

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

Многопрофильный колледж



## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

по учебной дисциплине  
**Материаловедение**

для студентов специальности  
**22.02.01 Металлургия черных металлов**  
базовой подготовки

Магнитогорск, 2019

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
Металлургия черных металлов  
Председатель: И.В. Решетова  
Протокол №6 от 20.02.2019 г.

Методической комиссией МпК  
Протокол №5 от 21.02.2019 г

## **Составитель:**

преподаватель ФГБОУ ВО МГТУ МпК И.А. Крашенинникова

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Материаловедение».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального(ых) модуля(ей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.01 Metallurgy of black metals

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1 Введение	
2 Методические указания	
Лабораторная работа 1	
Лабораторная работа 2	
Лабораторная работа 3	
Практическая работа 1	
Практическая работа 2	
Практическая работа 3	
Практическая работа 4	
Практическая работа 5	
Практическая работа 6	

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические работы.

Состав и содержание практических работ направлены на реализацию действующего федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений, законов, зависимостей, формирование профессиональных практических умений выполнять определённые операции, необходимые в последующей профессиональной деятельности.

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение» предусмотрено проведение практических работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:  
уметь:

- распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы по внешнему виду, происхождению, свойствам;
- определять виды конструкционных материалов;
- выбирать материалы для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации;
- проводить исследования и испытания материалов.

Содержание лабораторных работ ориентировано на подготовку студентов к освоению профессионального модуля основной профессиональной образовательной программы по специальности и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Осуществлять технологические операции по производству черных металлов.

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом.

ПК 1.3. Эксплуатировать технологическое и подъемно-транспортное оборудование, обеспечивающее процесс производства черных металлов.

ПК 1.4. Анализировать качество сырья и готовой продукции.

ПК 2.1. Планировать и организовывать собственную деятельность, работу подразделения, смены, участка, бригады, коллектива исполнителей.

ПК 3.1. Принимать участие в разработке новых технологий и технологических процессов.

ПК 3.2. Участвовать в обеспечении и оценке экономической эффективности.

**В процессе освоения дисциплины у студентов должны формироваться общие компетенции:**

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

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

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

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

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

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

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

Выполнение студентами лабораторных работ по учебной дисциплине «Материаловедение» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;
- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Продолжительность выполнения лабораторной работы составляет не менее двух академических часов и проводится после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

### **Тема 1.2.Кристаллизация металлов**

#### **Лабораторная работа № 1**

#### **Наблюдение с помощью биологического микроскопа за кристаллизацией из раствора соли**

**Цель:** - изучение процесса кристаллизации на примере раствора соли.

-углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;

-формирование умений применять полученные знания на практике.

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-развивать умения: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

#### **Материальное обеспечение:**

1. Биологический микроскоп.
2. Раствор соли.
3. Пробирка.
4. Спиртовка.
5. Пипетка
6. Линейка

#### **Задание:**

1. Изучить устройство биологического микроскопа и работу на нем
2. Начертить и описать оптическую схему биологического микроскопа
3. Описать процесс кристаллизации соли.
4. Зарисовать строение затвердевающей капли раствора соли.
5. Написать отчет

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

Существуют два простых способа выращивания кристаллов из раствора: *охлаждение насыщенного раствора соли и его выпаривание.*

Первым этапом при любом из двух способов является приготовление насыщенного раствора. Можно выращивать кристалл медного купороса или *обычной поваренной соли.*

Растворимость любых веществ зависит от температуры. Обычно с повышением температуры растворимость увеличивается, а с понижением температуры уменьшается.

При охлаждении горячего (примерно 40°C) насыщенного раствора до 20°C в нем окажется избыточное количества соли на 100 г воды. При отсутствии центров кристаллизации это вещество может оставаться в растворе, т.е. раствор будет пересыщенным.

С появлением центров кристаллизации избыток вещества выделяется из раствора, при каждой данной температуре в растворе остается то количество вещества, которое соответствует коэффициенту растворимости при этой температуре. Избыток вещества из раствора выпадает в виде кристаллов; количество кристаллов тем больше, чем больше центров кристаллизации в растворе. Центрами кристаллизации могут служить загрязнения на стенках посуды с раствором, пылинки, мелкие кристаллики соли. Если предоставить выпавшим кристалликам возможность подрасти в течение суток, то среди них найдутся чистые и совершенные по форме экземпляры. Они могут служить затравками для выращивания крупных кристаллов.

Чтобы вырастить крупный кристалл, в тщательно отфильтрованный насыщенный раствор нужно внести кристаллик - затравку, заранее прикрепленный на волосе или тонкой леске, предварительно обработанной спиртом.

Можно вырастить кристалл без затравки. Для этого волос или леску обрабатывают спиртом и опускают в раствор так, чтобы конец висел свободно. На конце волоса или лески может начаться рост кристалла.

Если для выращивания приготовлен крупный затравочный кристалл, то его лучше вносить в слегка подогретый раствор. Раствор, который был насыщенным при комнатной температуре, при температуре на 3-5°C выше комнатной будет ненасыщенным. Кристалл-затравка начнет растворяться в нем и потеряет при этом верхние, поврежденные и загрязненные слои. Это приведет к увеличению прозрачности будущего кристалла. Когда температура понизится до комнатной, раствор вновь станет насыщенным, и растворение кристалла прекратится. Если стакан с раствором прикрыть так, чтобы вода из раствора могла испаряться, то вскоре раствор станет пересыщенным и начнется рост кристалла. Во время роста кристалла стакан с раствором лучше всего держать в теплом сухом месте, где температура в течение суток остается постоянной. На выращивание крупного кристалла в зависимости от условий эксперимента может потребоваться от нескольких дней до нескольких недель.

---

Процесс кристаллизации соли.

Так же, как и при затвердевании металлического слитка, в процессе кристаллизации капли раствора соли наблюдаются три структурные зоны (рис.1). Зона 1 состоит из тонкого слоя мелких дендритов, образующихся у краев капли. Зона 2 характеризуется образованием крупных удлиненных дендритов. Зона 3 состоит из дендритов, имеющих различную ориентировку.

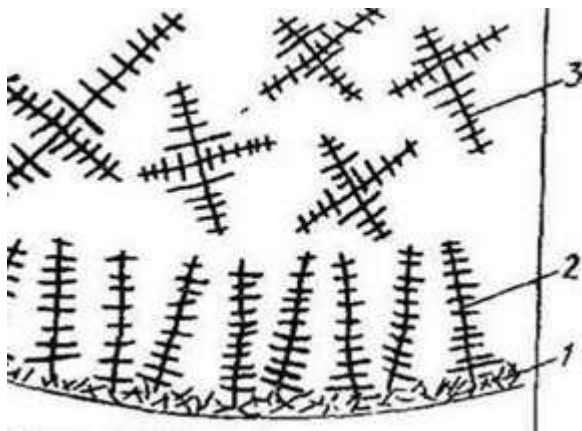


Рис.1 Строение затвердевающей капли раствора соли  $\text{NH}_4\text{Cl}$

### Биологический микроскоп

Плита 1. микроскопа соединена с колонкой 3, шарниром 2, что позволяет наклонять верхнюю часть микроскопа для более удобного наблюдения при работе сидя. Тубус 7, в верхнюю часть которого вставляют окуляр 6, а в нижнюю ввинчивают объектив, 8 может передвигаться вверх и вниз вращением винта 5. Для точной наводки на фокус служит микрометрический винт 4. На предметный столик 9 помещают плоское стекло 10 с исследуемым объектом. В нижней части микроскопа установлено зеркало 11.



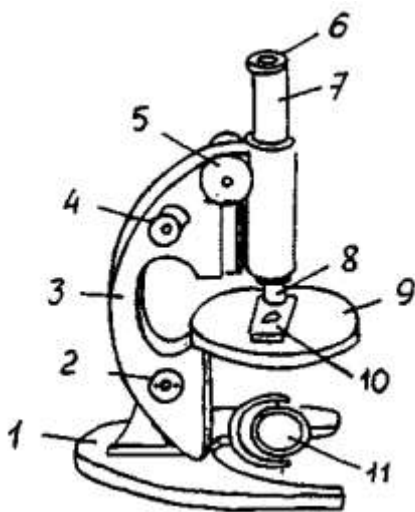


Рис. 2. Конструкция биологического микроскопа 10

### Порядок выполнения работы:

1. Приготовить насыщенный раствор соли.
2. Для получения пересыщенного раствора соль NaCl растворить в воде при температуре (70...80)°C. Для этого подогреть раствор на пламени спиртовки. В работе использовать горячий раствор соли.
3. На стекло при помощи пипетки нанести каплю горячего пересыщенного раствора соли и поместить его на предметный столик
4. Поместить стекло 10 с каплей соли на предметный столик 9
5. В верхнюю часть тубуса 7 установить окуляр 6, а в нижнюю - объектов 8.
6. Зеркало 11 направить в сторону естественного или искусственного света.
7. Вращением зеркала 11, смотря одним глазом в окуляр 6, достичь нормального прохождения световых лучей (получение светлого поля).
8. Вращением винта 5 произвести грубую наводку на фокус.
9. Произвести точную наводку на фокус вращением микровинта 4.
10. Наблюдать за процессом кристаллизации раствора соли и зарисовать образующиеся с течением времени кристаллы соли в круге диаметром 40 мм.
11. Описать процесс кристаллизации соли.

12. Зарисовать строение затвердевающей капли раствора соли.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### **Тема 2.1.**

**Методы исследования структуры металлов и сплавов**

**Лабораторная работа № 1**

**Макроскопический анализ. Выявление ликвации серы.**

**Приготовление микрошлифов.**

Цель работы

Данная работа предполагает:

- изучение сущности и задач макроанализа;
- изучение методов изготовления образцов и методов травления при макроанализе;
- изучение поверхностных и внутренних дефектов;
- определение химической неоднородности стали;
- проведение макроанализа по выявлению ликвации серы и фосфора в металлических образцах, а также присутствие свинца

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- Определять химическую неоднородность стали
- Выявлять дефекты, характеристику режимов травления макрошлифов:

**Материальное обеспечение:**

- заготовка
- шлифовальная машинка
- раствор кислоты (только под руководством лаборанта)

**Задание:**

Изучить суть приготовления макрошлифов

Изучить оборудование и материалы для шлифования

Ответить на контрольные вопросы

**Краткие теоретические сведения:**

Сущность и назначение макроанализа

*Макроскопический анализ заключается в определении строения материалов путем просмотра поверхности специально подготовленных образцов невооруженным взглядом или через лупу при небольших увеличениях - до 30 раз.*

Макроанализ даёт представление об общем строении металла и позволяет оценить его качество после различных операций металлургического производства (выплавка и разливка в слитки и непрерывные заготовки, прокатка, ковка и др.), а также различных видов обработки на машиностроительных предприятиях (литья, обработки давлением, сварки, термической и химикотермической обработки).

Макроанализ в отличие от микроскопического анализа не позволяет определить все особенности строения. Часто макроанализ является не окончательным, а предварительным видом исследования. Он позволяет выбрать те участки, которые требуют дальнейшего микроскопического исследования. Широкое применение макроанализ находит при контроле качества сталей и сплавов и для обнаружения разнообразных дефектов металлургии.

Макростроение металла можно изучить:

- на поверхности заготовки;
- в изломе заготовки;
- на предварительно подготовленной поверхности, отшлифованной и подвергнутой травлению специальными реактивами.

Методом макроанализа определяют:

- 1) в литом металле - нарушение сплошности (усадочную рыхлость, газовые пузыри и раковины, трещины, пустоты, свищи, подкорковые пузыри и др.), дендритное строение и зону транскристаллизации, химическую неоднородность слитка (ликвацию);
- 2) неоднородность строения сплава, вызванную обработкой давлением - полосчатость, волокнистость горячедеформированной стали или линии скольжения в наклепанном металле;
- 3) структуру и химическую неоднородность металла, созданную термической, термомеханической или химической обработкой.

Макроанализ излома определяют непосредственным наблюдением, при определении других особенностей макростроения необходимы специальные макрошлифы.

Приготовление образцов и режимы травления при макроанализе

Макроанализ проводят на продольных и поперечных макрошлифах (темплетах). В случае крупных цилиндрических деталей темплеты вырезают в радиальном, тангенциальном направлении, важное значение при этом имеет выбор наиболее характерного для изучаемого изделия сечения.

Условия отбора проб для контроля качества металла (число образцов, их размер, место вырезки и др.) указывается в стандартах и технических условиях

на конкретные виды металлопродукции. В частности, макроструктуру прутков и заготовок обычно контролируют на поперечных макрошлифах.

Поверхность макрошлифов перед травлением подвергают торцеванию, строганию или шлифованию. После механической обработки поверхность должна быть ровной и гладкой, без значительного наклона и прижога металла. При зачистке на шлифовальном станке во время перехода с крупнозернистой на мелкозернистую шлифовальную бумагу образцы отчищают от наждачной пыли, поворачивают под углом 90° и шлифуют до тех пор, пока не исчезнут следы предыдущей обработки. На поверхности макрошлифов не должно быть загрязнений, следов масла и т.п., поэтому после шлифовки образцы необходимо промыть водой для удаления абразива. На образцах не должно быть пленки окислов и грубых рисок. После шлифования образцы вытирают и подвергают травлению.

