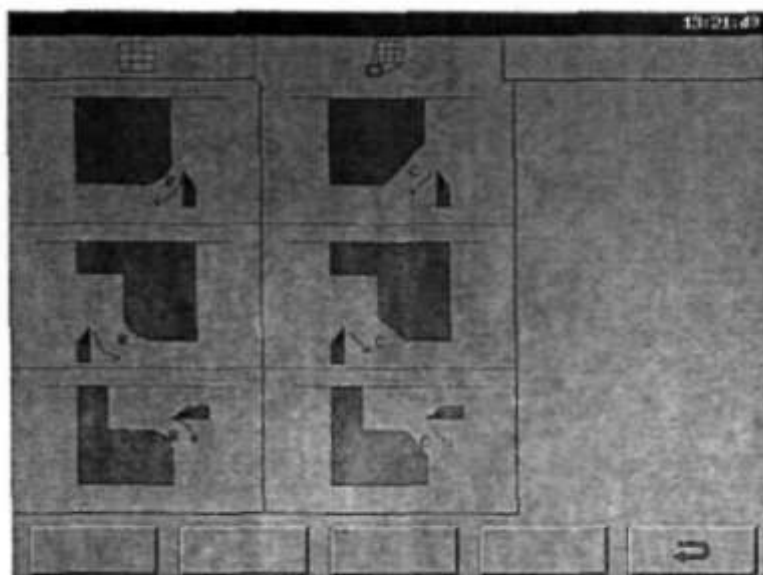
- Внешний прямоугол./ прямоугол. с R/ прямоугол. с C
- Внешний обратный прямоугол./ прямоугол. с R/ прямоугол. с C

- Внутренний прямоугол./ прямоугол. с **R7** прямоугол. с **C**



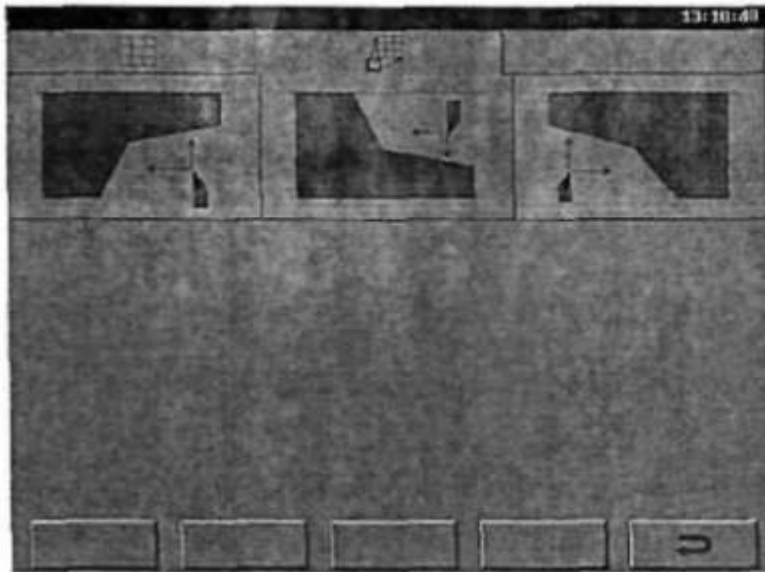
(2) Семейство циклов фасок (шесть циклов)

- Внешняя фаска с R/ фаска с C
- Внешняя обратная фаска с R/ фаска с C
- Внутренняя фаска с R/ фаска с C

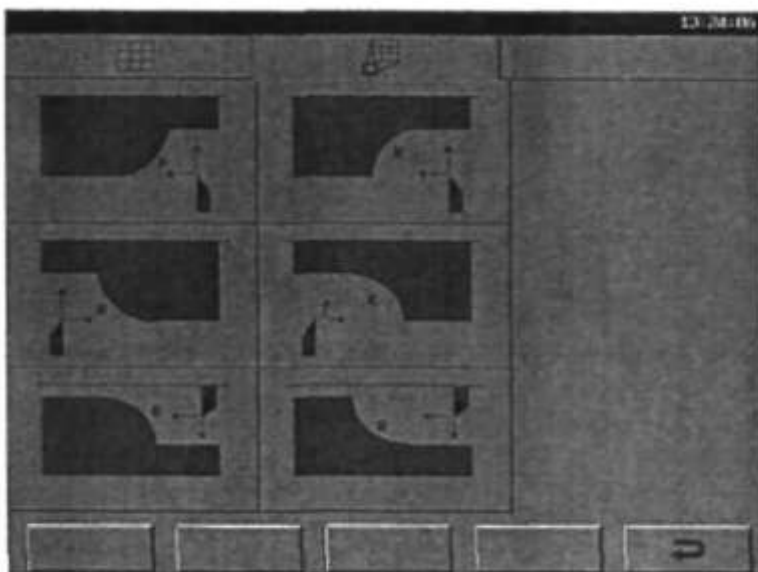


(3) Семейство циклов конусов (три цикла)

