

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

Кафедра «Технический сервис»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.03 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ

Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Профиль подготовки "Безопасность жизнедеятельности в техносфере"

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Конспект лекций	3
	Лекция 1 (Л-1) Введение. Строение металлов. Пластическая деформация.	3
	Лекция 2 (Л-2) Термическая обработка стали.	17
	Лекция 3 (Л-3) Основы литейного производства и обработка металлов давлением.	23
2.	Методические указания по выполнению лабораторных работ	27
	ЛР-1 Измерение твердости металлов.	27
	ЛР-2 Микроанализ металлов и сплавов.	38
	ЛР-3 Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe ₃ C	42

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1(2 часа).

Тема: «Введение. Строение металлов. Пластическая деформация

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 материаловедения 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.

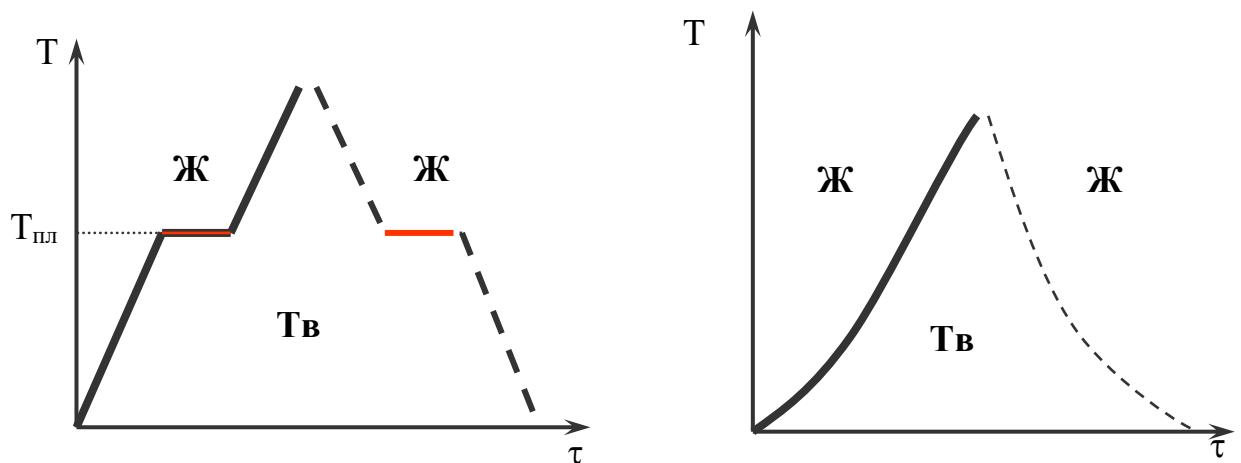


Рис. 1. Температурные кривые кристаллического и аморфного вещества

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.

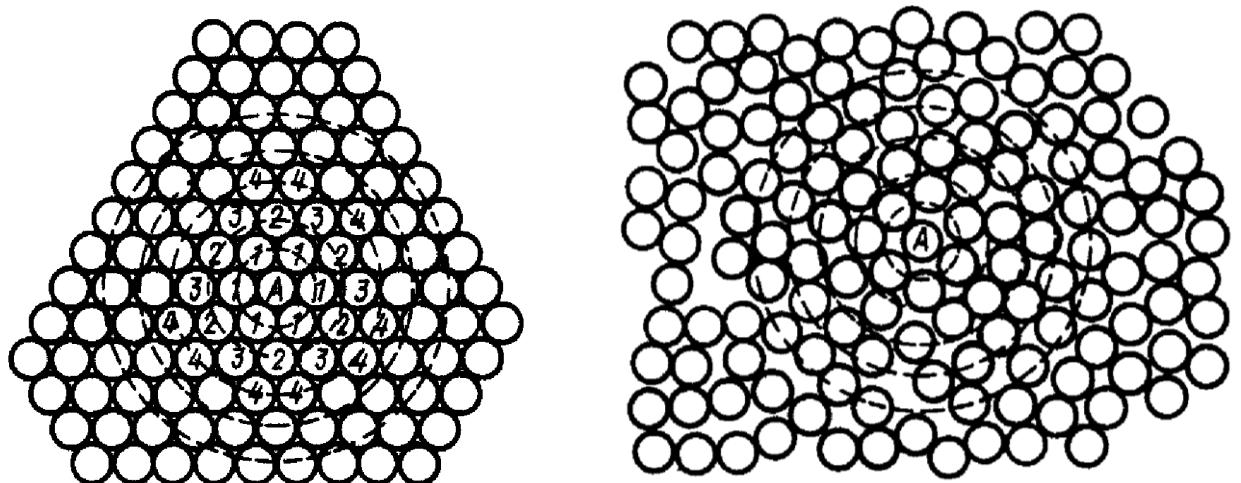


Рис.2. Дальний и ближний порядок расположения атомов

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. *struktura* – 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 (Х 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.

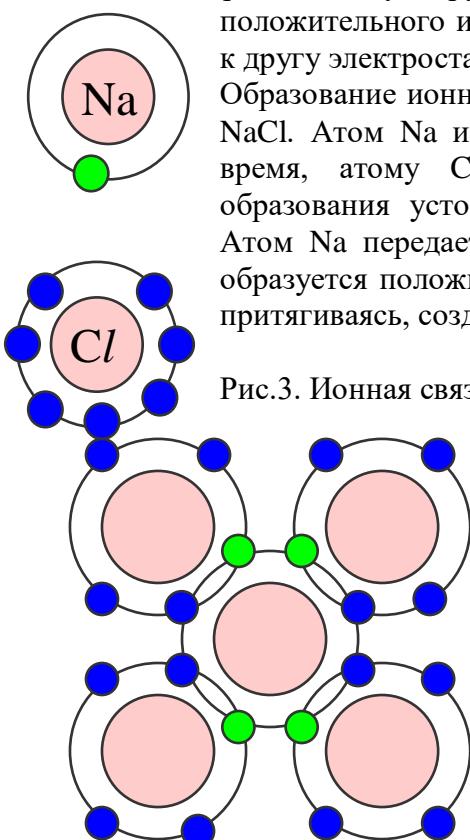


Рис.3. Ионная связь атомов

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

Ковалентный тип связи осуществляется обобществлением (объединением) валентных электронов соседних атомов. Типичным телом с такой связью является алмаз, состоящий из атомов углерода с четырьмя валентными электронами. При сильном сближении атомов степень перекрытия электронных оболочек и частота обмена электронов местами увеличиваются настолько, что перестает существовать система из самостоятельных атомов. Причем электронное облако как бы стягивает ядра, стремясь максимально

Рис.4. Ковалентная связь

приблизить их друг к другу.

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

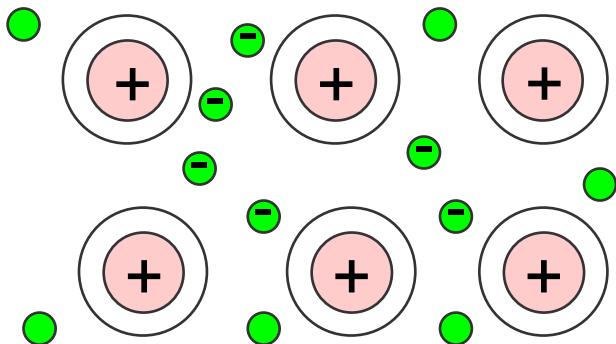


Рис. 5. Металлическая связь

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.

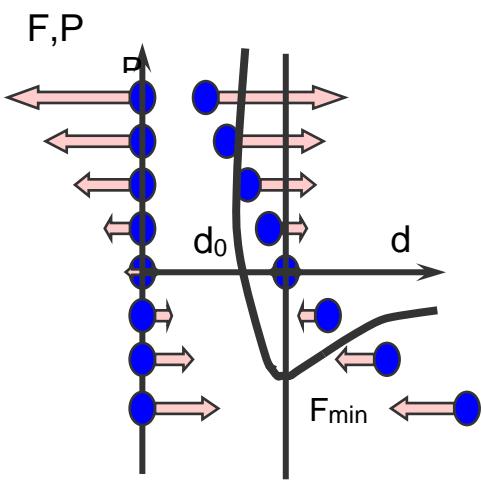


Рис.6. Взаимодействие межатомных сил

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 уравновешиваются, 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,

$$\text{Н/мм}^2(\text{МПа}) \quad \sigma = \frac{P}{F},$$

относительное удлинение – отношение абсолютного удлинения к начальной длине

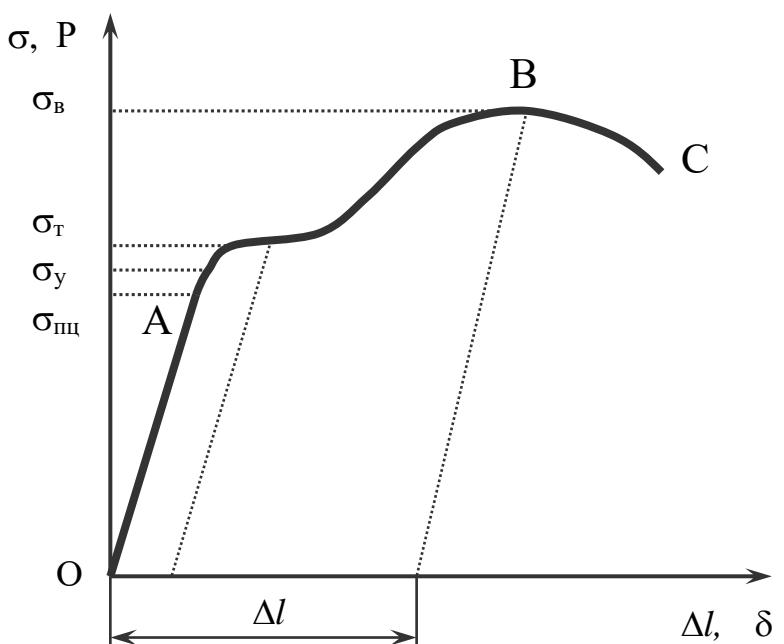


Рис. 7. Диаграмма растяжения

расчетной части образца $\delta = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \cdot 100$, %.