Выбор того или иного способа макротравления шлифа зависит от задачи, поставленной при исследовании конкретных заготовок.

Методы макростроения подразделяют на три основные группы: грубого травления, поверхностного травления, отпечатков.

Для выявления дефектов, нарушающих сплошность стали, применяют реактивы глубокого и поверхностного травления. Выявление основано на том, что соответствующие реактивы более сильно воздействуют на участки, где имеются дефекты несплошности. После травления поверхность макрошлифа в указанных участках протравливается более сильно и глубоко и они четко выявляются на фоне более выступающих и светлых (то есть менее сильно протравленных) участков без подобных дефектов.

†агрузка...

Структура, выявляемая глубоким травлением, сравнительно слабо зависит от подготовки поверхности образцов; поверхностное травление или метод отпечатков требует более тщательной подготовки поверхности.

Реактивы глубокого травления используют для макроанализа слитков (отливок) и проката (поковок). Их применяют для определения флокенов, трещин, рыхлости, пор, не выходящих непосредственно на поверхность металла.

Реактивы поверхностного травления выявляют крупную пористость и другие дефекты несплошности, выходящие на поверхность.

Составы применяемых реактивов приведены в табл. 1. При травлении макрошлифы предварительно протирают спиртом или другими составами для удаления поверхностных загрязнений и после этого погружают в ванну с реактивом таким образом, чтобы он шлифованной поверхностью не соприкасался со стенками ванны. В ряде случаев травление проводят протиркой тампоном, смоченном в реактиве. Образцы перед травлением рекомендуется подогревать до температур раствора. Время травления должно быть более продолжительным (в рекомендованных пределах) для легированных и кислотостойких сталей, для металла с повышенной

твердостью, при травлении образцов без подогрева или в менее нагретом растворе.

После травления образцы промывают в проточной воде и просушивают. При необходимости хранения образцы рекомендуется дополнительно обрабатывать 10%-ным спиртовым раствором аммиака или промыть спиртом, а затем бесцветным лаком.

После травления макрошлиф приобретает рельефную поверхность с отчетливо видимыми осями дендритов (литая сталь), ликвационной неоднородностью, пористостью, трещинами и другими дефектами, а также волокнистой структурой (деформированная сталь).

Сплавы	Состав реактива и режим травления	Примечание
Для глубокого травления стали		Для получения светлой поверхности после травления шлифов их промывают водой, а затем 10...15%-ным раствором азотной кислоты и просушивают. Иногда с той же целью протирают поверхность ластиком. Травление рекомендуется проводить протиркой ватой, смоченной в реактиве. Шлиф промывают водой и 5...10%-ным раствором $K_2Cr_2O_7$
Стали всех составов, кроме коррозионно-стойких и жаропрочных аустенитного и ферритного классов. Коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса	Соляная кислота 100 мл, вода 100 мл; $T = 60...80^{\circ}C$ ; $t = 5...45$ мин Соляная кислота 100 мл, $HNO_3$ 10 мл (или 100 мл), вода 100 мл; $T = 60...70^{\circ}C$ ; $t = 5...10$ мин	
Для поверхностного травления		
Стали всех составов Сплавы меди	Реактив Гейна: $NH_4Cl$ 53 г, $CuCl_2$ 85 г, вода 1000 мл; $T = 20^{\circ}C$ ; $t = 0,5...1$ мин Реактив Обергоффера: соляная кислота 3 мл, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 0,2 г, $FeCl_2$ 3 г, $SnCl_2$ 0,1 г, спирт	Осевший при травлении вследствие обменной реакции слой меди, пористый на участках с дефектами, удаляют ватой под струей воды. Более сильно растравлены

Алюминиевые  
сплавы Никелевые  
сплавы

Плотность соляной  
кислоты 1,19;  
азотной кислоты  
1,56; серной кислоты  
1,84 т/м<sup>3</sup>

Основные поверхностные и внутренние дефекты  
Поверхностные дефекты можно разделить на три основных группы:  
дефекты образовавшиеся из дефектов слитка или литой заготовки;

этиловый 10 мл, вода 100  
мл; T = 20°C; t = 2 мин  
Реактив Стэда: соляная  
кислота 5 мл,  $\text{CuCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$   
25 г,  $\text{MgCl}_2$  20 г,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$   
500 мл; T = 20°C; t = 1 мин  
Метод Баумана: бром-  
серебряная бумага,  
смоченная 2...5%-ным  
раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; T =  
20°C; t = 3...14 мин 1.  
10...20%  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ; T =  
20°C; t = 1...5 мин 2. 10%-  
ный раствор перекиси  
водорода в насыщенном  
водном растворе аммиака;  
T = 20°C; t = 1...3 мин 3.  
 $\text{FeCl}_2$  10 г, соляная кислота  
30 мл, вода 120 мл; T =  
20°C; t = 2...5 мин  
Соляная кислота 40 мл,  
 $\text{HNO}_3$  40 мл; T = 20°C; t =  
1...10 мин Плавиковая  
кислота 10 мл, вода 150  
мл; T = 20°C Азотная  
кислота 4 мл, плавиковая  
кислота 4 мл, 10%-ный  
раствор жёлтой кровяной  
соли 4 мл, перекись  
водорода (30%-ная) 2 мл,  
вода 1000 мл; T = 20°C; t =  
1...10 мин  $\text{FeCl}_3$  10 г,  
соляная кислота 30 мл,  
вода 120 мл; T = 20°C

дефектные участки. Если  
вытравливание  
недостаточно, то процесс  
травления повторяется  
несколько раз. Для  
алюминия и медных  
сплавов после травления  
производится промывка в  
воде, погружение на 1...2с  
в 50%-ный раствор  $\text{HNO}_3$ ,  
промывка в горячей воде и  
в 10...15%-ном растворе  
NaOH.

Для сплавов типа дурра-  
люмина после травления  
необходимы промывка и  
сушка.

образовавшиеся в процессе деформации; образовавшиеся при отделочных операциях.

**Дефекты поверхности, образовавшиеся из дефектов слитка.**

**Раскатанное (раскованное) загрязнение** - вытянутое в направлении деформации поверхностное загрязнение шлаком, огнеупором или теплоизоляционной смесью. На макрошлифах в зоне дефекта наблюдаются грубые включения.

**Раскатанная (раскованная) корочка** - частичное местное отслоение или разрыв металла, образовавшийся в результате раскатки (расковки) завернувшихся корочек, находящихся на поверхности слитка. На макрошлифах в зоне дефекта наблюдаются скопления неметаллических включений сложного состава и обезуглероживание.

**Раскатанный (раскованный) пузырь** - прямолинейная или продольная трещина, причина её образования наружный или поверхностный пузырь. На макрошлифе полость имеет форму мешка, заполненного окалиной.

**Раскатанная (раскованная) трещина** - разрыв металла образовавшийся при раскатке продольной или поперечной трещины. Дефект обезуглерожен.

**Расслоение** - трещины на кромках и торцах листов и других видах проката, образовавшиеся при наличии в металле усадочных дефектов и внутренних разрывов, повышенной загрязнённости неметаллическими включениями и пережога. Данные трещины не завариваются при последующей деформации. На макрошлифе дефект наблюдается с заглаженной, кристаллической светлой структурой.

**Волосовины** - нитевидные несплошности в металле, образовавшиеся при деформации имеющих в нём неметаллических включений.

**Дефекты поверхности, образовавшиеся в процессе деформации слитка.**

**Прокатная плёна** - отслоение металла языкообразной формы, образовавшиеся вследствие раскатки рванин, подрезов. В месте дефекта может наблюдаться окисление и обезуглераживание.

**Рванины** - разрыв металла, обычно по кромкам листа и ленты, образовавшийся из-за нарушения технологии прокатки, а также при прокатке металла с пониженной пластичностью.

**Трещина напряжения** - прямолинейный или зигзагообразный разрыв металла, ориентированный обычно под прямым углом к поверхности. Образуется вследствие напряжений, связанных со структурными превращениями или неравномерным нагревом и охлаждением.

**Ус** - продольный выступ с одной или двух диаметрально противоположных сторон прутка. Образуется вследствие неправильной задачи металла в калибр.

**Закат** - прикатанный продольный выступ с одной или двух диаметрально противоположных сторон, образуется при вдавливании уса, грубых следов зачистки и грубых рисок. На поперечном микрошлифе дефект располагается под острым углом к поверхности.

**Подрез** - продольное углубление, расположенное по всей длине или на отдельных участках поверхности проката. Образуется вследствие неправильной привалковой арматуры и одностороннего перекрытия калибра.

**Риска** - продольное, тонкое углубление в виде канавки без выступа кромок с закруглённым или плоским дном. Образуется от царапания поверхности металла наварками и другими выступами на прокатной арматуре.

**Вкатанная окалина** - остатки окалины, вдавленные в поверхность металла при деформации.

**Рябизна** - углубления, образовавшиеся после удаления (механического) вкатанной окалины

3) Дефекты поверхности, образовавшиеся при отделочных операциях.

**Травильные трещины** - разрывы, иногда в виде сетки, образовавшиеся при травлении металла, имевшего остаточные напряжения от структурных превращений или деформаций. Данные трещины располагаются по границам зёрен.

**Недотрав** - пятна или полосы, образовавшиеся при неполном или неравномерном удалении окалины при травлении.

**Перетрав** - местное или общее разъедание поверхности металла при травлении.

Внутренние дефекты макроструктуры изучают в основном на поперечных макрошлифах и изломах. Темплеты для поперечных макрошлифов и продольных изломов вырезают перпендикулярно направлению прокатки (ковки). Поперечные макрошлифы оценивают путём сравнения с фотоэталоном шкал или отдельных дефектов. ГОСТами предусмотрена оценка макроструктуры по 5-ти балльным шкалам. Степень развития дефектов (балл) определяется количеством дефектных участков, их размерами, резкостью проявления. Наиболее распространёнными являются следующие дефекты.

**Межкристаллитные трещины и прослойки** - извилистые тонкие наукообразные полосы, направленные от оси прутка в стороны. Образуются при кристаллизации металла вследствие выделения на границах кристаллов плёнок окислов или сульфидов.

**Ковочные трещины** - разветвления в осевой зоне в виде креста, и расходящиеся от центра прутка. В изломе выглядят как грубые окисленные расслоения. Образуются вследствие высоких напряжений



при ковке металла, имеющего при температурах деформации высокую прочность и низкую пластичность.

**Флокены** - тонкие разрывы металла округлой или овальной формы. На макрошлифах в виде тонких извилистых трещин длиной от 1 до 30 мм и более, а продольных изломах в виде светлых округлых пятен, отличающихся от остального излома серебристым кристаллическим строением. Данный дефект развивается из микротрещин, возникновение которых обусловлено хрупкостью металла, высокой концентрацией водорода и напряжениями от структурных превращений. Образуются в процессе охлаждения стали при температурах  $\leq 200^{\circ}\text{C}$ .

**Корочки** - участки металла различной травимости, разные по форме и величине. Могут быть тёмными или светлыми в зависимости от места расположения по высоте слитка, от химического состава, температуры образования и степени насыщенности газовыми и неметаллическими включениями. В основном это кислородные экзогенные включения. Наиболее часто образуются на поверхности жидкого металла в изложнице и вследствие большей плотности твёрдого металла тонут в жидком металле, увлекая вместе с собой скопления включений (тёмные корочки). При перерывах в разливке, вследствие чего металл, находящийся в сифонных проводках, успевает окислиться и загустеть образуются неметаллические включения (светлые корочки).

**Скворечник** - разрыв внутри деформированного металла, иногда выходящий на поверхность. Образуется из внутренней, обычно поперечной, трещины, возникающей при посадке холодных слитков печь со слишком высокой температурой.

**Черновины** - группа трещин, надрывов в осевой части прутка в виде рыхлой, сильно травящейся внутренней зоны или отдельных пятен. Образуется при деформации вследствие перегрева, пережога осевой зоны прутка. Возникновение дефекта связано с зональной и дендритной ликвацией, приводящей к обогащению отдельных участков ликватами, имеющими более низкую температуру плавления по сравнению со средним составом стали.

Определение химической неоднородности стали

Для оценки химической неоднородности распределения таких вредных (в большинстве случаев) примесей, как сера и фосфор, а

также углерод используют отдельные частные методики, которые позволяют выявить зональную, внутридендритную или межкристаллитную ликвацию этих элементов.

1) Для выявления ликвации серы используют метод серного отпечатка (метод Баумана) по ГОСТ 10243-75, который можно отнести к группе методов поверхностного травления. При снятии отпечатка с высокосернистых (автоматных) сталей макрошлифы предварительно протирают тампоном, смоченным в 2-5%-ном растворе серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), удаляя при этом продукты первичной реакции.