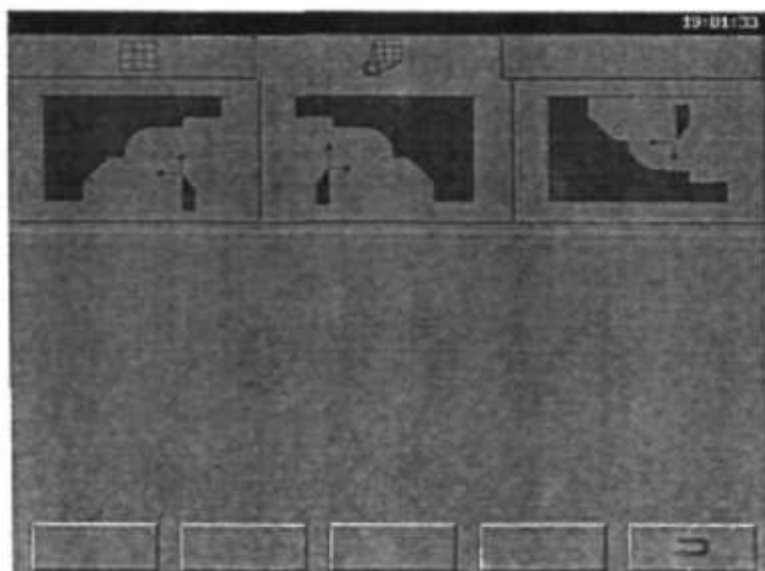
- Внешний конус
- Внутренний конус
- Внешний обратный конус



- (4) Семейство циклов радиусов (шесть циклов)
- Выпуклый/вогнутый внешний радиус
 - Выпуклый/вогнутый внешний обратный радиус
 - Выпуклый/вогнутый внутренний радиус

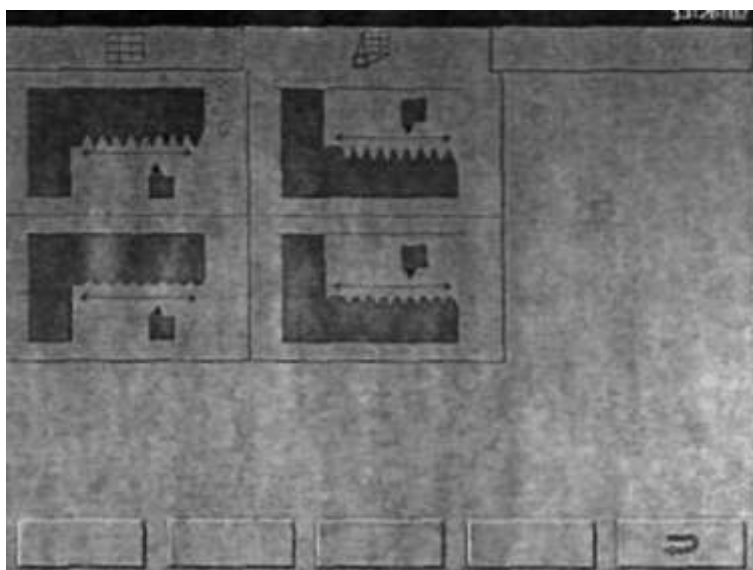


- (5) Семейство циклов произвольных рисунков (три цикла)
- Внешний произвольный рисунок
 - Внешний произвольный рисунок
 - Внутренний произвольный рисунок