Пределом прочности (временным сопротивлением) называется напряжение, отвечающее

наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$.

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 см³.

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.

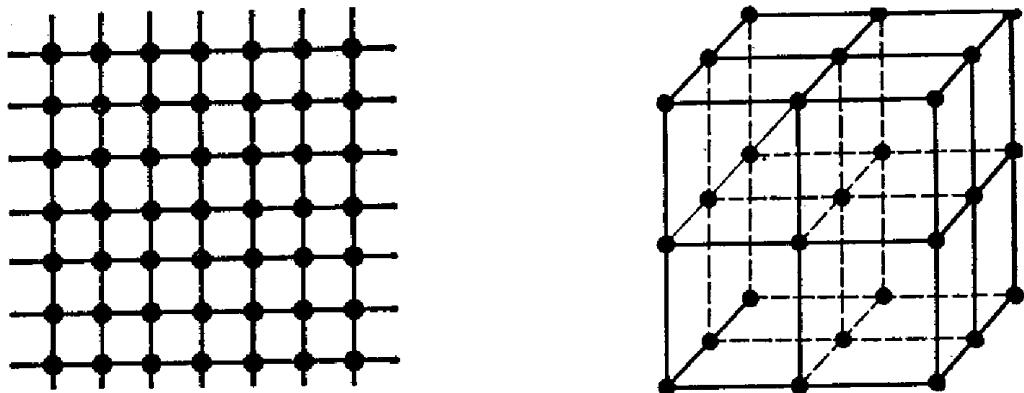


Рис.8. Плоскостная и объемная кристаллические решетки

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 определят форму решетки. Кроме того, для характеристики кристаллической решетки вводят следующие величины: атомный радиус, базис, координационное число и коэффициент компактности.

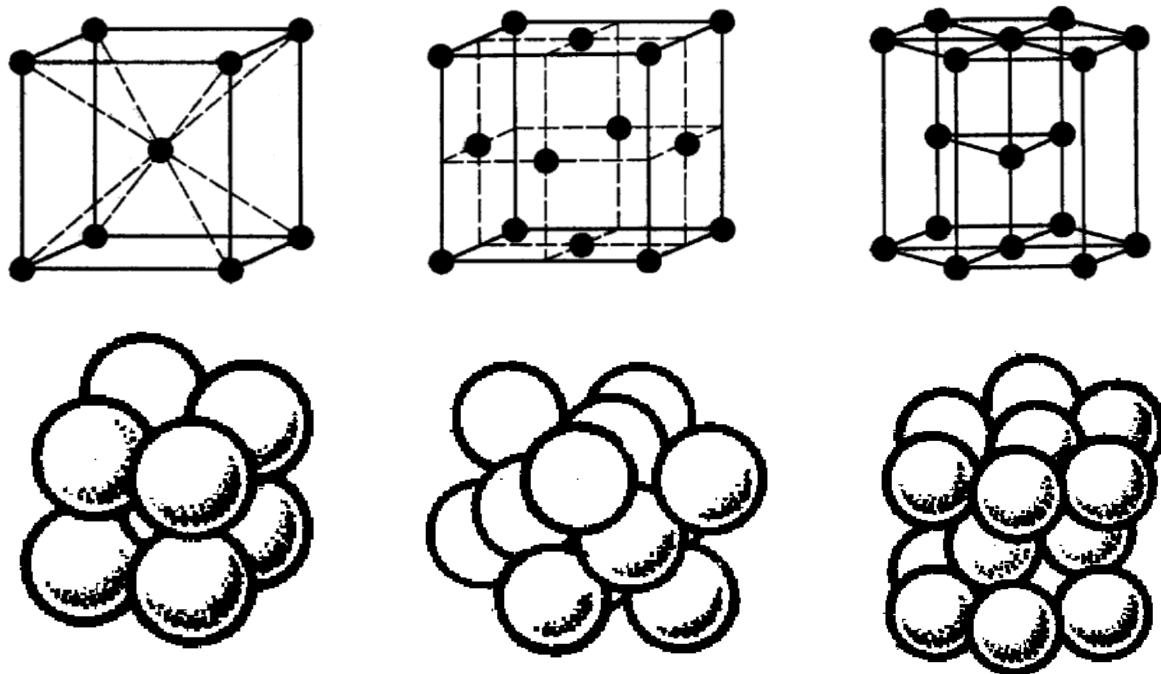


Рис.9. Элементарные ячейки

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.

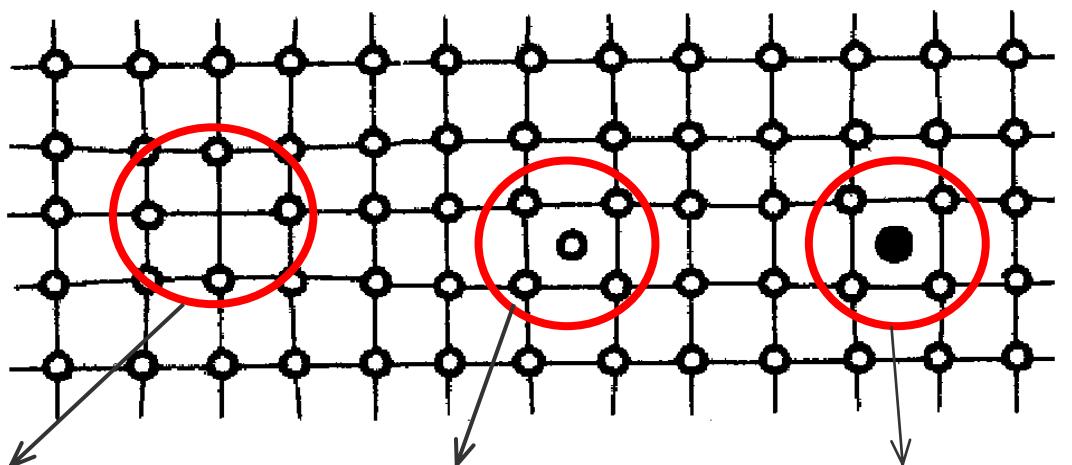


Рис.10. Точечные дефекты решетки

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.

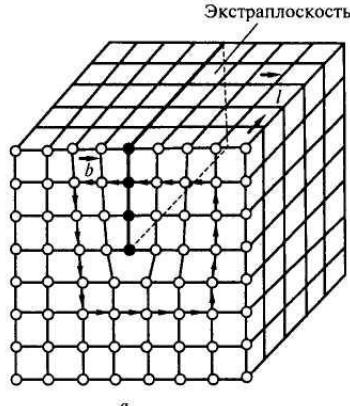


Рис. 11. Краевая дислокация

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.

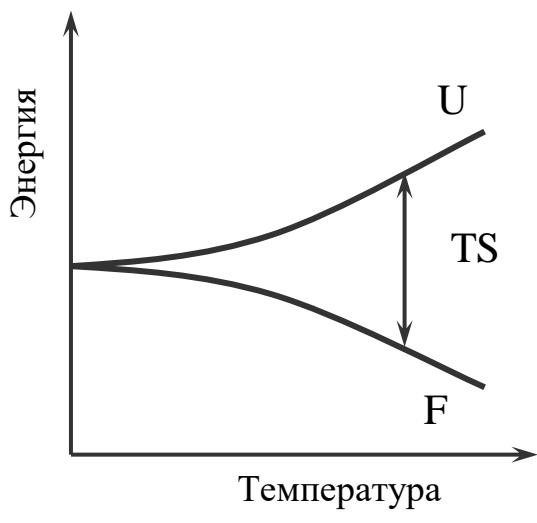


Рис. 12. Зависимость энергии вещества от температуры

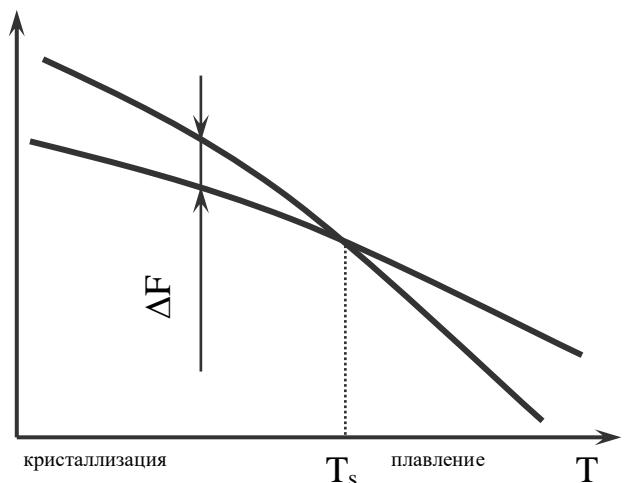


Рис. 13. Зависимости свободной энергии твердого и жидкого состояний

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 обусловливает их существование – *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 флюктуации (отклонения значения величины от среднего значения), и не каждый зародыш способен к дальнейшему росту. Если энергия флюктуации 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 осами первого порядка. По мере роста кристалла на осах 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 осами дендритов.