Отпечаток снимают на бромсеребряную фотобумагу, соответствующую размерам темплета (унибром по ГОСТ 10752-79). Листы фотобумаги выдерживают 5-10 минут на свету в 2...5%-ном растворе серной кислоты, затем слегка просушивают между листами фильтровальной бумаги и накладывают эмульсионной стороной на поверхность макрошлифа. С обратной стороны фотобумагу непрерывно поглаживают резиновым валиком или тампоном, не допуская ее смещения, до полного удаления пузырьков газа, образующихся при реакции, а также газов, оставшихся между бумагой и макрошлифом, так как эти пузырьки оставляют на бумаге белые пятна и искажают результаты анализа. Фотобумагу выдерживают на макрошлифе при температуре  $\sim 20^\circ\text{C}$  в течение 3...10 минут в зависимости от легирования стали и содержания в ней серы. Полученный отпечаток промывают в воде, фиксируют в растворе гипосульфита в течение 15 минут, тщательно промывают в воде, просушивают. На участках повышенного содержания серы бумага окрашивается в светло-коричневый цвет (на легированной стали) или в темно-коричневый цвет (на углеродистой стали с повышенным содержанием серы, а также фосфора) и указывает форму и характер распределения сульфидов.

Для выявления ликвации фосфора в стали и чугуне методом травления используют реактив Гейна, содержащий 85 г хлористой меди ( $\text{CuCl}_2$ ), 53 г хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) на 1000 мл воды.

При погружении макрошлифа в реактив в течение 30...60 с происходит обменная реакция: железо вытесняет медь (поры, трещины, неметаллические включения), происходит травление. Макрошлиф вынимают, слой осевшей меди снимают ватным тампоном под струей воды и протирают макрошлиф досуха, чтобы предохранить его от быстрого окисления на воздухе. Участки, обогащенные фосфором, окрашиваются в более темный цвет.

Для выявления ликвации фосфора, наряду с реактивом Гейна, часто используют реактивы Обергоффера и Стэда (табл. 2.1). Реактив Обергоффера обеспечивает медленное и равномерное формирование картины травления. Обогащенные фосфором места остаются

гладкими, в то время как обедненные им становятся шероховатыми вследствие образования на них тонкой медной пленки. Контрастность выявления макроструктуры можно повысить, используя многократное промежуточное полирование и повторное травление.

Реакция Стэда при многократном повторении процесса травления позволяет получить желаемый результат. Травление осуществляется примерно 1 минуту. Образование медного слоя на поверхности темплета начинается на свободных от фосфора участках и постепенно распространяется на участки феррита с незначительным содержанием фосфора. В результате длительного травления только участки с высоким содержанием фосфора остаются без медного покрытия.

3) Для выявления присутствия свинца в стали и его скоплений используют метод Врэгга по ГОСТ 10243-75. Подготовленный макрошлиф опускают в 10%-ный раствор персульфата аммония, выдерживают до получения серой окраски, промывают в проточной воде до удаления серого налета и высушивают. Бромсеребряную фотобумагу обрабатывают для удаления солей серебра фиксажем в течение 7...10 мин, промывают в проточной воде и высушивают. Затем фотобумагу замачивают в течение 5...7 мин в 5%-ном водном растворе едкого натра, слегка просушивают фильтровальной бумагой и накладывают эмульсионной стороной на образец. Протиркой тампоном в течение 5 мин обеспечивают плотный контакт фотобумаги с поверхностью образца.

Готовый отпечаток погружают на 10...15 с в 5%-ный водный раствор сульфида натрия, промывают и высушивают. При наличии в стали свинца отпечаток приобретает светло-коричневый цвет с темными пятнами в местах ликвации. При отсутствии свинца цвет бумаги не изменяется.

После изучения сущности основ макроанализа, осуществить подготовку макрошлифов, предназначенные для выявления ликвации серы и фосфора, а также для установления присутствия в стали свинца.

Разработать для каждого случая схему травления и осуществить ее.

При перемене реактива снова подготавливают поверхность макрошлифа. Ее достаточно шлифовать шкуркой с мелким зерном, чтобы снять следы предыдущего травления.

### **Порядок выполнения работы:**

Обосновать выбор методики выявления макроструктуры и описать полученные результаты.

Зарисовать фигуры травления (приложение - отпечатки, полученные а фотобумаге) и сделать вывод о качестве изучаемого металла.

Полученные результаты (отпечатки) сравнить с внутривзаводскими эталонами.

#### 2.5. Контрольные вопросы

1. Какие задачи решает макроанализ и виды макроанализа?
2. Как готовятся макрошлифы?
3. Какие реактивы и режимы используются при макроанализе?
4. Поверхностные дефекты и их характеристика?
5. Внутренние дефекты и особенности макроструктуры в этом случае?
6. Ликвацию какого элемента можно получить с помощью отпечатка Баумана, где используется реактив Гейна?
7. Какое влияние оказывают сернистые неметаллические включения на свойства стали, виды сернистых включений?
8. Как влияет фосфор на свойства стали?
9. Какое содержание серы и фосфора допустимо в качественных сталях и чугунах и почему?
10. Способы устранения вредного влияния серы, фосфора, свинца в стали.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### Тема 2.3. Механические свойства металлов и методы их испытания

#### Лабораторная работа 3

**Изучение методики измерения твёрдости металлов по Бринелю и Роквеллу.**

**Цель работы:** -углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;

-формирование умений применять полученные знания на практике;

-ознакомление с методикой проведения испытания металлов на твердость по методу Бринелля и Роквелла.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-развивать умения: наблюдать, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

**Материальное обеспечение:**

1. Твердомеры типа Бринелля и Роквелла.
2. Образцы для испытания.

3. Лупа.
4. Таблица для определения чисел твердости по Бринеллю.

**Задание:**

1. Изучить способы измерения твердости по Бринеллю и Роквеллу;
2. Составить опорный конспект и зарисуйте рисунок 1;
3. Подготовить образец;
4. Провести испытание по Бринеллю;
5. Провести испытание по Роквеллу;
6. Сделать вывод.

**2. Краткая теория вопроса.**

Для того чтобы правильно использовать материал, надо знать его свойства. Различают **физические, химические, технологические и механические свойства**.

**Физические свойства**- показывают отношение материала к действию физических явлений (исключая действие механических сил). К ним относятся: плотность – отношение к действию сил тяжести; теплопроводность – способность передавать тепло от более нагретых частей тела к менее нагретым; цвет – способность отражать или поглощать световые волны и т.п.

**Химические свойства** - показывают отношение материала к действию химических явлений. К ним относятся: окисляемость – способность сопротивляться действию окислителей; коррозионная стойкость – способность сопротивляться коррозии, растворимость – способность растворяться в химических веществах и т.д.

**Технологические свойства** -показывают отношение материала к способам его обработки. К ним относятся: литейные свойства (жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации), деформируемость (ковкость), свариваемость – способность образовывать неразъемные соединения требуемого качества и т.д.

**Механические свойства** показывают отношение материала к действию внешних сил. К ним относятся твердость, прочность, пластичность, ударная вязкость и т.д.

**Твердостью** называют свойство материала оказывать сопротивление проникновению в него постороннего тела. Твердость - это характеристика материала, зависящая от совокупности его пластических, упругих свойств и характера напряженного состояния, проявляющаяся в способности оказывать сопротивление при деформации участка поверхности тела из этого материала.

Способы измерения твердости различаются по характеру воздействия наконечника на поверхность исследуемого материала и характеризуют его различные механические свойства.

Твердость, измеренная по вдавливанию наконечника, характеризует сопротивление материала пластической деформации. Это самые распространенные методы замера твердости (твердость по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу, определение микротвердости).

Твердость, измеренная по царапанию поверхности, характеризует сопротивление материала разрушению.

Твердость, измеренная по удару или по отскоку наконечника- шарика, характеризует упругие свойства материала. Это метод замера твердости по Полюди, применяемый при переносных испытаниях.

## **2.1 Определение твердости по методу Бринелля**

Измерение твердости по Бринеллю проводят по ГОСТ 9012-59 «Метод измерения твердости по Бринеллю».

Твердость по Бринеллю определяют вдавливанием стального шарика диаметром от 2,5 до 10 мм с нагрузкой от 187,5 до 3000кг в течение от 10 до 30 секунд.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью микроскопа или других приборов в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют среднее арифметическое значение двух измерений.

При этом разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2% меньшего из них.

Твердость по Бринеллю выражается отношением приложенной нагрузки  $F$  к площади поверхности сферического отпечатка  $A$ .

Обозначение твердости:

$HB$  – при применении стального шарика для металлов и сплавов с твердостью не более 450 единиц и  $HBW$  – при применении шарика из твердого сплава для металлов и сплавов с твердостью более 650 единиц.

Если твердость по Бринеллю измеряется с использованием стального шарика диаметром

$D = 10$  мм при нагрузке  $F = 3000$  кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой от 10 до 15 с, она обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами  $HB$ , например 190HB. При других условиях испытания после буквы  $HB$  указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки под нагрузкой: например, 190 HB 5/750/20 –твердость по Бринеллю определенная с применением шарика  $D = 5$  мм при нагрузке 750 кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой 20с.

Число твердости определяется по формуле:

$$HB = F/A = 2F/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2});$$

где  $F$  – приложенная нагрузка, кгс,  $D$  – диаметр шарика, мм;  $d$  -диаметр отпечатка, мм.

*Требования к образцам и проведению испытаний:*

- ✓ толщина образца должна не менее, чем в 10 раз, превышать глубину отпечатка;
- ✓ поверхность должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидных пленок;
- ✓ расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее  $4d$ ;
- ✓ расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее  $2,5d$ .

Схемы проведения измерения твердости приведена на рис. 1 (а).

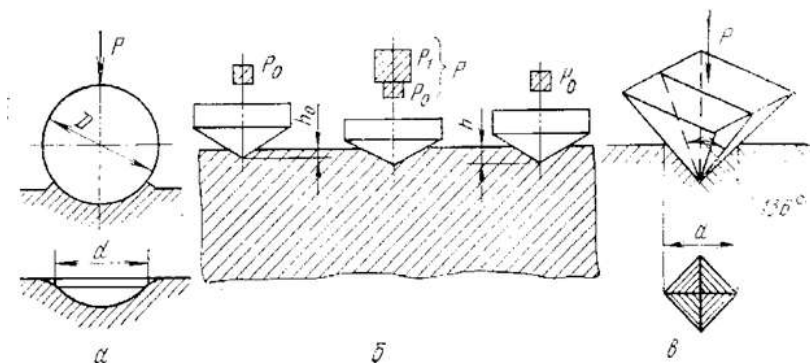


Рис.1 Схемы замера твердости: а – по Бринеллю, б –по Роквеллу, в –по Виккерсу

Для определения твердости по Бринеллю применяют специальные приборы стационарного типа ТШ или ТШК с гидравлическим или рычажно-механическим приводом (рис. 2).

Прибор состоит из чугунной станины 1, опорного столика 2 для помещения образца, шарика 3, вставленного в шпиндель 4, рычажной системы 5 с грузами 6 и червячной передачей с шатуном 7. Нагружение производится при помощи электродвигателя 8. Опорный столик может перемещаться в вертикальном направлении при помощи подъемного винта 9 и маховик к 10. Предварительное нагружение для предотвращения смещения образца во время испытания производится пружиной 11.

## 2.2 Определение твердости по методу Роквелла

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца алмазного конусного (шкалы А, С, D) или стального сферического

наконечника (шкалы В, Е, F, G, К) под действием последовательно прилагаемых предварительного  $F_0$  и основного  $F_1$  усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия  $F_1$ . Наиболее часто используются три шкалы метода Роквелла: А, В, С. Выбор наконечника и нагрузки для испытания по методу Роквелла представлен в табл. 1.

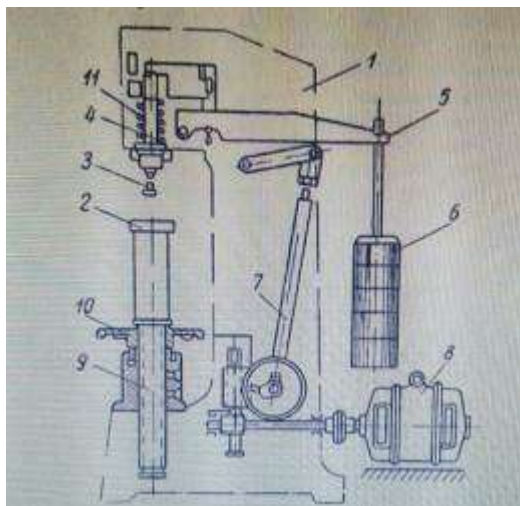


Рис.2 Прибор для определения твердости ТШ

Таблица 1. **Определение твердости по методу Роквелла**

Испытуемый материал	Наконечник	Цвет шкалы	Нагрузка, кг	Шкала	Обозначение твердости
Мягкие цветные металлы и их сплавы	Шарик (диаметр 1,59 мм)	Красный	100	В	HRB
Мягкие цветные металлы и их сплавы	Алмазный конус	Черный	150	С	HRC
Особо твердые материалы (белый чугун, ме-	Алмазный конус	Черный	60	А	HRA



таллокерамическ е твердые сплавы)					
---	--	--	--	--	--

Твердость по Роквеллу обозначают символом HR с указанием шкалы твердости. Число твердости по Роквеллу определяется по шкале индикатора или показателя цифрового отсчитывающего устройства с округлением до 0,5 единицы твердости.