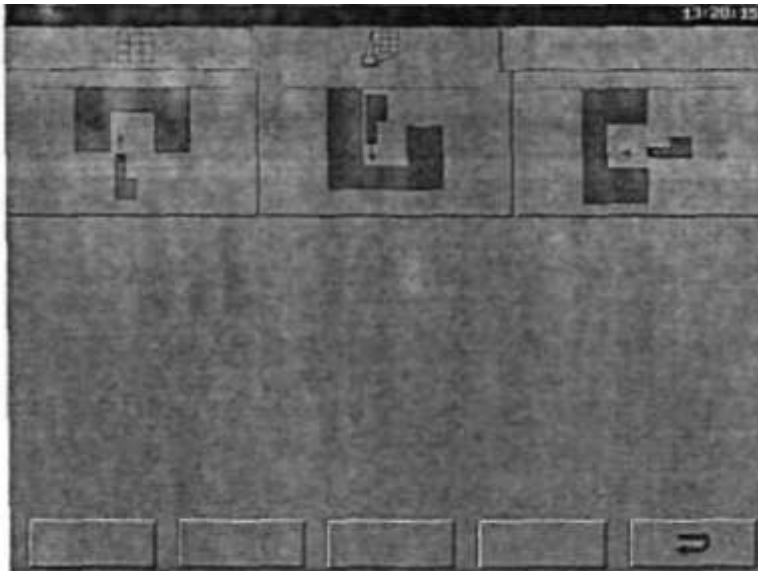
(6) Семейство циклов резьбы (три цикла)

- Внешняя резьба
- Внутренняя резьба
- Восстановление внешней резьбы
- Восстановление внутренней резьбы



(7) Семейство циклов канавок (три цикла)

- Внешняя канавка
- Внутренняя канавка
- Лицевая канавка



(8) Семейство циклов отверстий (два цикла)

- Цикл сверла
- Цикл зенкера

Порядок выполнения работы

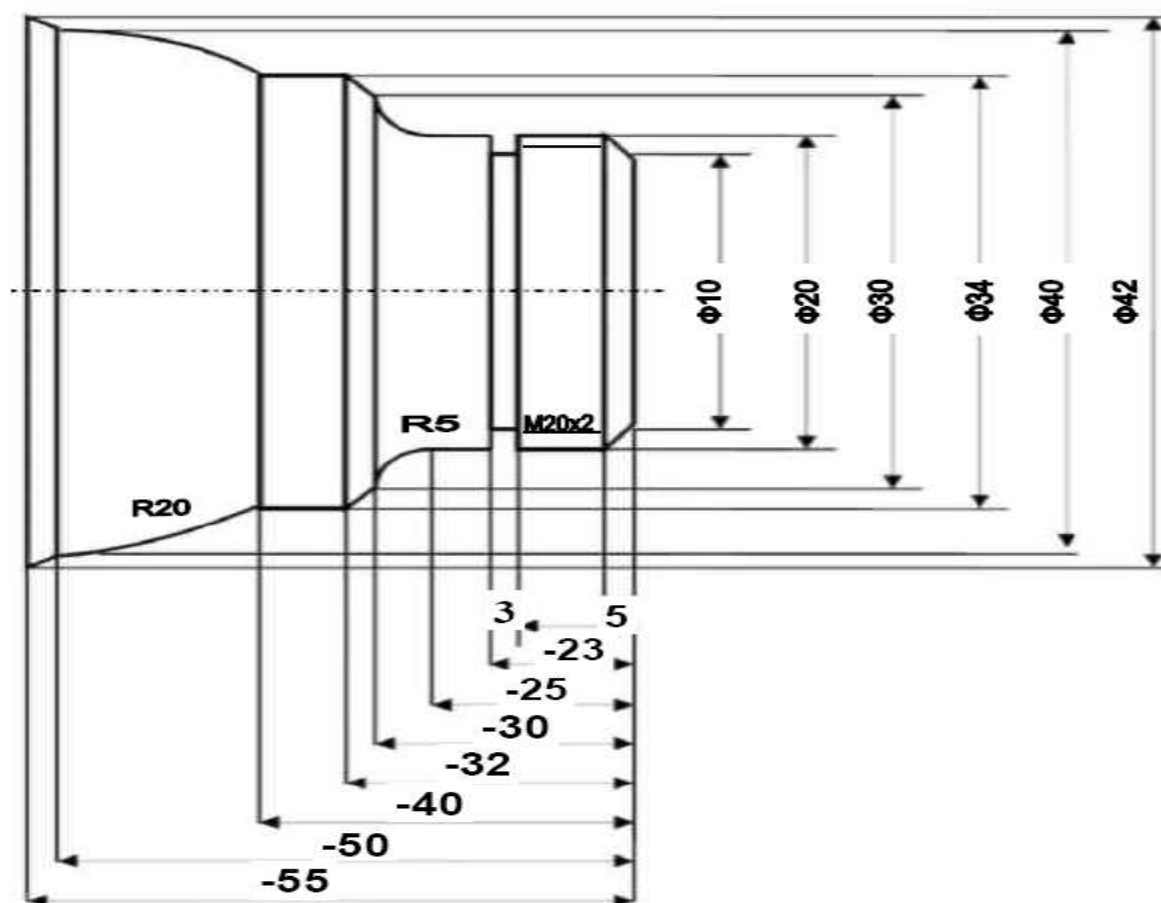
Как создать программу обработки?