Дендриты растут до тех пор, пока не соприкоснутся друг с другом. После этого окончательно заполняются межкосные 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)

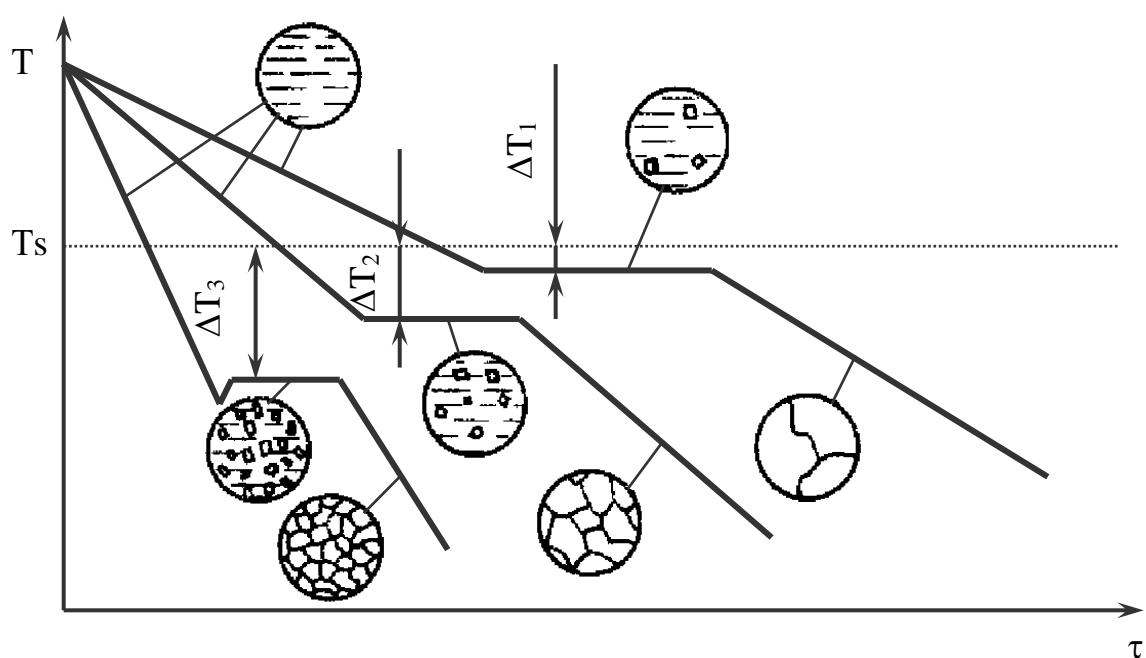


Рис.15. Зависимость размера зерна от переохлаждения

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. Этую операцию называют *модификацией*, 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.

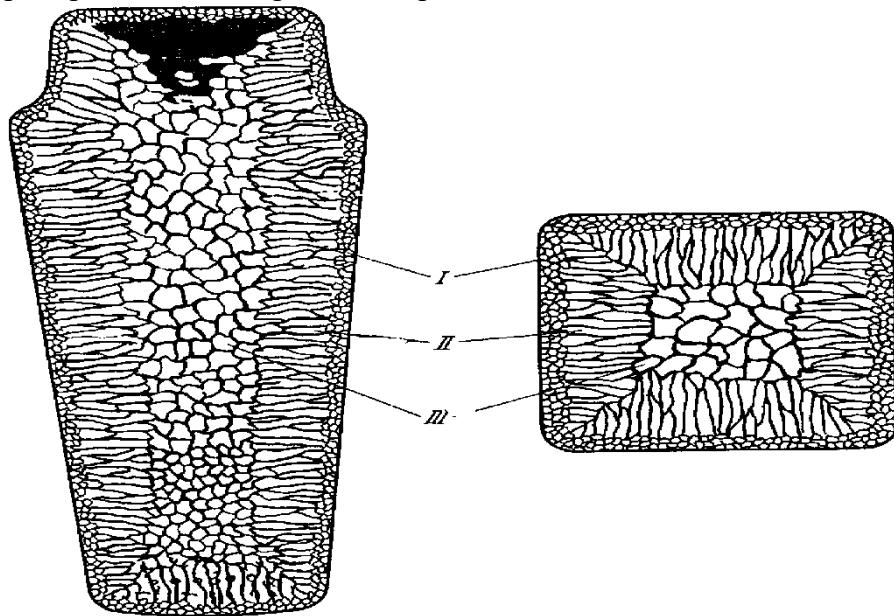


Рис. 16. Схема строения слитка

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 зародышами обычно являются различные мелкие твердые частицы и кристаллы растут примерно одинаково во все стороны.

1.6 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 нарушаются 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

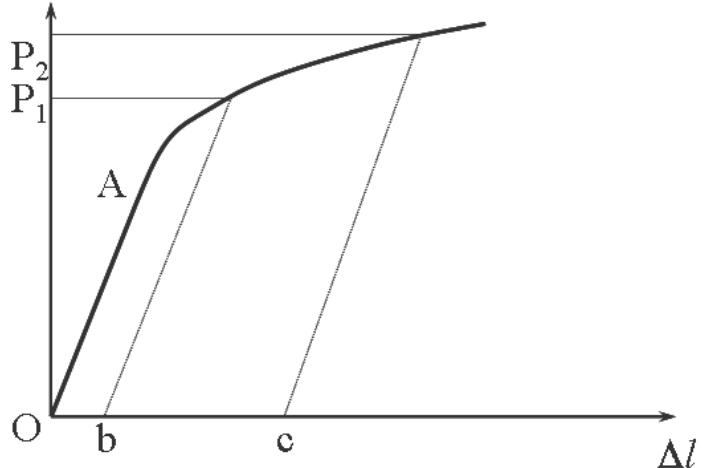


Рис. 1. Диаграмма растяжения

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 τ_{kp} .

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 двойникование представляет собой перестройку части кристалла в новое положение, зеркально симметричное к его недеформированной части. Плоскость зеркальной симметрии называют плоскостью двойникования.

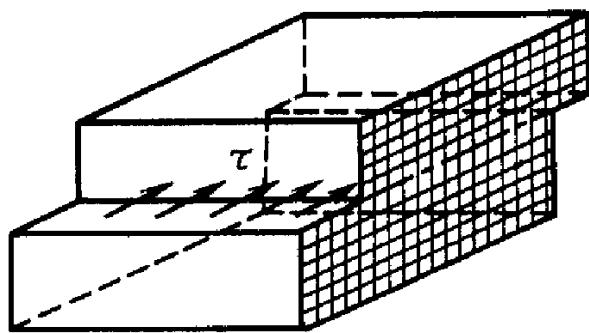


Рис. 2. Схема деформации сдвигом

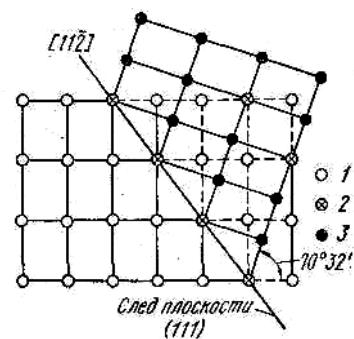


Рис. 3. Деформация двойникование

Рассмотрим механизм пластического сдвига в монокристалле.

Можно предположить, что под действием некоторого касательного напряжения τ все атомы части кристалла с идеальной решеткой выше плоскости A-A смещаются одновременно (рис. 4). В 20-е годы XXв. Френкелем Я.И. были выполнены теоретические изыскания по расчету критического касательного напряжения $\tau_{\text{тек}}$ 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.