Например: 61,5 HRC - твердость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале C.

Число твердости по Роквеллу является условной величиной и *определяется разностью глубин, на которые перемещается наконечник под действием последовательно приложенных нагрузок.* Чем больше величина вдавливания, тем меньше величина твердости HR. Единица твердости по Роквеллу - безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индикатора на 0,002мм

*Требования к образцам и проведению испытаний:*

- ✓ шероховатость поверхности образца Ra должна быть не более 2,5 мкм;
- ✓ толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основного усилия;
- ✓ расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка, но не менее 2 мм;
- ✓ расстояние от центра до края образца должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка (но не менее 1 мм).

Наличие различных шкал твердости, условный и безразмерный численный результат испытаний, сравнительно низкая чувствительность делают метод Роквелла лишь средством быстрого и упрощенного технического контроля. Однако отпечатки на поверхности деталей имеют небольшие размеры и практически безвредны для дальнейшей эксплуатации деталей.

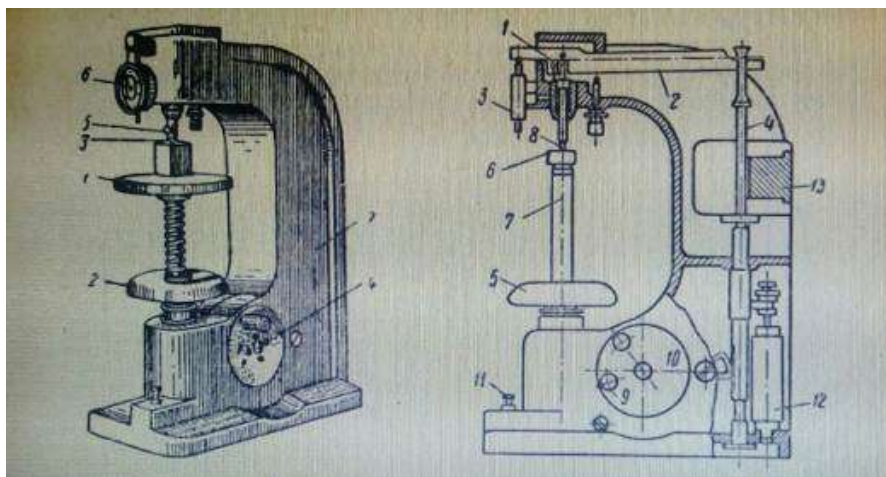


Рис.3 А-прибор Роквелла: 1-подставка, 2-маховик, 3-алмазный конус, 4-рукоятка, 5-наконечник, 6-индикатор, 7-станина;  
Б-схема дюрометра Роквелла

На опоре 1 вращается рычаг 2, соприкасающейся с одной стороны с индикатором 3, а с другой стороны с вертикальной тягой 4 с грузами. При помощи маховичка 5 испытываемый образец 6, помещённый на предметный столик 7, подводят к наконечнику с шариком или с алмазным конусом 8. Маховичок медленно вращают до тех пор, пока малая стрелка индикатора не придет к нулю, а большая не займёт почти вертикальное положение. Затем шкалу индикатора поворачивают так, чтобы нулевая точка шкалы С совпадала с острием большой стрелки (при работе с шариковым наконечником большая стрелка устанавливается на деление 30 шкалы В). В этот момент наконечник 8 оказывается нагруженным силой в 10 кг. Это предварительная нагрузка устраняет влияние мелких неровностей поверхности образца на результаты его испытания. Рукоятка 9 на диске 10 служит для поднятия вертикальной тяги с грузом, когда нужно разгрузить испытываемый образец. Нажимая кнопку 11, приводят в действие с помощью моторчика нагружающий механизм, при этом рукоятка диска переместится, а вертикальная тяга с грузами опустится, постепенно нагружая наконечник до 100 или 150 кг. Масляный катаракт 12 регулирует скорость нагружения грузом 13. Затем поворотом рукоятки 9 прежнее положение нагрузки сжимают до 10 кг. Стрелка индикатора покажет число твердости, которая зависит от глубины вдавливания шарика или конуса при увеличении нагрузки от 10 до 100 или 150 кг.

### Порядок выполнения работы:

1. Подготовить образец.
  2. Образец должен иметь чистую и плоскую поверхность.
  3. Толщина образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка.
  4. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее 2,5 диаметров отпечатка, а от центра соседнего отпечатка на расстоянии не менее четырех диаметров отпечатка.
  5. Провести испытание по Бринеллю.
    - 5.1 Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной нагрузке.
    - 5.2 Испытуемый образец положить на столик прибора.
    - 5.3 Вращением маховика прижать образец к шарiku.
    - 5.4 Включить электродвигатель.
    - 5.5 После снятия нагрузки опустить столик.
    - 5.6 Измерить полученный отпечаток лупой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.
    - 5.7 В результате вдавливания шарика на поверхности образца образуется отпечаток.
    - 5.8 Диаметр отпечатка характеризует твердость образца.
- Число твердости по Бринеллю подсчитывают по формуле:
- $$HB = F/A = 2F/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2});$$
- где F – приложенная нагрузка, кгс, D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.
- Диаметр шарика, величину нагрузки на образец, время выдержки нагрузки в зависимости от твердости испытуемого образца определяются по таблице (ГОСТ 9012 – 59).
- 5.10 По таблице определить твердость.
  - 5.11 Результаты испытаний занести в таблицу 2.

Таблица 2

#### Результаты испытаний

Материал образца	Условия испытания			Диаметр отпечатка, мм			Твердость НВ, кг/мм <sup>2</sup>
	Нагрузка, кг	Диаметр шарика, мм	Время выдержки, сек	Первое измерение	Второе измерение	Среднее значение	

6. Провести испытание по Роквеллу.
  - 6.1 Подвесить груз, соответствующий наконечнику и шкале (Табл.3)

Таблица 3

## Выбор нагрузки наконечника

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка, кг	Обозначение твердости	Пределы измерения
В	Стальной шарик 1,588 мм	100	HRB	25...100
С	Алмазный конус	150	HRC	20...67
А	Алмазный конус	60	HRA	70...85

6.2 Образец положить на столик прибора.

6.3. Вращением маховика поджимать образец к наконечнику до тех пор, пока маленькая стрелка индикатора не установится против красной точки – это означает, что дана предварительная нагрузка 10 кг. Большая стрелка должна указывать на нуль шкалы индикатора с погрешностью + 5 делений.

6.4. Вращением барабана 9 установить большую стрелку на нуль черного цвета.

6.5. Плавно нажать на клавишу 10 (при этом включается механизм нагружения).

6.6. После окончания цикла нагружения произвести отсчет по шкале индикатора.

6.7. Снять предварительную нагрузку вращением маховика 8 против часовой стрелки.

6.8. Испытание провести не менее трёх раз.

6.9. Результаты испытаний занести в таблицу 4

Таблица 4

## Результаты испытаний

Материал образца	Условия испытания			Диаметр отпечатка			Твердость HRC, кг/мм <sup>2</sup>
	Нагрузка, кг	Диаметр шарик	Время выдержки	Первое измерение	Второе измерение	Среднее значение	

		а, мм				ие	

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### Тема3.1.

#### Общая характеристика металлических сплавов.

#### Диаграмма состояния сплавов

#### Практическое занятие 2

#### Цель:

- Изучить диаграмму состояния сплавов;
- Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве;
- определить фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от их химического состава и температуры.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

#### Материальное обеспечение:

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния.

#### Задание:

- 1.Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния сплавов. (железо- цементит)
- 2 Заполнить таблицу координат точек диаграммы железо-цементит
3. На миллиметровой бумаге выстроить диаграмму состояния сплава
4. Ответить на контрольные вопросы

Точка	Темпер	Содер	Точка	Темпер	Содер	Точка	Темпер	Содер

диаграмма	температура, °C	содержание углерода, масс. %	диаграмма	температура, °C	содержание углерода, масс. %	диаграмма	температура, °C	содержание углерода, масс. %

### Краткие теоретические сведения

Одной из важнейших задач практического металловедения является построение и изучение диаграмм состояния.

Диаграммой состояния называется графическое изображение фазового состояния сплавов данной системы в зависимости от их концентрации и температуры. По этой диаграмме можно качественно судить о структуре сплавов, их физико-химических, физических, механических и технологических свойствах.

Для системы сплавов, состоящих из двух компонентов А и В, диаграмма состояния изображается в двух измерениях: по оси абсцисс откладывается концентрация компонентов, а по оси ординат — температура (рис. 4).

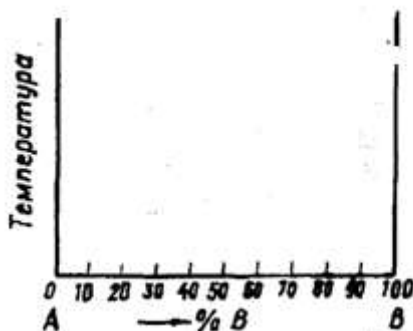


Рис.4 – Диаграмма состояния

Диаграммы состояния строятся экспериментально путем нахождения критических точек чистых компонентов А и В и ряда их сплавов.

Критическими точками называются температуры, при которых происходит изменение фазового состояния сплавов или чистых компонентов.

Линии диаграммы являются геометрическими местами критических точек, соответствующих аналогичным изменениям фазового состояния.

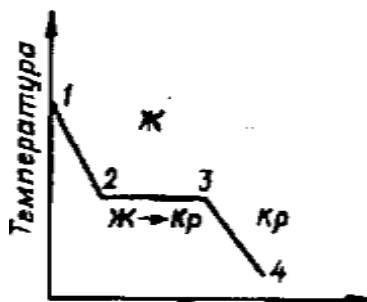
Определение критических точек производится с помощью ряда методов физико-химического анализа: термического, металлографического, dilatометрического, измерения электрических, магнитных свойств и т.д. Любой из этих методов основан на том, что изменение фазового состояния сплава сопровождается скачкообразным изменением его свойств.

Одним из наиболее простых и широко используемых методов является термический. Термический метод основан на том, что при изменении фазового состояния металла или сплава меняется его теплосодержание, так как фазовые превращения, согласно принципу Ле-Шателье, происходят либо с выделением, либо с поглощением тепла.

Для определения критических точек металла или сплава термическим методом производится построение кривых охлаждения (или нагрева) в координатах температура — время. Тепловой эффект фазового превращения сказывается на скорости изменения температуры системы, в результате чего на кривой охлаждения появляется точка перелома, соответствующая критической точке материала. Превращение может происходить как при постоянной температуре (тогда на кривой охлаждения имеется площадка), так и в интервале температур (тогда на кривой охлаждения имеются две точки перелома: точка начала и точка конца превращения).

Для объяснения вида кривых охлаждения и нагревания пользуются правилом фаз Гиббса. Правило фаз дает количественную связь между числом степеней свободы системы ( $C$ ), количеством фаз ( $\Phi$ ) и компонентов ( $K$ ) и выражается уравнением  $C = K - \Phi + 2$ .

Если принять, что фазовые превращения происходят при постоянном давлении, то правило фаз принимает следующий вид:  $C = K - \Phi + 1$ . Если  $C = 0$ , то фазовое превращение происходит при постоянной температуре, а если  $C = 1$ , — в интервале температур. На рис. 2 представлена кривая охлаждения чистого металла. Участок 1 — 2 соответствует охлаждению жидкого металла (на рис. 2, Ж — жидкий металл, Кр — кристаллический, твердый металл). В точке 2 начинается процесс кристаллизации, т.е. переход из жидкого в твердое состояние. Изменение фазового состояния металла приводит к появлению на кривой охлаждения точки перелома. Решая уравнение правила фаз для кристаллизации чистого металла, получаем  $C = 0$ , т.е. процесс кристаллизации в чистом металле происходит при постоянной температуре.



В точке 3 кристаллизация заканчивается, металл полностью переходит в твердое состояние. На кривой охлаждения снова появляется точка перелома. Точкам перелома 2 и 3 на кривой охлаждения соответствует температура кристаллизации металла, являющаяся его критической точкой. На участке 3 — 4 происходит охлаждение затвердевшего металла.

### Контрольные вопросы

1. Какие фазы образуются в железоуглеродистых сплавах?
2. Что такое феррит, аустенит, цементит, графит, ледебурит, перлит?
3. Какие сплавы называют техническим железом?
4. Что такое сталь?
5. Опишите доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали?
6. Что такое чугуны?
7. Опишите доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны?
8. Какой основной химический элемент является обязательным компонентом в сталях и чугунах? Какова его массовая доля?