Для примера создания программы токарной обработки рассмотрим данную деталь, в которой будут применены различные циклы токарной обработки:

- обработка сложного контура,
- обработка наружного радиуса
- обработка внутреннего радиуса
- точение канавки
- нарезание метрической резьбы

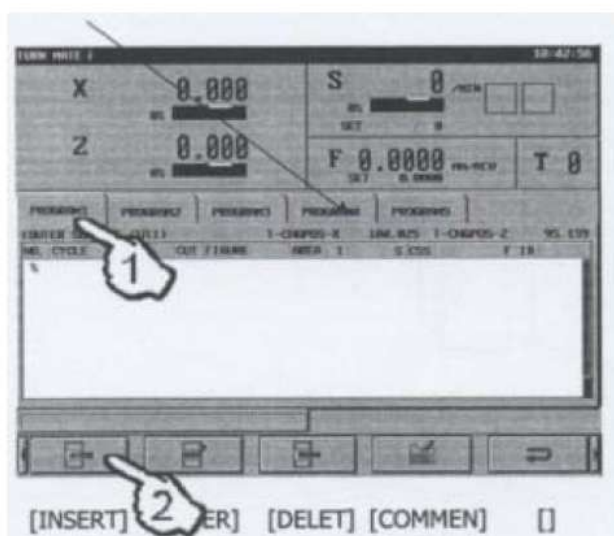
Данная деталь является тестовой и предназначена только для получения начальных навыков в программировании токарной обработки.

При программировании обращайтесь чаще к данному эскизу, что бы понять и запомнить, почему в окно блока вносится именно это значение.



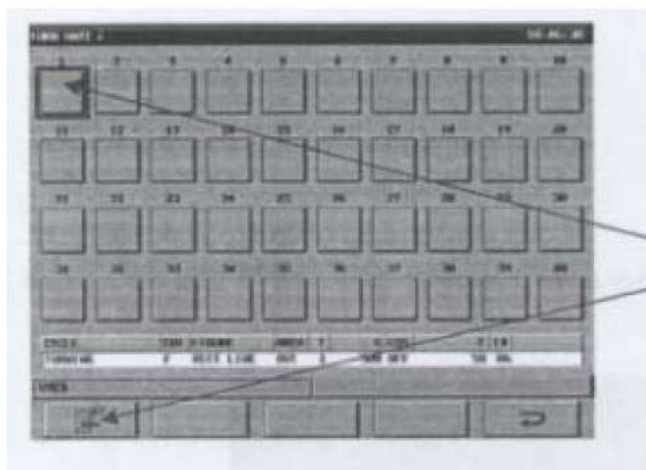
Дальше следуйте, поэтапно и программируйте блок за блоком токарной обработки сохраняя и соединяя их в одну программу.