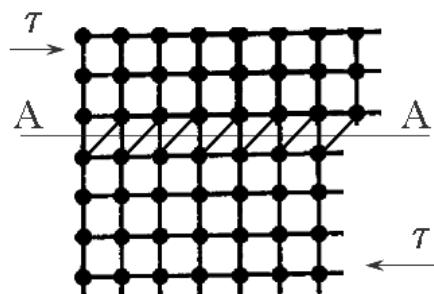


Рис. 4. Схема деформации идеального кристалла

Рассмотрим теперь дислокационный механизм пластической деформации (рис. 5)

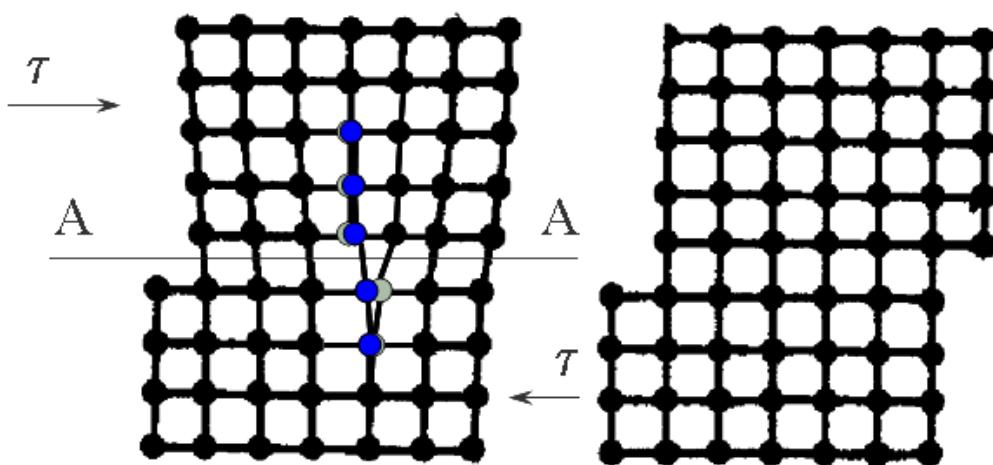


Рис. 5. Схема дислокационной деформации

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. Одинга, зависимость между прочностью металла и плотностью дислокаций может быть представлена гиперболической функцией (рис. 6).

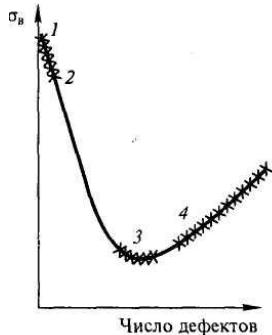


Рис. 6. Зависимость прочности металла от плотности дислокаций

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, возрастают плотность дислокаций. При значительных деформациях образуется волокнистая структура материала, где границы зерен различаются с трудом (рис. 7).

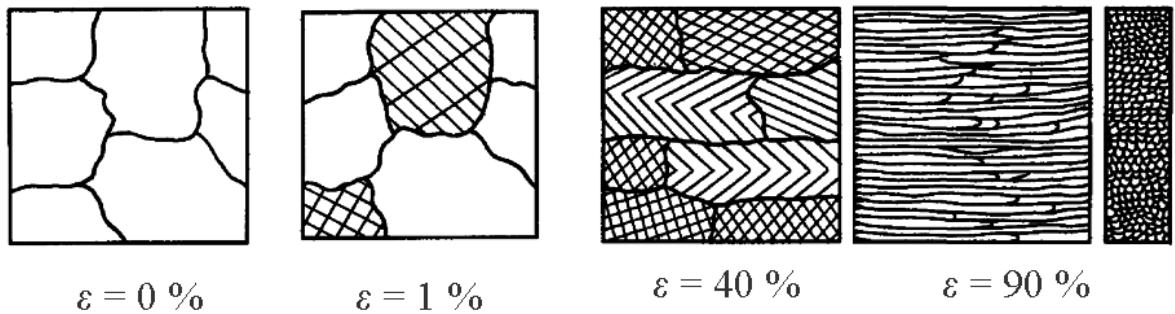


Рис. 7. Микроструктура деформированного металла

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

Лекция 2 (2 часа)

Тема: Термическая обработка стали. (2 часа)

1.1.1 Вопросы лекции:

- Образование аустенита и рост его зерна
- 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.

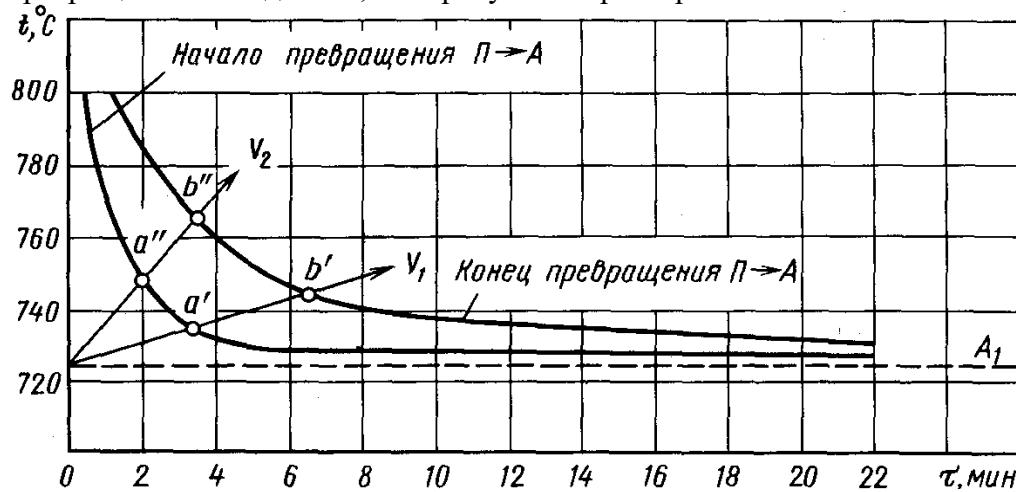


Рис. 2. Превращения перлита (P) в аустенит (A) при постоянной температуре

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 °C превращение перлита в аустенит завершится за 2 мин, а при 740 °C — 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 $T \approx 1000^{\circ}\text{C}$, 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.

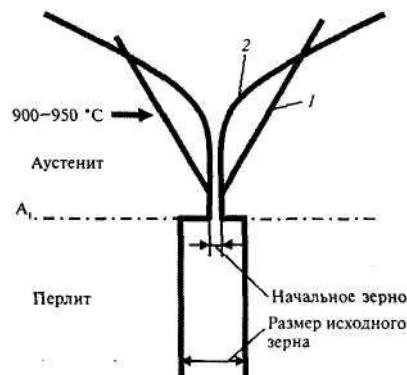


Рис.3. Схема роста зерна различных видов стали:

- 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 $\text{AlN}, \text{Al}_2\text{O}_3$ 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 ($\text{HB}, \sigma_b, \delta$), 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 $^{\circ}\text{C}$. Это явление принято называть *перегревом стали*.

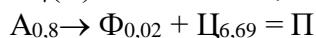
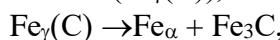
Перегретая сталь характеризуется крупнокристаллическим изломом. При охлаждении перегретой стали нередко часть феррита (цементита), благодаря диффузии углерода в условиях высоких температур, обеспечивает рост соответствующих (ферритных или цементитных) зерен в виде правильных, оригинально расположенных 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 $F_A = F_\Pi$ 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 A_1 (727 $^{\circ}\text{C}$) и ниже 200 $^{\circ}\text{C}$ скорость превращения равна нулю; в зоне 550 $^{\circ}\text{C}$ 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.

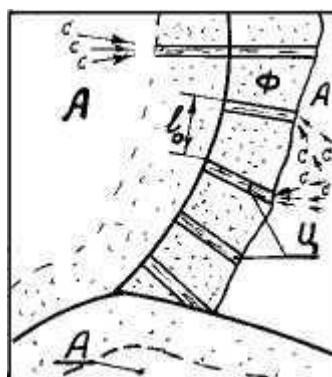


Рис. 4. Механизм перлитного превращения

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 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ получается *перлит* ($l_0 = 0,6\text{--}1,0\text{ мкм}$), твердость которого НВ 180-200. При температуре $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется более мелкая ферритно-цементитная смесь, которая получила название *корбита* ($l_0 \approx 0,3\text{ мкм}$), НВ 250-330. При температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется *тройстит* ($l_0 \approx 0,1\text{ мкм}$), НВ 330-400.

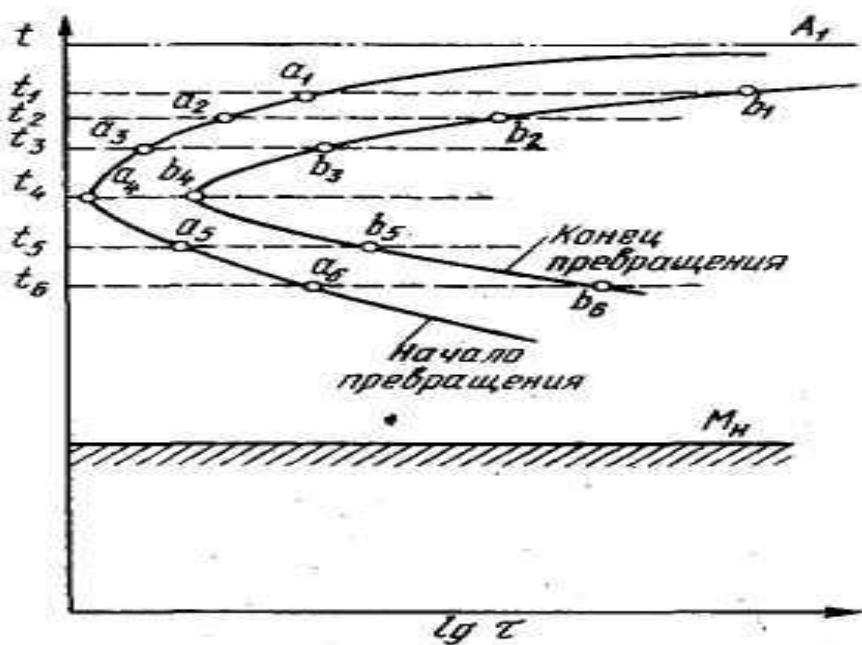


Рис. 5. Диаграмма изотермического распада аустенита

Таким образом, при разных температурах превращений получаются структуры одинакового состава (Ф + Ц), 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:



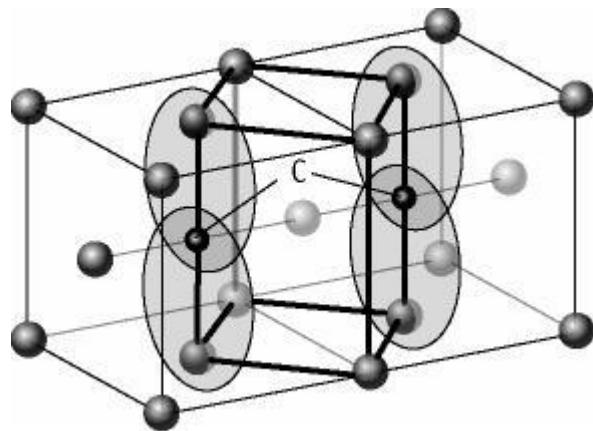


Рис.6. Схема распада ячеек аустенита на мартенсит

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 дислокаций 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 120^0), т.к. мартенсит образуется по определенным кристаллографическим плоскостям в аустените. Такое ориентированное превращение – сдвиг, смещение какого-то объема с одновременным $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращением требует напряженного состояния структуры.