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## Тема 3.2 Диаграммы состояния сплавов двухкомпонентных систем

### Практическое занятие 2

**Построение диаграмм состояния сплавов с использованием метода термического анализа. Решение задач по диаграммам состояния двухкомпонентных систем**

**Цель:** -изучение методики проведения термического анализа;  
 -изучение основных типов диаграмм состояния двойных систем.  
 -приобретение практических навыков изучения превращений, протекающих при кристаллизации сплавов;



-анализ полученных данных и определение возможности их использования на практике

### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

### **Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния.

### **Задание:**

1. Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния в координатах: *температура* – концентрация и составьте опорный конспект;
2. Постройте Диаграмму состояния А-В, где А 30%, В-70%;
3. Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния 1 типа – для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;
  - 3.1 Постройте кривые охлаждения Pb-Sb, где:  
а — 5% Sb, б — 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb;
  - 3.2 Вычертите Диаграмму состояния Pb-Sb, укажите линии Ликвидуса и Солидуса, эвтектику, укажите критические точки;
  - 3.3 Проанализируйте диаграмму состояния Pb-Sb по алгоритму:
  - 3.3 Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-60%, Sb-40% при  $T=395^{\circ}$
4. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния 2 типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде»
5. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии»
6. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения»
7. Сделайте вывод о проделанной работе.

### **Краткие теоретические сведения**

*Термический анализ* является одним из методов определения температур фазовых превращений вещества, сопровождающихся тепловыми эффектами.

Метод основан на построении кривых охлаждения (нагрева) в координатах «температура вещества – время охлаждения (нагрева)». Если при охлаждении (нагревании) в веществе

не происходят фазовые превращения, то кривая охлаждения имеет вид плавной нисходящей линии. При фазовых превращениях на кривой появляются горизонтальные (изотермические) участки или изгибы, обусловленные выделением (поглощением) тепла, вызывающем изменение скорости охлаждения (нагрева).

Процесс кристаллизации металлических сплавов и некоторые закономерности в их строении описываются с помощью *диаграмм состояния* или *диаграмм фазового равновесия*. Эти диаграммы в графической форме показывают фазовый состав и структуру в зависимости от температуры и концентрации. Они построены для условий равновесия. Равновесное состояние соответствует минимуму свободной энергии и в связи с этим является стабильным. При данных температуре и давлении в условиях равновесия свободная энергия должна оставаться постоянной.

Прежде чем перейти к рассмотрению диаграмм состояния, дадим точные определения основным понятиям, которыми придется оперировать.

**Фаза** – это однородная часть системы, отделенная от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав, структура и свойства вещества изменяются скачком. Однородная жидкость является однофазной системой, смесь жидкости и твердого вещества – двухфазной, твердый раствор – однофазной, механическая смесь двух твердых растворов – двухфазной.

**Компонентами** называются вещества, образующие систему. Чистый металл – это однокомпонентная система, сплав двух металлов — двухкомпонентная.

## 1. Диаграммы состояния.

К внешним факторам, влияющим на состояние сплава, относятся температура и давление, к внутренним – концентрация

Диаграммы состояния характеризуют процессы затвердевания и структурного изменения различных систем сплавов и дают наглядное представление о структуре любого сплава данной системы. Имея диаграмму состояния сплавов данных компонентов, можно заранее судить о свойствах всех сплавов данной системы.

Диаграмма состояния позволяет научно подойти к выбору режимов горячей и термической обработки сплавов.

Диаграмма состояния строится в координатных осях, по которым откладывают *температуру* (в градусах Цельсия) и *массовую долю компонентов* (от 100 % одного до 100 % другого- концентрация) –рис.1.

Для сплавов, состоящих из двух компонентов А и В, состав характеризуется отрезком прямой, принятым за 100%.

Крайние точки А и В соответствуют 100% чистых компонентов.

Любая точка на этом отрезке характеризует состав двойного сплава.

Так, например, точка С соответствует сплаву, состоящему из 20% В и 80% А, точка D соответствует сплаву, состоящему из 60% В и 40% А.

Для построения диаграммы состояния из компонентов изготавливают серию сплавов различного состава и для каждого из них строят кривую охлаждения по результатам термического анализа (так же, как для чистых металлов).  
 .Линии на диаграмме являются геометрическим местом критических температур, под которыми понимаются температуры фазовых превращений. Для их определения строят кривые охлаждения для сплавов различного состава и по остановкам и перегибам на этих кривых определяют температуры превращений – критические точки. Для их определения строят кривые охлаждения для сплавов различного состава и по остановкам и перегибам на этих кривых определяют температуры превращений – критические точки. Критические точки каждого сплава наносят на сетку в координатах температура концентрация

Схема установки для термического анализа приведена на рисунке 2.

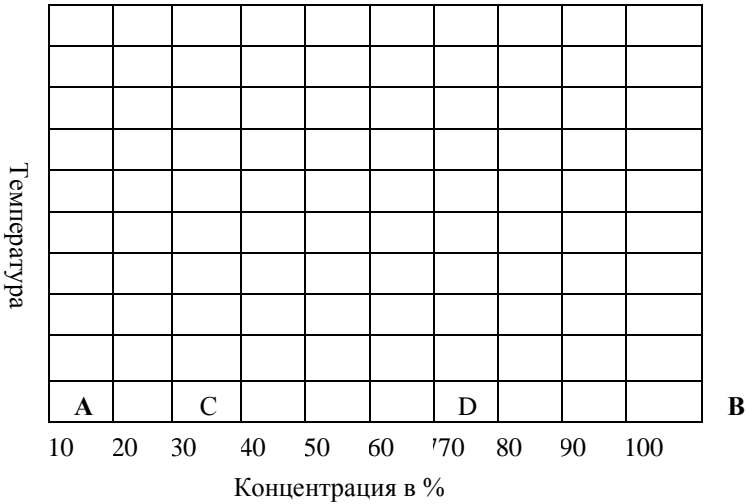


Рис.5 Диаграмма состояния

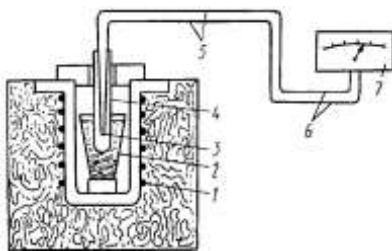


Рис.6Схема установки для исследования процесса кристаллизации сплавов методом термического анализа

В печь 1 помещают тигель 2 с исследуемым сплавом. Сплав расплавляют и опускают в него горячий спай термопары 3, защищенной фарфоровым или кварцевым чехлом 4. Печь выключают, и начинается охлаждение сплава. К холодным концам 5 термопары протекает электрический ток, возникающий из-за разности потенциалов в горячем спае. Ток по проводам 6 идет к гальванометру 7, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия. Сила тока в термопаре пропорциональна температуре сплава. Через определенные короткие равные отрезки времени фиксируют температуру и записывают в таблицу. После полного охлаждения сплава строят график «температура – время» (кривая охлаждения).

## 2. Диаграммы состояния I типа – для случая нерастворимости в твердом состоянии

Диаграммы состояния **I типа** характеризуют системы, компоненты которых в жидком состоянии полностью взаимно растворяются, а в твердом состоянии образуют механическую смесь кристаллов обоих компонентов (элементы, входящие в состав не растворяются друг в друге в твердом состоянии).

Построение диаграммы состояния I типа разберем на примере системы сплавов свинец — сурьма ( $Pb-Sb$ ).

Чтобы не делать наблюдений над всеми составами сплавов, ограничимся анализом лишь шести сплавов данной системы с содержанием сурьмы 5, 10, 13, 20, 40 и 80%.

Если нагреть каждый из этих сплавов до полного расплавления и с помощью пирометра и счетчика времени зафиксировать процесс их охлаждения, то по полученным данным можно построить кривые, приведенные на рис. 3.

Перегибы и горизонтальные участки кривых – характеризуют **замедление или остановки падения** температуры сплавов при равномерном охлаждении и показывают наличие критических точек при данных температурах.

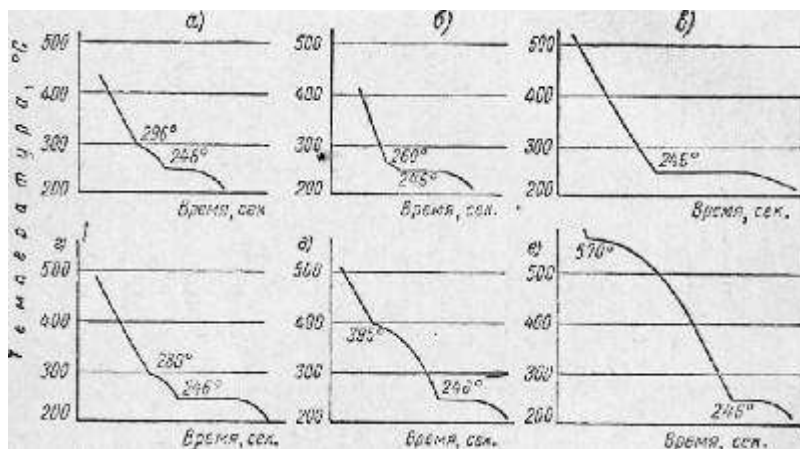


Рис 7. Кривые охлаждения Pb-Sb, где:

а — 5% Sb, б — 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb

*Верхние критические точки* соответствуют началу перехода сплавов из **жидкого состояния в твердое**, *нижние — окончательному затвердеванию*.

*Для построения диаграммы состояния сплавов отметим в масштабе:*

- *по горизонтали* – точки взятых нами сплавов, принимая, что слева будет чистый свинец, а справа — чистая сурьма (рис. 25).
- *по вертикали* разметим шкалу температуры и отложим критические температуры указанных сплавов.

Свинец имеет температуру плавления  $327^{\circ}$ , сурьма  $630^{\circ}$ .

Соединяя *нижние критические точки*, получим прямую **DE**, а соединяя *верхние точки* — две кривые **AB** и **BC**, сходящиеся в точке **B** с прямой **DE**.

Построенная диаграмма показывает:

- ✓ **начало затвердевания** различных сплавов системы происходит при различных температурах,

- ✓ окончание затвердевания — при одной определенной температуре для всей данной системы сплавов,
- ✓ один сплав (13% Sb) имеет, как и чистые металлы, только одну критическую точку В, в которой происходит его полное затвердевание.

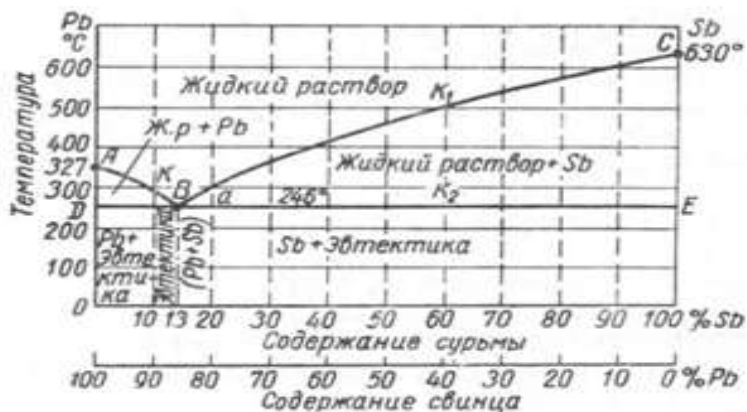
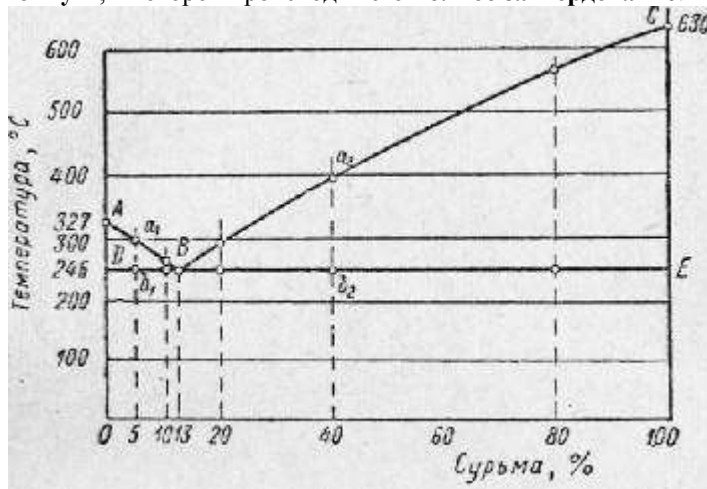


Рис.8 Диаграмма состояния Pb-Sb

Выше линии ABC все сплавы находятся в жидком состоянии (Рис.4 ). Линия ABC называется линией ликвидуса (ликвидус-лат. –жидкий).

Ниже линии DBE все сплавы находятся в твердом состоянии. Линия DBE называется линией солидус (солидус-лат.твердый).

Проследим процесс кристаллизации сплавов.

В точке В при содержании 13% Sb, 87% Pb и при температуре  $246^{\circ}$  кристаллизация свинца и сурьмы происходит одновременно – образуется тонкая механическая смесь кристаллов свинца и сурьмы (двух фаз). Эта смесь называется эвтектикой, а сплав соответствующего состава — эвтектическим (рис.5).

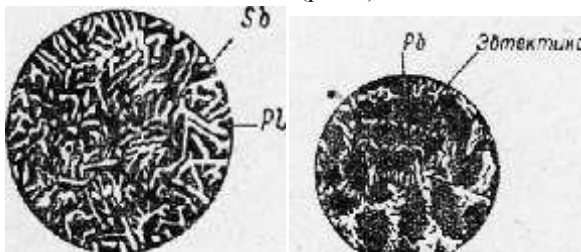


Рис.9 Механическая смесь Pb-Sb

Сплавы, содержащие меньше 13% Sb, называются доэвтектическими, а содержащие больше 13% Sb — заэвтектическими.