Здесь есть 5 закладок, куда можно сохранить 5 программ



1) Выберите пустую закладку

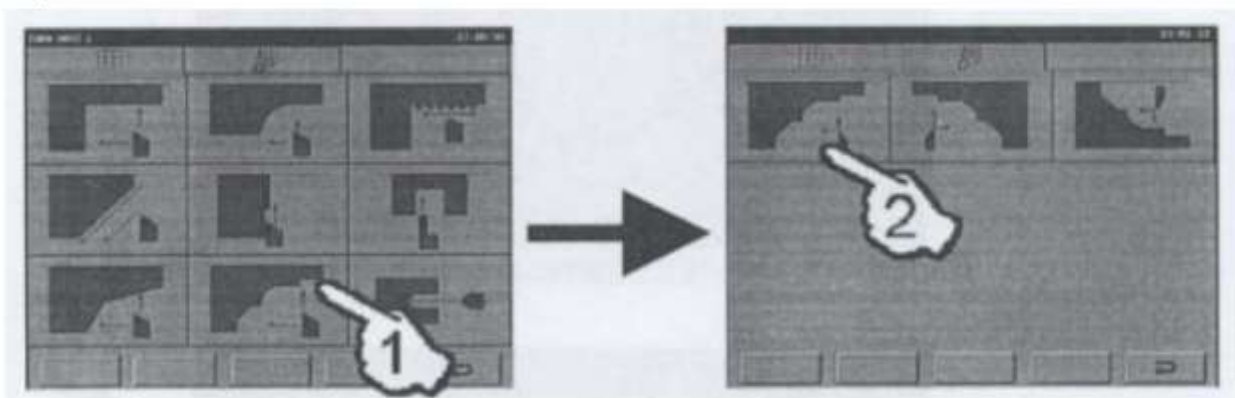
2) Нажмите сенсорную кнопку [INSERT], чтобы добавить первый цикл



На следующем экране выберите пустую ячейку цикла и нажмите [INSERT]

Цикл обработки произвольной фигуры

Далее мы автоматически попадаем в следующее меню, в котором мы выбираем необходимый нам цикл обработки:

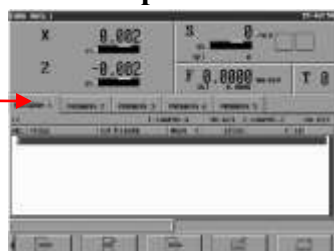


1) Выберите цикл обработки произвольной фигуры

2) Выберите крайний левый тип наружной обработки произвольной фигуры

Порядок работы в диалоговом режиме.

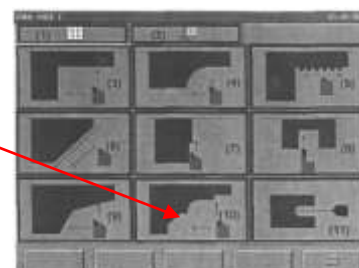
1. Выберите чистый лист программы



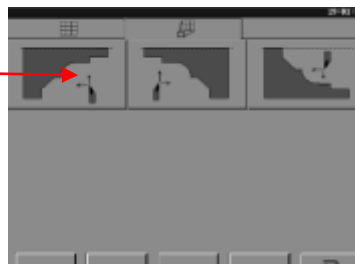
2. Далее экран перейдет в экран блоков. Выберите свободный блок. Перейдите к типу обработки



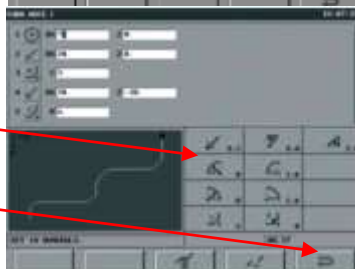
3. Экран переключится на типы обработки. Выберите (например) блок контурной обработки



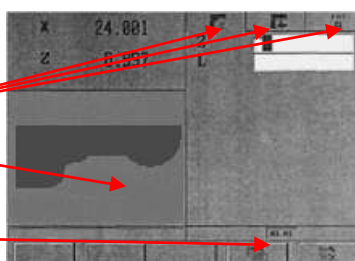
Выбрать (например) наружную левую контурную обработку



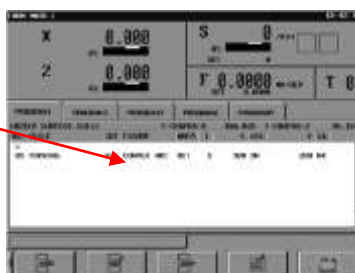
Создайте рисунок обработки по принципу от точки до точки, используя клавиши (прямая, радиус, фаска, угол и пр.).



После создания сохраните и экран переключится в режим, где можно увидеть контур созданной вами детали.



Заполните режимы обработки: подача, глубина съема за проход, обороты, скорость резания, припуск на чистовой проход и пр., переключая верхние экранные клавиши. Заполнив все режимы перейдите с сохранением блока в программу



Данный блок будет записан в программу

Далее можно включить шпиндель, нажать кнопку «start» и начать обработку.

Система позволяет создать в одной программе до 40 блоков различной обработки, которые будут выполняться последовательно в автоматическом режиме.