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

Начавшись в какой-то точке M_h 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_h 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 мицелия.

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 неразличимо под микроскопом при обычных увеличениях (x 500-600) и мартенсит называют бесструктурным или скрытокристаллическим (правильно закаленная сталь) (рис.7).

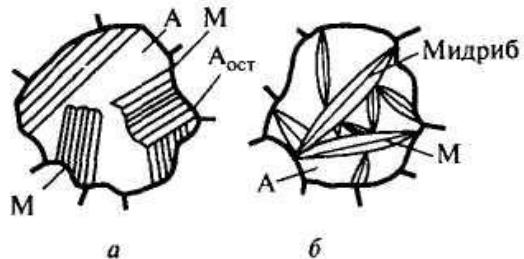


Рис.7. Мартенсит реечный и игольчатый

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_h 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_h 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 ($\approx HB 500 - 550$ 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 $v_2 - v_3$ получаются более мелкие ферритно-цементитные смеси: сорбит и троостит

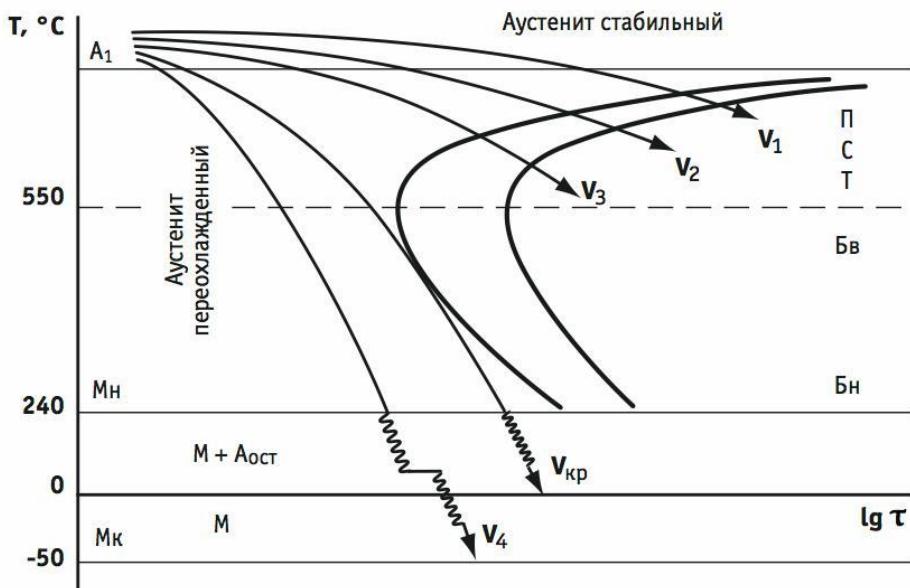


Рис.8. Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении

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

От скорости $v_{\text{кр}}$ (критической) весь аустенит переохлаждается до M_h , ферритно-цементитной смеси не образуется, образуется мартенсит. *Бейнит при непрерывном охлаждении углеродистой стали не образуется. Его получают при температуре 300-400 $^\circ\text{C}$ изотермически.*

Лекция 3. (2 часа)

Тема: Основы литейного производства и обработка металлов давлением

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. *techne* – 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 (стойка, 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* ($0,5 - 3^{\circ}$). 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 – бруск трапециевидного или другого сечения;
- литники – бруски 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, е) 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° , 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 механизирует 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, встрихиванием, 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 оборотная 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 $^{\circ}C$ 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 припывов 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 $^{\circ}C$.

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.

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 твердомеров Бринелля и Роквелла.
2. Определить твердость металлических образцов.
3. Составить отчет.

возможности

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.

Такими 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 отскакивания 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 Р вдавливается в испытуемый объект (деталь, заготовку, образец).

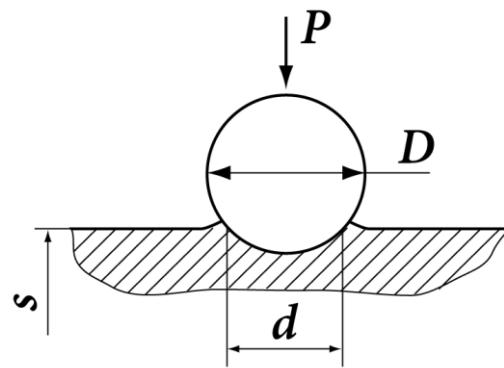


Рис. 1. Схема испытания на твердость по методу Бринелля

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

$$P = k \cdot D^2, \text{ кг } [F, \text{kH}]$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Таблица 2. К выбору значений k и τ

Материал	k	$\tau, \text{ с}$
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.

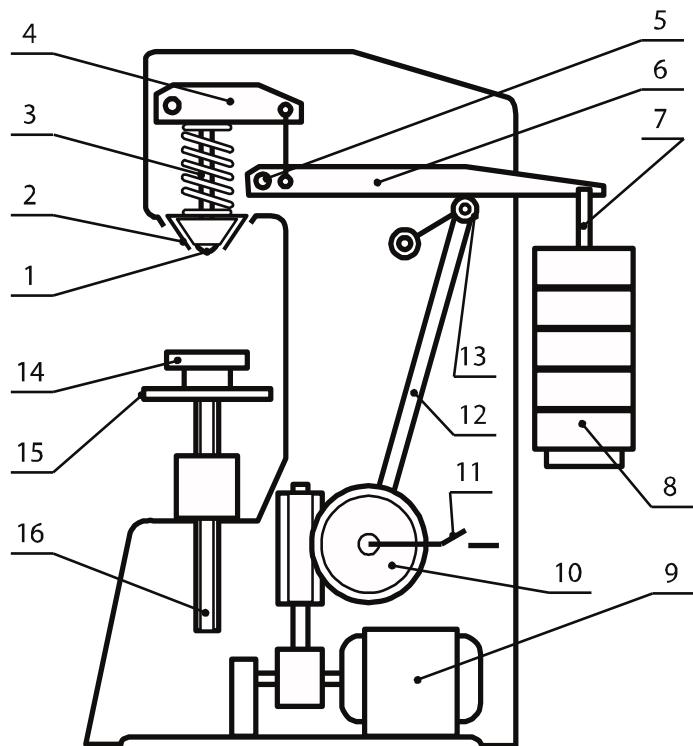


Рис. 2. Схема твердомера Бринелля

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 шпиндель 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

Расстояния

Твердость образца	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.

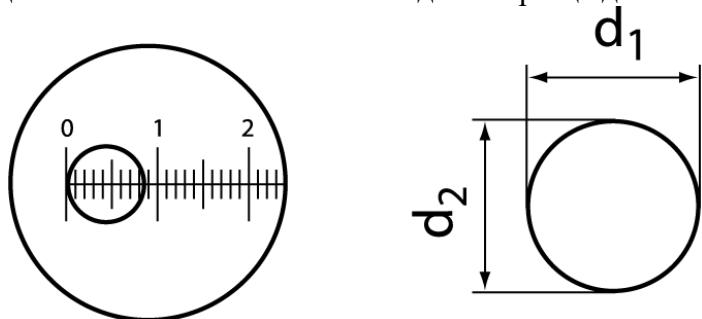


Рис. 3. Схема измерения диаметра отпечатка с помощью лупы

Твердость по Бринеллю (HB – HartBrinell) 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, HB 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 HB 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.).

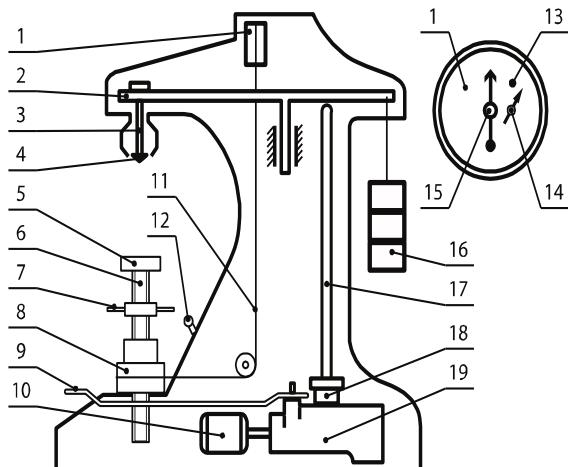


Рис. 4. Схема твердомера Роквелла

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 нагрузку 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 $P_d = P - P_0$.