Общее по диаграмме сплавов свинец — сурьма, отметим следующее:

- а) по линии АВ диаграммы начинается выпадение кристаллов свинца;
- б) в области диаграммы ABD находятся кристаллы свинца и жидкий раствор, концентрация которого около линии BD приближается к эвтектической;
- в) по линии BD затвердевает весь оставшийся маточный раствор эвтектического состава;
- г) ниже линии BD находятся твердые доэвтектические сплавы, состоящие из кристаллов свинца и эвтектики;
- д) по линии ВС начинается выпадение кристаллов сурьмы;
- е) в области диаграммы CBE находятся кристаллы сурьмы и жидкий раствор, концентрация которого около линии BE приближается к эвтектической;
- ж) по линии BE затвердевает весь оставшийся маточный раствор эвтектического состава;
- з) ниже линии BE находятся твердые заэвтектические сплавы, состоящие из кристаллов сурьмы и эвтектики.

Доэвтектический сплав, содержащий 5% Sb, выше первой критической точки  $a_1$  находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке  $a_1$  из жидкого раствора выпадают центры кристаллизации (центрами кристаллизации называют мельчайшие

частицы, зарождающиеся в жидком растворе или твердом металле) чистого свинца, так как свинец в этом сплаве находится в количестве избыточном по сравнению с эвтектическим составом.

При дальнейшем охлаждении между точками  $a_1$  и  $b_1$  продолжается рост имеющихся кристаллов свинца и выпадение новых, поэтому количество свинца в жидком (маточном) растворе постепенно уменьшается, и около точки  $b_1$  маточный раствор имеет эвтектический состав. В точке  $b_1$  при температуре  $246^\circ$  происходит кристаллизация всего оставшегося маточного раствора эвтектического состава.

Ниже точки  $b_1$  сплав находится в твердом состоянии и представляет смесь кристаллов избыточного свинца и эвтектики.

Аналогично идет процесс кристаллизации заэвтектических сплавов

### *Правило отрезков (рычага).*

Пользуясь диаграммой состояния можно определить количество эвтектики в сплаве, а также жидкого раствора и его концентрацию в любой момент затвердевания сплава, т.е. можно определить составляющие сплава не только качественно, но и количественно (Рис.4).

Для количественных определений пользуются правилом отрезков.

По этому правилу- *количество данной составляющей = отношению отрезка, прилежащего к противоположной составляющей, ко всему отрезку.*

Рассмотрим пример (рис 4):

Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-20%, Sb-80% при  $T=280^\circ$ .

1. Состав жидкой части сплава при данной температуре определяется точкой К (20%Sb).
2. Сплав состоит из кристаллов Sb (количественно обозначим  $Q_t$ ) и жидкой части сплава (количественно обозначим  $Q_{ж}$ ).
3. Линия сплава I – I делит горизонтальную линию КМ длиной 80 единиц (от 20 до 100) на отрезок КЛ длиной 60 единиц (от 20 до 80) и ЛМ длиной 20 единиц (от 80 до 100).

По правилу отрезков:

$$Q_t = \text{КЛ}/\text{КМ} \cdot 100\% = 60/80 \cdot 100\% = 75\% - \text{кристаллов сурьмы.}$$

$$Q_{ж} = \text{ЛМ}/\text{КМ} \cdot 100\% = 20/80 \cdot 100\% = 25\% - \text{жидкого состава.}$$

Т.е. этот сплав при  $280$  градусах будет состоять из 75% кристаллов сурьмы и 25% жидкого сплава.



Соотношение жидкой и твердой фаз в любой точке отрезка (при любой температуре затвердевания сплава) определяется плечами горизонтального рычага, проведенного через данную точку.

## 2 Диаграмма состояния 2 типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде

Диаграммы состояния II типа характеризуют системы, компоненты которых взаимно полностью растворяются как в жидком, так и в твердом состоянии. Примером этого может служить система сплавов медь — никель (Cu — Ni).

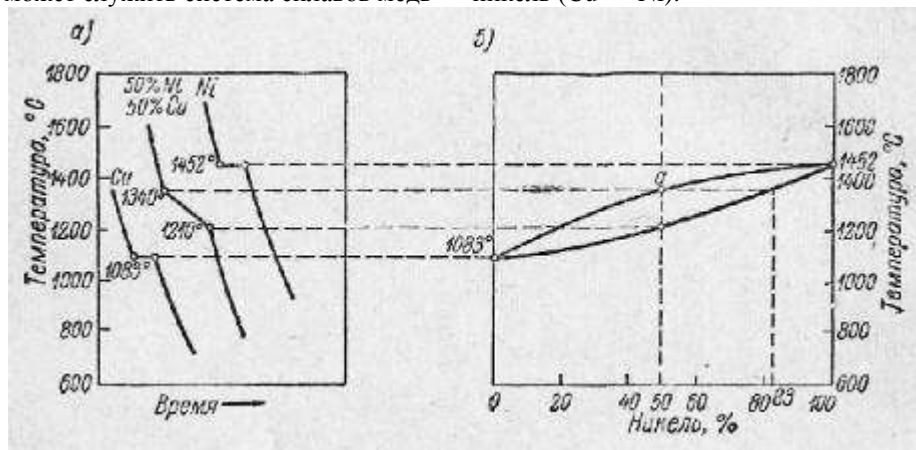


Рис. 10 Диаграмма состояния сплавов Медь-Никель(Cu-Ni)

Кристаллизация при постоянной температуре наблюдается только у чистых металлов, а сплавы кристаллизуются в интервале температур между ликвусом и солидусом.

Для различных сплавов начало и окончание затвердевания происходит при различных температурах.

Проследим процесс затвердевания на примере сплава, содержащего 50% Cu (рис.6).

Выше точки а сплав находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке а из жидкого раствора начинают выделяться кристаллы в виде твердого раствора меди в никеле, причем концентрация этого *первоначального твердого раствора отличается от исходной повышенным содержанием высокоплавкого компонента (Ni)* и может быть приблизительно определена, если из точки а провести горизонталь до пересечения с линией солидуса. В нашем примере концентрация никеля в центрах кристаллизации достигнет 83%. При дальнейшем охлаждении кристаллы твердого раствора растут неоднородными за счет жидкой фазы, непрерывно обедняющейся никелем.

При медленном охлаждении в каждый момент кристаллизации, состав самих кристаллов выравнивается за счет диффузии.

Если же охлаждение в процессе кристаллизации происходит быстро, состав внутри кристаллов не успевает выравниваться и внутренние части каждого кристалла содержат больше тугоплавкого компонента (никеля), чем внешние.

Это явление называется **внутрикристаллической ликвацией**.

Таким образом, ликвацией называют неоднородность химического состава сплавов, возникающую при кристаллизации.

Внутрикристаллическая ликвация может быть уничтожена отжигом, и тогда сплав — твердый раствор будет всюду иметь исходную концентрацию никеля (50%).

Следовательно, сплавы — твердые растворы в отличие от сплавов — смесей являются **однофазными**.

Взаимная растворимость компонентов в твердом состоянии определяется:

- 1) близостью их расположения в периодической системе Менделеева (т. Е. сходностью строения электронных оболочек их атомов);
- 2) близостью атомных диаметров;
- 3) подобием формы кристаллических решеток;
- 4) близостью температуры плавления компонентов.

При уменьшении сродства компонентов по одному или нескольким из этих признаков образуются системы сплавов с **ограниченной взаимной растворимостью**.

### 3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Характерной особенностью такой диаграммы является наличие при температурах ниже линии солидуса (т.е. для твердого состояния) линии (или линий) ограниченной растворимости

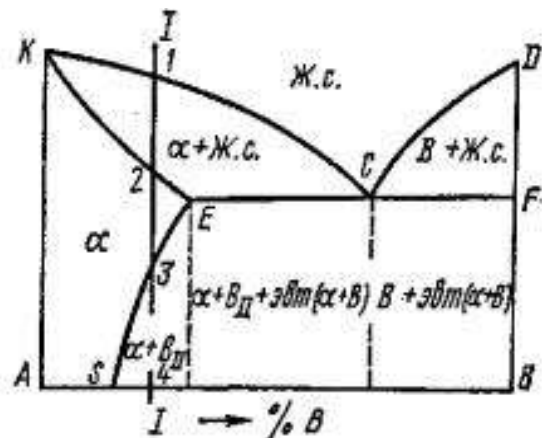


Рис.7. Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии

1. На этой диаграмме верхняя линия KCD – линия ликвидуса, показывающая температуры плавления сплавов;
2. Линия KECF – линия солидуса, показывающая температуры затвердевания сплавов.
3. Ниже линии KECF все сплавы, состоящие из компонентов А и В находятся полностью в твердом состоянии.
4. Линия SE показывает изменение растворимости с понижением температуры компонента В в компоненте А в твердом состоянии. (с понижением температуры растворимость уменьшается).
5. При кристаллизации сплава, состав которого левее точки S, при любой температуре все количество компонента В находится в твердом растворе.
6. Другой характер имеет кристаллизация и структура сплавов, состав которых находится правее точки S, т. Е. за пределом растворимости.
7. Рассмотрим для примера процессы, происходящие при охлаждении, например, сплава I – I
8. Выше температуры точки  $t_1$  сплав жидкий.
9. Ниже температуры точки  $t_1$  – начинается кристаллизация и до температуры точки  $t_2$  образуются кристаллы твердого раствора Б в А (обозначим их  $\alpha$  ).
10. В точке 2 сплав имеет структуру кристаллов  $\alpha$
11. При охлаждении до температуры  $t_3$  (от точки 2 до точки 3) происходит охлаждение сплава без изменения его структуры.
12. При температуре точки 3 линия I-I сплава пересекает линию SE предельной растворимости компонента В в А.
13. Ниже этой температуры (ниже точки 3)растворимость становится все меньшей и меньшей. Все количество компонента В уже не может находиться в растворе. Часть компонента В выходит из раствора и образует отдельные кристаллы компонента В, называемые вторичными (ВII).

Вывод: Таким образом, после полного охлаждения сплав имеет структуру, состоящую из твердого раствора  $\alpha$  и вторичных кристаллов компонента В (ВII).

Процесс выделения вторичных кристаллов из твердого раствора называется вторичной кристаллизацией, в отличие от образования кристаллов в жидком сплаве {первичная кристаллизация}.

14. В сплавах, лежащих по составу правее точки Е, т. Е. на линии ECF, образуется эвтектика. Особенность этой эвтектики в том, что она представляет смесь не кристаллов А и В, а кристаллов твердого раствора  $\alpha$  и кристаллов компонента В.

4 Диаграмма состояния сплавов для случая образования компонентами химического соединения

Химическое соединение обозначают  $AmBn$ .

Это означает, что в данном соединении на  $m$  атомов компонента А приходится  $n$  атомов компонента В.

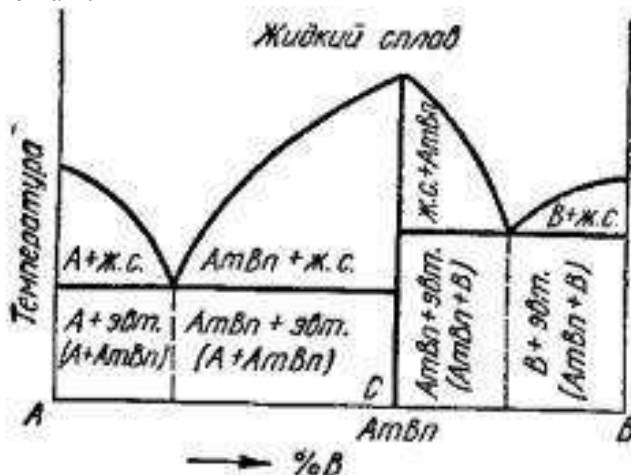


Рис.8 Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения

Состав химического соединения является постоянным, т. Е. при нагреве и охлаждении не изменяется.

Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения имеет вид, показанный на рис.8.

1. Диаграмма как бы составлена из двух диаграмм, когда образуется механическая смесь.
  2. В сплавах левее точки С (соответствующей по составу химическому соединению  $AmBn$ ) имеется компонента А больше, чем входит в химическое соединение.
  3. Следовательно, в этих сплавах левее точки С образуется механическая смесь  $AmBn + A$
  4. В сплавах правее точки С компонента В больше, чем может входить в химическое соединение.
  5. Следовательно, в этих сплавах образуется механическая смесь  $AmBn + B$
- ВЫВОД:**
6. В левой части диаграммы образуется ЭВТЕКТИКА, состоящая из кристаллов А и химического соединения  $AmBn$ , а в правой – ЭВТЕКТИКА, состоящая из кристаллов В и химического соединения  $AmBn$ .