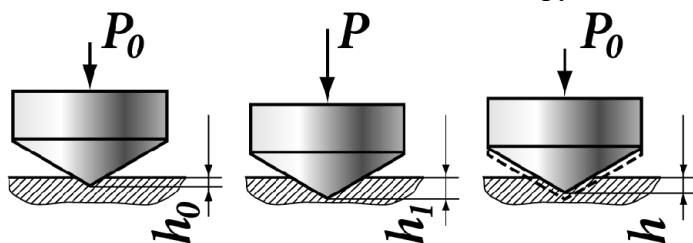


Рис. 5. Последовательность нагружения индентора при замере твердости по Роквеллу

Единице шкалы Роквелла соответствует перемещение наконечника на 0,002 мм.

Шкала С в связи с заменой эталона изменена. Поправки по новой шкале HRC₀ 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. $\sigma_b, \text{кгс}/\text{мм}^2$) 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 испытуемой 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.

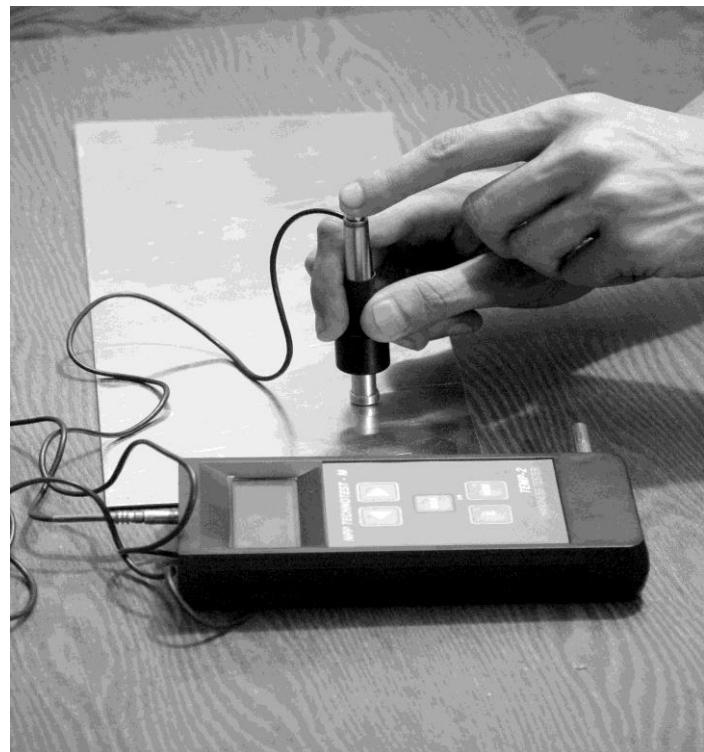


Рис. 6. Твердомер ТЭМП-2
и измерение твердости прибором

Допустимо измерение твердости на вогнутых и выпуклых образцах (R кривизны ≥ 15 мм).

1 2 3 4 5 6

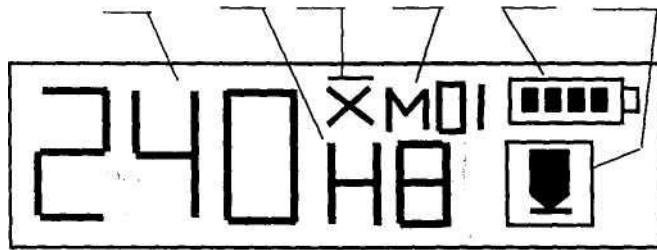


Рис.7. Схема индикации дисплея:

- 1 – значение твердости;
- 2 – шала 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 выбирайте быстро.

- В корпус датчика вставить толкатель и плавно переместить его до защелкивания (сжатия пружины).
- Установить датчик нормально к испытуемой 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 «Х». Прибор отключается автоматически через 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 К: 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 (тврдомер)	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 ИТ 5010	2999-75	S = 0,3-0,5 S = 0,03-0,05 R _a ≤ 1,25	HV от 100 ... HV от 8 до 2000	0,001
ТЭМП-2		R _a ≤ 2,5 мкм Масса изделия от 1,5 кг	HB: 100-450 HRC: 22-68 HV: 100-950 HSD: 22-99	--

Форма отчета

Лабораторная работа 1

Измерение твердости металлов

- Понятие «тврдость» материала.
- Схемы нагружения образцов на тврдомерах Бринелля и Роквелла и принципы измерения твердости.
- Таблица опытных данных.

Таблица. Результаты испытания образцов

Материал образца	Метод Бринелля					Метод Роквелла				
	P, кгс	D, мм	Выдерж- ка, с	d _{cp} , мм	HB	P, кгс	Нако- неч- ник	Шкала	HR	HB
1.										
2.										
3.										
и т.д.										

4. Выводы.

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 по Бриннелю	Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу	Твердость по Бриннелю	Твердость по Роквеллу				
		Шкала					Шкала				
		C 150 кг	B 100 кг	A 60 кг			C 150 кг	B 100 кг	A 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	-		

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. Приготовление 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 струбцины.

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) пластины 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

полирирующим 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 зёरна. 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).

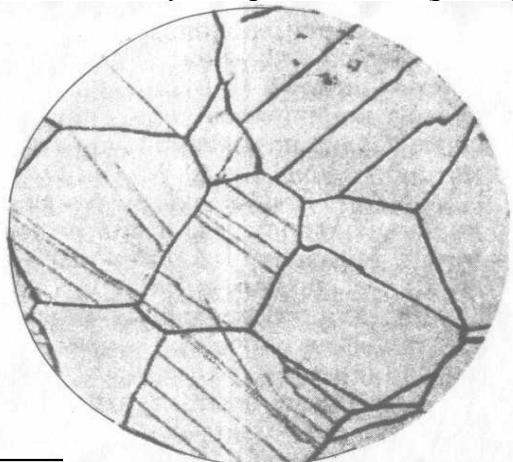


Рис 1. Микроструктура хромоникелевой нержавеющей стали (травление царской водкой); зерна аустенита.х 500

По границам зёрен сосредоточены примеси, травимость их повышенна и это усиливает контрастность изображения. В многофазных сплавах на шлифе образуется рельеф и возникает теневая картина (рис. 2).

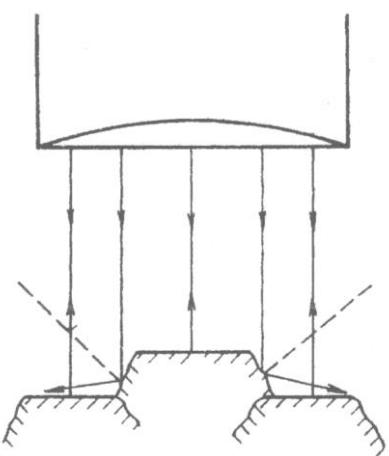


Рис.2. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа

4. 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.

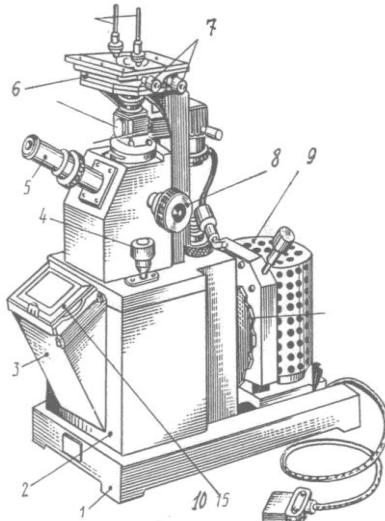


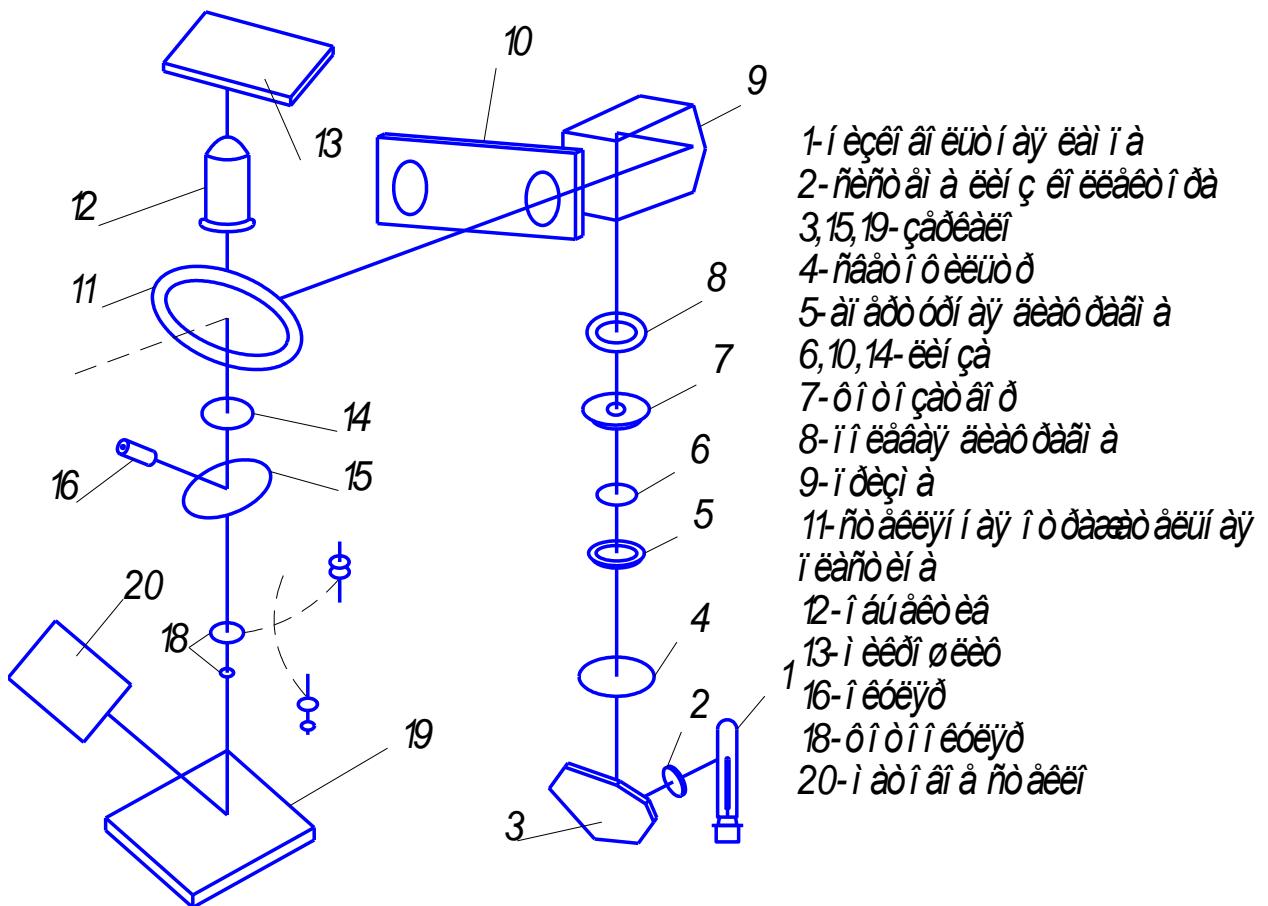
Рис. 3 Общий вид микроскопа МИМ-7:

- 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 полиздрическая (многогранная) форма зёрен, пластически деформированный металл имеет вытянутые зерна и даже волокнистое строение, а в литой структуре имеются дендриты (рис. 5).



И та ёёаёи та и ёёдёи та и ёёаёи та и Еи - 7

Рис. 4. Оптическая схема микроскопа МИМ-7.

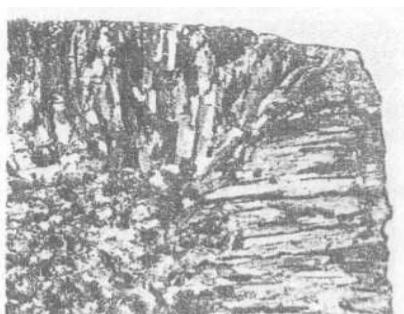


Рис.5. Макростроение слитка (поперечный разрез) низкоуглеродистой стали (0,1 % C, 4 % Si)

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 фотопластиинку. 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 травлённой.
4. Краткие сведения об изученных структурах.
5. Оптическая схема микроскопа.

Работу выполнил	
Работу принял	

2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Анализ диаграммы состояния сплавов Fe-Fe₃C»

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, $^{\circ}\text{C}$	Вариант	Содержание углерода, %	T, $^{\circ}\text{C}$
1	1. 0,01	200	9	1. 4,3	600
	2. 5,5	300		2. 1,0	1400
2	1. 1,5	1300	10	1. 2,3	1300
	2. 3,8	900		2. 0,01	100
3	1. 0,2	500	11	1. 5,0	1000
	2. 2,8	300		2. 1,2	400
4	1. 1,7	750	12	1. 4,8	1100
	2. 3,0	1000		2. 1,5	800
5	1. 0,4	700	13	1. 0,4	770
	2. 2,5	900		2. 3,0	1200
6	1. 0,2	750	14	1. 2,0	900
	2. 4,3	1000		2. 6,0	1100
7	1. 0,8	700	15	1. 5,7	1300
	2. 3,5	400		2. 0,015	150
8	1. 1,0	600	16	1. 1,1	750
	2. 5,0	900		2. 4,0	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- Fe_3C . 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 С и Fe_3C), линии стабильной диаграммы выполняют пунктиром, а метастабильной – сплошными, поскольку она практически более значима.

2. Компоненты, фазы и структуры в системе Fe- Fe_3C

Компонентами сплавов являются железо и углерод. Оба полиморфные. Железо имеет две основные (всего 4) модификации: от температуры плавления 1539 до 911 $^{\circ}\text{C}$ – 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 Fe_3C 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 $Fe_{\gamma}(c)$.

Феррит- ограниченный твёрдый раствор внедрения углерода в α -железе: Ф или $Fe_{\alpha}(c)$.

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 компонентов или фаз	Концентрация углерода, %	Число фаз	Примерные показатели механических свойств			Общая оценка по механическим свойствам
				Gв, 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 °C немагнитен, плавится при 1260 °C.

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

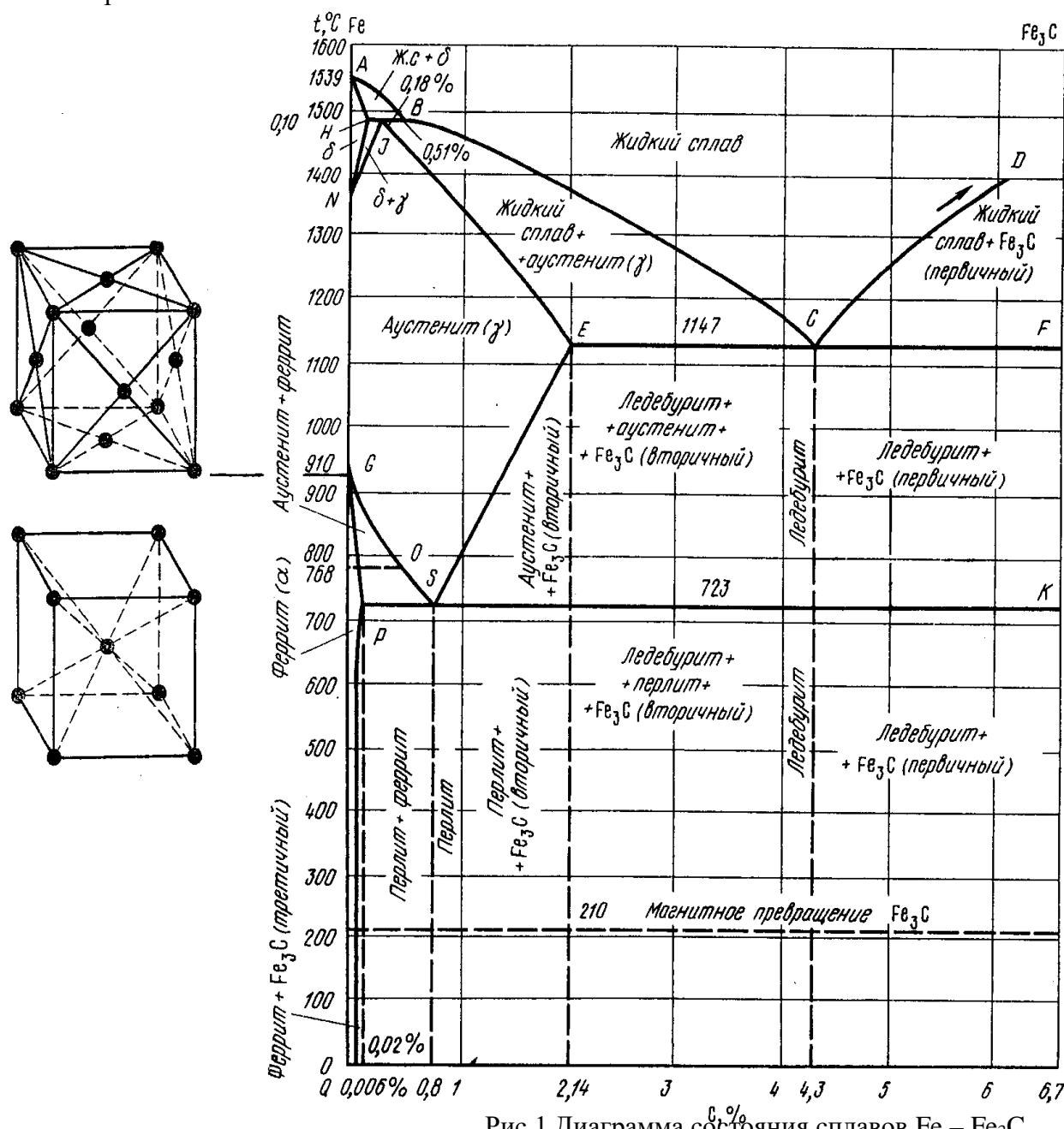


Рис.1 Диаграмма состояния сплавов Fe – Fe₃C

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.