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния в координатах: *температура – концентрация* и составьте опорный конспект;
  2. Постройте Диаграмму состояния А-В, где А 30%, В-70%;
  3. Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния 1 типа - для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;
    - 3.1 Постройте кривые охлаждения Pb-Sb, где:  
а — 5% Sb, б — 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb;
    - 3.2 Вычертите Диаграмму состояния Pb-Sb, укажите линии Ликвидуса и Солидуса, эвтектику, укажите критические точки;
    - 3.3 Проанализируйте диаграмму состояния Pb-Sb по алгоритму:
      - Выделить линию солидус.
      - Под наклонным участком линии солидус находится одна фаза - твердый раствор.
      - Под горизонтальной прямой линии солидус находится механическая смесь фаз, состав этой смеси на «боковых стенках», ограничивающих эту область
      - Если имеется эвтектика, необходимо из т. е опустить перпендикуляр и указать состав эвтектики (ее состав находится на концах прямой эвтектического превращения).
      - Если имеется линия понижения растворимости, то необходимо из ее вершины опустить перпендикуляр и указать состав выделяющейся вторичной фазы. Состав выделяющейся вторичной фазы находится на противоположном конце прямой эвтектического (эвтектоидного) превращения
- 3.3 Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-60%, Sb-40% при  $T=395^{\circ}$
8. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния 2 типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде»
    - Вычертите Диаграмму состояния Cu-Ni и проанализируйте диаграмму.
    - Проведите фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре (температура задается преподавателем).

- Опишите все изотермические превращения в данной диаграмме.
  - Во всех областях диаграммы укажите структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия.
9. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии»
- Вычертите Диаграмму состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии
  - Провести фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре
  - Описать все изотермические превращения в данной диаграмме.
  - Во всех областях диаграммы указать структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия.
10. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения»
- Вычертите Диаграмму состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии
  - Провести фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре
  - Описать все изотермические превращения в данной диаграмме.
  - Во всех областях диаграммы указать структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия
11. Сделайте вывод о проделанной работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### **Тема 3.2.**

**Диаграммы состояния сплавов двухкомпонентных систем.**

**Решение задач по диаграммам состояния двухкомпонентных систем.**

#### **Цель:**

- научиться определять структуру;
- описывать изотермические превращения по диаграммам

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать

полученные теоретические знания  
-формировать умения применять полученные знания на практике

### **Задачи:**

1. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей твердость 500 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура при этой обработке получается.
2. Чем объясняется упрочнение металла при пластической деформации?
3. Что такое эвтектика? Приведите пример какого-либо сплава, имеющего строение эвтектики.
4. Какие процессы происходят при горячей пластической деформации и как при этом изменяются строение и свойства металла?
5. Что такое твердый раствор? Виды твердых растворов. Приведите примеры.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## **Тема 4.1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.**

### **Практические занятия 2**

#### **Упражнения по теме «Превращение и формирование равновесной структуры сплавов Fe-C»**

**Цель:** изучение структуры и свойств железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии на основе диаграммы состояния железо-углерод (Fe3C).

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

#### **Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния

### **Задание:**

1. Изучить диаграмму состояния железо-цементит.
2. Изучить превращение из жидкого состояния в твердое (первичную кристаллизацию).
3. Изучить превращение в твердом виде (вторичную кристаллизацию)
4. Охарактеризовать фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
5. Самостоятельно вычертить диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
6. Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод
7. Рассмотреть под микроскопом, зарисовать и описать микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
8. Построить кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 0,2 % C и 1,2 %C с помощью правила фаз и объяснить какие фазовые превращения протекают в точках перегиба кривой
9. Определить с помощью правила отрезков количественное соотношение фаз заданного сплава с 0,4 %C и 3,4 % C при комнатной температуре (.
10. Изучить классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
11. Оформить отчёт по работе.

### **Краткие теоретические сведения:**

При весьма медленном охлаждении сплавов железо — углерод происходит **выделение графита**. Для этого случая на диаграмме, кроме сплошных линий знакомой уже нам системы железо — цементит, нанесены пунктирные линии системы железо — графит, несколько смещенные влево вверх (соответственно изменяется положение критических точек по концентрации и температуре).

Таким образом, получаются **как бы две диаграммы**, наложенные друг на друга, цементитная метастабильная (относительно устойчивого равновесия) и графитная стабильная (абсолютно устойчивого равновесия) — рис.1.



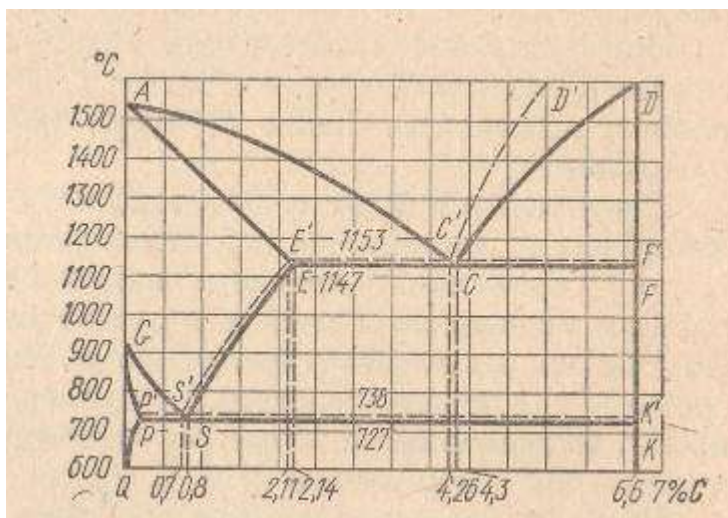


Рис.1 Общий вид современной диаграммы состояния Fe-C

В применяемых сплавах Fe с C содержание C не превышает 5%. Поэтому диаграмму состояния Fe-C рассматривают не полностью от 0 до 100%, а именно до 6,67% C, что соответствует содержанию C в **цементите**. Такую диаграмму обычно называют **железо-цементит** (Fe-Fe<sub>3</sub>C)

Диаграмма состояния Fe -C(в упрощенном виде) приведена на рис. 2

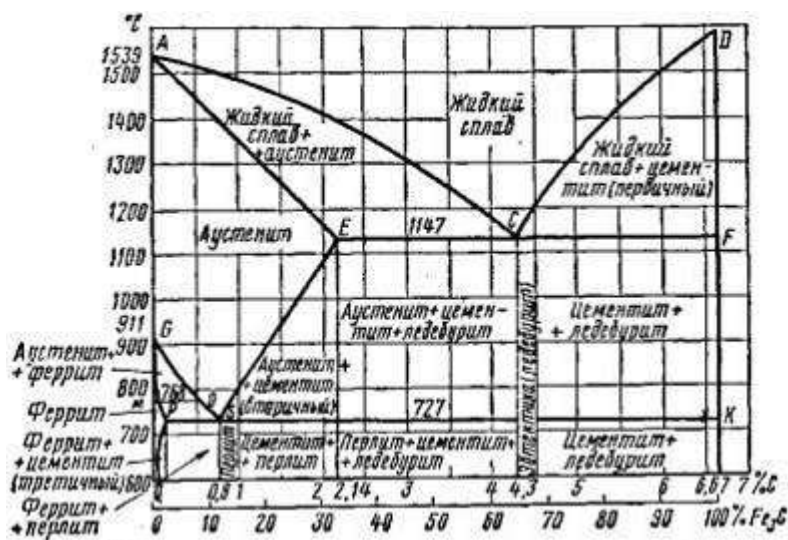


Рис.2 Диаграмма состояния Fe -C(в упрощенном виде)

На этой диаграмме точка А ( $1539^{\circ}\text{C}$ ) соответствует температуре плавления (затвердевания) **железа**, а точка D ( $\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ) - температуре плавления (затвердевания) **цементита**.

Наибольшее количество углерода по диаграмме 6,67% соответствует содержанию углерода в химическом соединении — цементите. Следовательно, компонентами, составляющими сплавы этой системы, будут являться, с одной стороны, чистое железо (Fe), с другой — цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

#### *Характеристика компонентов и фаз*

Компонентами в рассматриваемой системе является железо (Fe) и углерод (C)/

*Железо* является полиморфным металлом, т.е. может существовать в нескольких полиморфных формах, различающихся кристаллическими решетками.

На рис. 3 приведены кривые охлаждения и нагревания чистого железа.

Железо плавится при температуре  $1539^{\circ}$ . Критические точки превращений железа обозначают буквой А, приписывая букву с — при нагревании и букву г — при охлаждении.

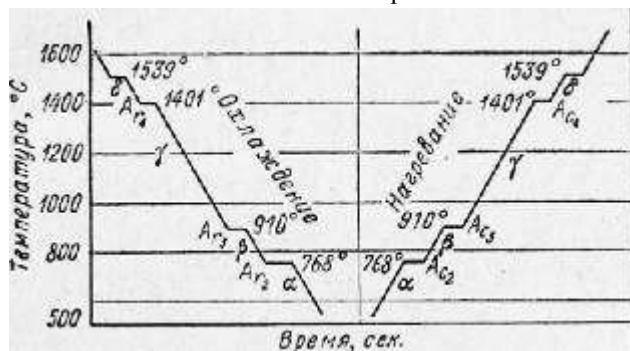


Рис 3. Кривые охлаждения и нагревания чистого железа

В интервале температур  $1539-1392^{\circ}\text{C}$  существует  $\delta\text{-Fe}$  с кубической объемно-центрированной решеткой (ОЦК).

В интервале температур  $1392-911^{\circ}\text{C}$  существует  $\gamma\text{-Fe}$  с кубической гранцентрированной решеткой (ГЦК)

Ниже  $911^{\circ}\text{C}$  устойчивой модификацией является  $\alpha\text{-Fe}$  с решеткой ОЦК.

При  $768^{\circ}\text{C}$  (точка Кюри) происходит магнитное превращение без изменения кристаллической решетки

*Углерод* — также обладает полиформизмом и имеет две кристаллические разновидности - графит и алмаз.

При сплавлении Fe с С кроме жидкой фазы образуются различные твердые фазы. В каждой из модификаций железа может растворяться определенное количество углерода и при этом образуются твердые растворы типа внедрения, которые имеют специальные названия.

*Феррит* - твердый раствор углерода и других элементов в  $\alpha$ -железе.

Феррит имеет низкую твердость и прочность и высокую пластичность. Поэтому технически чистое железо, структура которого представляет зерна феррита, хорошо подвергается холодной деформации, т. е. хорошо штампуется, прокатывается, протягивается в холодном состоянии.

Чем больше феррита в железоуглеродистых сплавах, тем они пластичнее

*Аустенит* - твердый раствор углерода и других элементов в  $\gamma$  – железе. В  $\gamma$  – железе может раствориться углерода в значительно больших количествах до 2,14% при температуре 1147° С. Характерная особенность **аустенита** заключается в том, что он в железоуглеродистых сплавах может существовать только при **высоких температурах**. Как и всякий твердый раствор, аустенит имеет микроструктуру, представляющую собой зерна твердого раствора. Аустенит пластичен, поэтому он хорошо подвергается горячей деформации, т.е. хорошо штампуется, куется, прокатывается.

Кроме вышеперечисленных твердых растворов в системе Fe-C образуются еще две высокоуглеродистые фазы: графит и цементит.

*Графит*-модификация углерода с гексагональной кристаллической решеткой, низкими прочностными свойствами. Фаза стабильная, состоит почти на 100% из атомов углерода. Температура плавления графита около 3600° С.

*Цементит* - **химическое соединение** железа с углеродом **Fe<sub>3</sub>C (карбид железа)**. В цементите 6,67% С, он имеет высокую *твердость*, но чрезвычайно низкую, практически нулевую, *пластичность*. Чем больше цементита в железоуглеродистых сплавах, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают. Цементит неустойчив и при определенных условиях может распадаться, выделяя свободный углерод в виде графита.

*Превращение из жидкого состояния в твердое (первичная кристаллизация).*

*Характеристика линий и точек диаграммы*

1. Линия ACD является линией ликвидуса, показывающая температуры начала затвердевания (конца плавления) сталей и белых чугунов. Линия AECF — линией солидуса, показывающая температуры конца затвердевания (начала плавления).
2. Форма этих линий показывает, что перед нами сложная диаграмма, представляющая сочетание диаграммы типа II (от точки А до точки Е) и диаграммы типа I (от точки Е до точки F).

Выше линии ACD сплавы системы находятся в жидком состоянии (Ж).

3. По линии AC из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы твердого раствора углерода в  $\gamma$ (гамма)железе, называемого аустенитом (А) (по имени У Робертса-Аустена, англ. металлурга).
4. Следовательно, в области ACE будет находиться смесь двух фаз — жидкого раствора (Ж) и аустенита (А).
5. По линии CD из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы цементита (Ц); в области диаграммы CFD находится смесь двух фаз — жидкого раствора (Ж) и цементита (Ц), называемый первичным цементитом.
6. В точке С при *содержании 4,3% С и температуре 1130°* происходит одновременно кристаллизация аустенита и цементита и образуется их тонкая механическая смесь — эвтектика, называемая в этой системе ледебуритом (нем.металлург А.Ледебур).
7. Ледебурит (эвтектика) присутствует во всех сплавах, содержащих от 2,0 до 6,67% углерода. Эти сплавы относятся к группе чугуна.
8. Точка Е соответствует предельному насыщению железа углеродом (2,0%). Сплавы, лежащие левее этой точки, после полного затвердевания представляют один аустенит. Эти сплавы относятся к группе - стали.