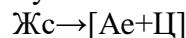
AC – линия начала, а линия

AE – окончания кристаллизации аустенита;

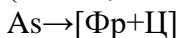
GS – линия начала, а

GP – окончания перекристаллизации аустенита в феррит.

ECF – линия изотермического превращения жидкости, имеющей концентрацию точки С (4,3 % С) в эвтектику



PSK – линия изотермического превращения аустенита, содержащего 0,8 % С, в эвтектоид (“сплав, похожий на эвтектику”)



Линия PSK – линия перлитного превращения, т.к. эвтектоид в системе Fe – С 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 % С. 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 наслагивается 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);

Ac_m – ES – линия выделения цементита вторичного.

Таблица 3. Превращения в железоуглеродистых сплавах при охлаждении

Сплавы		Температурный интервал	Линия	Процесс (состояние)		Конечная структура сплава
В интервале точек , или при содерj. С, %	В точке			Превращение, (==> выделение цементита)	Фаза (структура) стабильна, превращений нет	
1	2	3	4	5	6	7
0 – 0,006 %C 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		$\Phi \Rightarrow \text{Ц}$		$\Phi + \text{Ц}111$
0,8	S			$A \rightarrow \Pi$		Π
0,02 – 0,8 P - S		GS – PS от PS	PSK	$A \rightarrow \Phi$ частично $A \text{ остат.} \rightarrow \Pi$ $\Phi \Rightarrow \text{Ц}111$		$\Pi + \Phi + (\text{Ц}111)$
0,8 – 2,14 S - E		SE - PSK	PSK	$A \Rightarrow \text{Ц}11$ $A0,8 \rightarrow \Pi$		$\Pi + \text{Ц}11$
4,3	C	ECF – PSK Ниже PSK	PSK	$\text{Ж} \rightarrow \text{Л}1$ $\text{Л}1 \Rightarrow \text{Ц}11$ $\text{Л}1 \rightarrow \text{Л}11$	Л11	Л11
4,3 – 6,67		CD - CF	ECF PSK	$\text{Ж} \rightarrow \text{Ц}_1$ $\text{Ж}4,3 \rightarrow \text{Л}1$ $\text{Л}1 \rightarrow \text{Л}11$		Л11+Ц1
2,14 – 4,3		AC – EC EC - PSK	ECF PSK	$\text{Ж} \rightarrow \text{A}$ $\text{Ж}4,3 \rightarrow \text{Л}1$ $A \Rightarrow \text{Ц}11$ $A0,8 \rightarrow \Pi$, $\text{Л}1 \rightarrow \text{Л}11$		Л11+П+Ц11
Условные обозначения:						
→ - процесс превращения ==> - процесс выделения углерода (Ц).						

Из-за отклонения действительных точек от теоретических к условным обозначениям добавляется индекс r – 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

$$C = K - \Phi + 1, \quad \text{где: } C - \text{число степеней свободы;} \\ K - \text{число компонентов;} \\ \Phi - \text{число фаз в сплаве.}$$

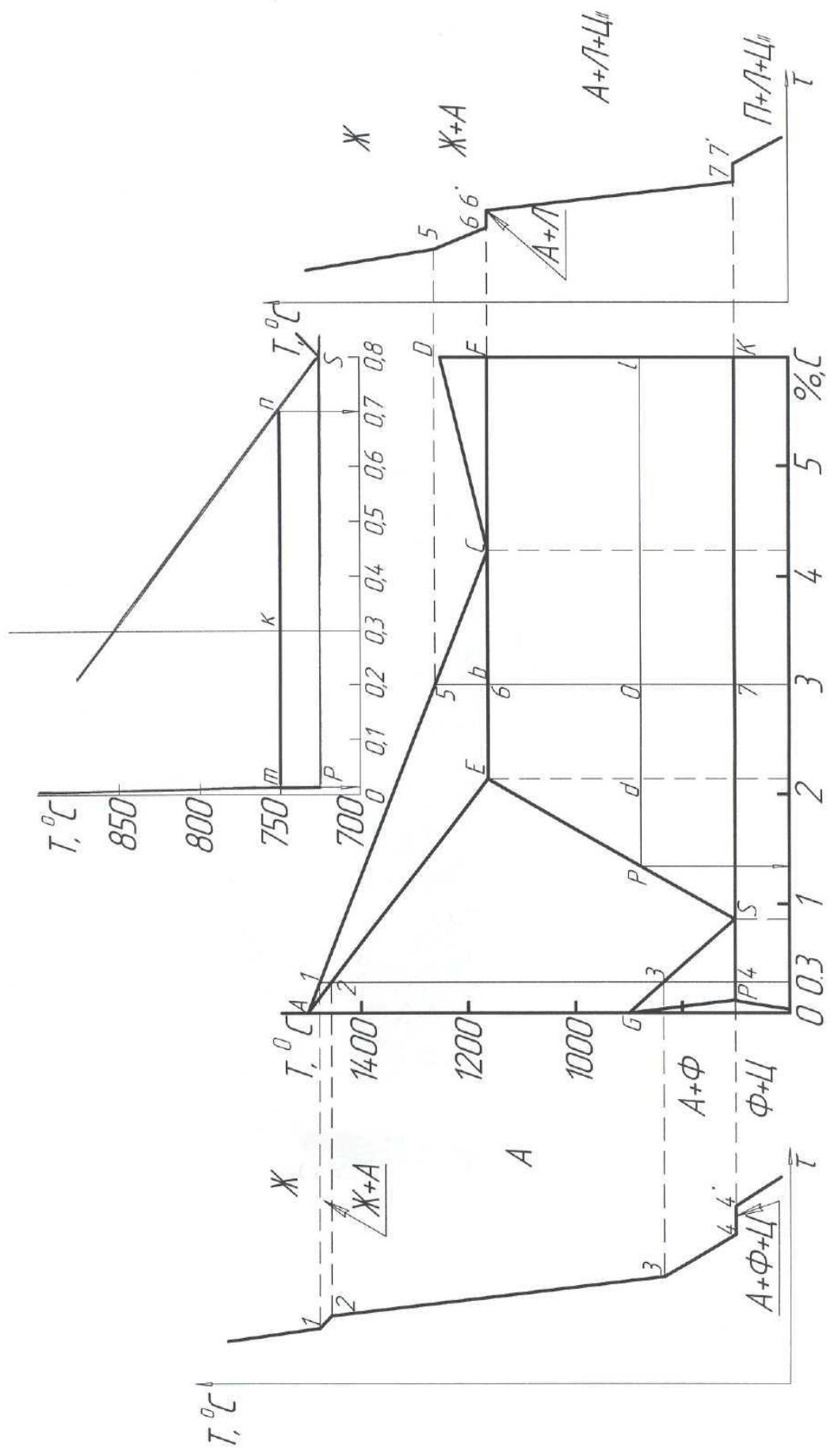


Рис. 2. Дипломма ссср о ходатайстве о присуждении премии СССР.

Для двухкомпонентной системы

C=3 – Φ

Возможные значения С 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 Φ=1, C=3-1=2. Значит сплав охлаждается быстро (отрезок до точки 5 идёт круто).

В интервале точек 5 – 6 будет Φ=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 - 6¹).

В температурном интервале 6 – 7:

Φ=2 (А и Ц), C=1 – замедленное охлаждение, как и ниже точки 7 (Ф и Ц).

Линия пологая.

В точке 7: Φ=3, C=0, температурная остановка. Здесь идёт образование двух фаз одновременно [А→П(Φ+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 °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: **Φ** и **А**. Значит в точке К будут именно эти фазы

Первое положение правила отрезков

Проекции точек пересечения на ось концентрации показывают состав фаз.

Для нашего примера: проекция точек **n** показывает, что жидкость в точке 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 аустенита – фазы расположенной справа, т.е

$$Q_A = \frac{mk}{mn} \times 100 \approx 48 \%$$

$$\text{Доля феррита} \quad Q_\Phi = \frac{kn}{mn} \times 100 = \frac{0,7 - 0,3}{0,7 - 0,015} \times 100$$

Задание 3.

Найти количественное соотношение структурных составляющих в точке О (C=3,0 %; T=900 °C).

В этих условиях сплав состоит из трёх составляющих: ледебурита, аустенита и цементита.

При двух неизвестных, например в заэвтических 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.

$$Q_{\text{л}} = \frac{E\vartheta}{EC} \times 100 = \frac{0,86}{2,16} \times 100 \approx 40 \%$$

Ледебурит количественно при охлаждении не меняется, значит в точке О его будет 40 %.

Доля аустенита в точке в будет

$$Q_{\text{а}} = \frac{\vartheta C}{EC} \times 100 \approx 60 \%$$

При охлаждении эта доля будет уменьшаться из – за выделения Ц11 по закону линии ES. 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 р: ≈ 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 $Q_{\text{ц}} \text{ (для 0)} \text{ даст } Q_{\text{ц}} = \frac{15,6 \cdot 60}{100} = 9,4 \%$.

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 4

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	

Литература

1. Практикум по ТКМ и материаловедению / Под ред. Некрасова С.С.- М.: Агропромиздат, 1991.
2. Металловедение / Самохощкий А.И. и др.- М.: Металлургия, 1990.
3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. - Материаловедение. – М.: Металлургия, 1990.