*Преобразования в твердом состоянии (вторичная кристаллизация).*

1. Линии GSE, PSK и GPQ показывают, что в системе сплавов в *твердом состоянии происходят изменения структуры.*

*Преобразования в твердом состоянии происходят вследствие перехода железа из одной модификации в другую, а также в связи с изменением растворимости углерода в железе.*

2. В области диаграммы AGSE находится аустенит (А). При охлаждении сплавов аустенит начинает распадаться с выделением по линии GS феррита (Ф)—твердого раствора углерода в  $\alpha$ -железе, а по линии SE — цементита (Ц). Этот цементит, выпадающий из твердого раствора, называется вторичным в отличие от первичного цементита, выпадающего из жидкого раствора.

3. В области диаграммы GSP находится смесь двух фаз — феррита (Ф) и распадающегося аустенита (А), а в области SEE1 — смесь вторичного цементита и распадающегося аустенита.

4. В точке S при *содержании 0,8% (точнее 0,83%) С и при температуре 723°* весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется тонкая механическая смесь феррита и цементита — эвтектоид, который в этой системе называется перлитом.

Сталь, содержащая 0,8% С, называется эвтектоидной, менее 0,8% С — доэвтектоидной, от 0,8 до 2,0% С — заэвтектоидной.

5. По линии PSK происходит распад всего аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перлита; поэтому линия PSK называется линией перлитного (эвтектоидного) превращения.

Сравнивая между собой превращения в точках С и S диаграммы можно отметить следующее:

- а) выше точки С находится жидкий раствор, выше точки S — твердый раствор аустенит;
- б) в точке С сходятся ветви AC и CD, которые указывают начало выделения кристаллов из жидкого раствора (первичной кристаллизации); в точке S сходятся ветви GS и ES, указывающие начало выделения кристаллов из твердого раствора (вторичной кристаллизации);
- в) в точке С жидкий раствор, содержащий 4,3% С, кристаллизуется с образованием эвтектики — ледебурита; в точке S твердый раствор, содержащий 0,8% С, кристаллизуется с образованием эвтектоида — перлита;
- г) на уровне точки С лежит прямая EF эвтектического (ледебуритного) превращения, на уровне точки S — прямая РК эвтектоидного перлитного превращения.

## Порядок выполнения работы

1. Составьте опорный конспект по теоретическим сведениям «диаграмма состояния железо-цементит».
2. Самостоятельно вычертите диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.

Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод

3. Охарактеризуйте фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
4. Рассмотрите под микроскопом, зарисуйте и опишите микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
5. Постройте кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 0,2 %С и 1,2 %С с помощью правила фаз и объясните какие фазовые превращения протекают в точках перегиба кривой
6. Определите с помощью правила отрезков количественное соотношение фаз заданного сплава с 0,4 %С и 3,4 % С при комнатной температуре .
7. Изучите классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
8. Оформите отчёт по работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

#### **Тема 4.1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.**

##### **Практические занятия 3, 4**

**Построение кривых охлаждения (нагрева) и анализ превращений, происходящих в сталях и чугунах.**

**Цель:** Проанализировать превращения, протекающие в сталях и чугунах при охлаждении, выявить закономерности структурообразования в них.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

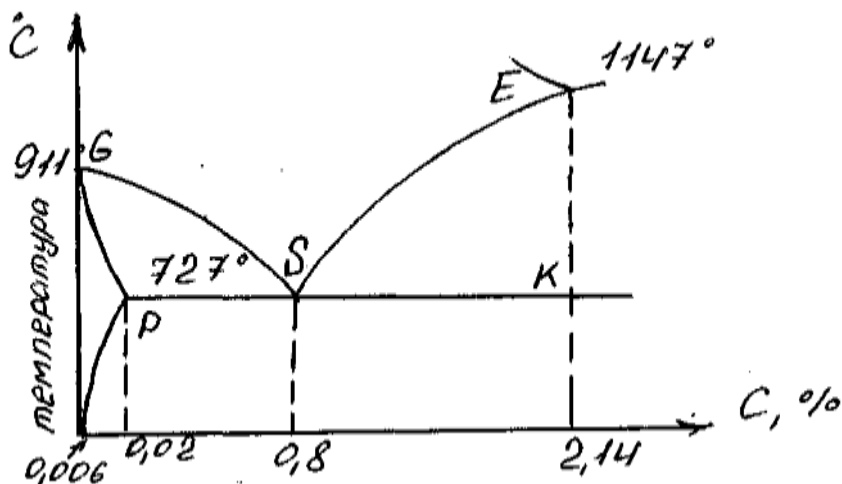
- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграммы состояния Fe-C

**Задание:**

1. Изучить теоретические сведения к практической работе.
2. Записать определение чугуна и стали.
3. Начертить в масштабе диаграмму железо-цементит и отметить на ней:
  - ✓ сплавы – доэвтектоидную, эвтектоидную и заэвтектоидную стали (содержание углерода для каждого сплава может быть произвольным).
  - ✓ Сплавы- доэвтектический, эвтектический и заэвтектический чугуны



4. Для каждого сплава обозначить критические точки и построить кривую охлаждения в координатах время - температура.
5. На кривой охлаждения указать фазовый состав сплава в разных температурных интервалах.
6. Проанализировать превращения, протекающие в сплавах при охлаждении, и зарисовать схему структуры сплавов после охлаждения.
7. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали и температурный интервал в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
8. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугуна и температурный интервал, в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
9. Сделать выводы по работе

### Краткие теоретические сведения:

*Углеродистые стали. Структура и свойства медленно охлажденной стали.*

Для лучшего ознакомления с природой стали проследим процесс охлаждения эвтектоидной, доэвтектоидной и заэвтектоидной сталей.

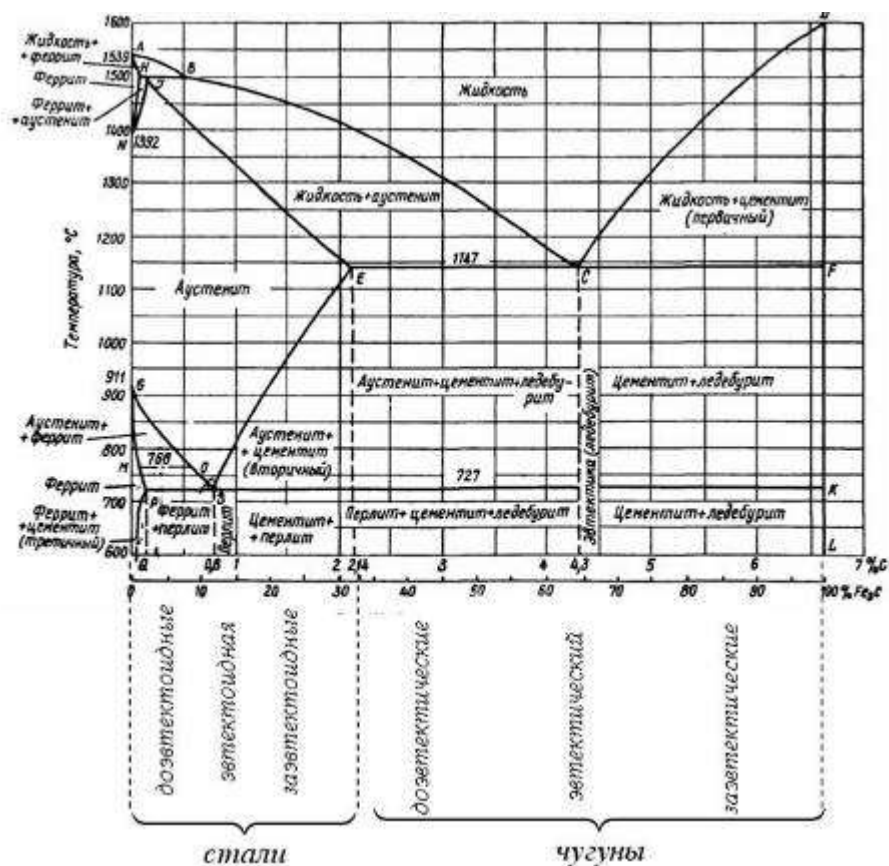


Рис.1 Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C (стали и чугуны)



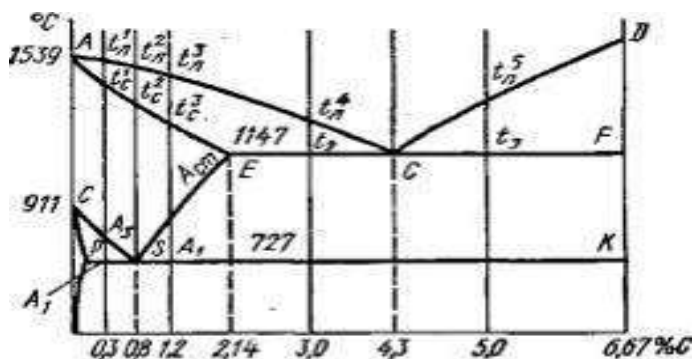


Рис.2 Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C(критические точки )

### 1. Эвтектоидная сталь

Выше точки **a** сплав находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке **a** на линии ликвидуса начнут выделяться первые кристаллы **аустенита**, содержащие меньше 0,8% С. Между точками **a** и **b** количество маточного раствора (жидкой фазы) постепенно уменьшается до нуля, а концентрация **углерода** в нем постепенно увеличивается; одновременно растут кристаллы **аустенита**, и около точки **b** (линия солидуса) первичная кристаллизация заканчивается.

В точке **S** однородный аустенит распадается и образуется смесь **цементита и феррита — перлит**.

На рис. 3 приведена микроструктура перлита при большом увеличении; здесь ясно видно равномерное распределение цементита (темные участки) по светлому полю феррита. Итак, эвтектоидная сталь по структуре представляет один перлит.

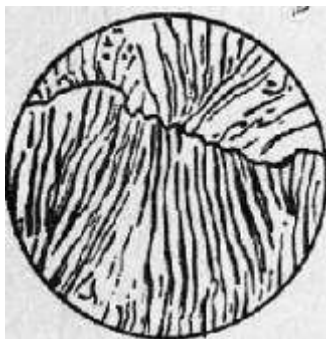


Рис.3. Эвтектоидная сталь

## 2. Доэвтектоидная сталь (0,3%C)

А) В точках **a<sub>1</sub>** и **b<sub>1</sub>** происходят превращения, аналогичные превращениям эвтектоидной стали в точках **a** и **b**.

Б) В точке **c<sub>1</sub>** на линии **GOS** начинается вторичная кристаллизация стали — выделение **феррита** и аллотропический переход **γ-железа в α-железо**. Температуру превращения сплавов по линии **GOS** для краткости обозначают через **A<sub>3</sub>**.

В) В точке **d<sub>1</sub>** при температуре 768° происходит магнитное превращение выпавших кристаллов феррита, т. е. **немагнитный феррит становится магнитным**. Критические температуры превращения сплавов по линии **МО** обозначают через **A<sub>2</sub>**.

В связи с выпадением кристаллов **феррита** количество **углерода** в остающемся **аустените** постепенно увеличивается и к точке **e<sub>1</sub>** доходит до эвтектоидного состава (0,8%%).

Концентрация **углерода в аустените** при любой температуре между точками **c<sub>1</sub>** и **e<sub>1</sub>** может быть определена проекцией на линию **GOS**.

Г) В точке **e<sub>1</sub>** выпадение кристаллов **феррита** заканчивается и происходит распадение оставшегося **аустенита** в смесь **феррита и цементита** — **перлит**. Температуру превращения сплавов по линии **PSK** (эвтектоидное превращение) обозначают через **A<sub>1</sub>**.

Д) Ниже точки **A<sub>1</sub>** происходит выделение **цементита из феррита**; этот цементит называют **третичным**. С выделением третичного цементита содержание углерода в феррите постепенно понижается от 0,025% при 723° до 0,006% при 0°.

Таким образом, в структуру доэвтектоидной стали, содержащей более 0,025% углерода, входят **перлит и феррит**, а при содержании меньше 0,025% углерода — **феррит и цементит третичный** (Рис.4)

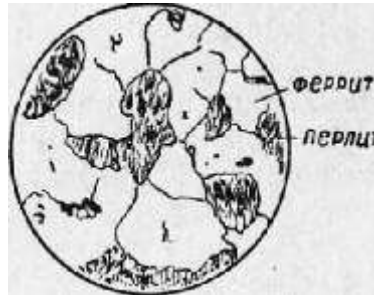


Рис.4 Микроструктура доэвтектоидной стали

### 3. Заэвтектоидная сталь

А) При охлаждении заэвтектоидной стали, например стали с 1,2% углерода (Рис. 33), в точке  $c_2$  начинается вторичная кристаллизация **цементита из аустенита**. Температуру превращения по линии **SE** обозначают через **Аст**.

Количество углерода в **аустените** между точками  $c_2$  и  $e_2$  непрерывно уменьшается, так как кристаллы цементита содержат 6,67% С.

Б) В точке  $e_2$  происходит эвтектоидное превращение **аустенита**. Таким образом, в структуру заэвтектоидной стали входят **перлит и цементит вторичный (избыточный)** (Рис.5)

Здесь **цементит** образует тонкую сетку игл на поле **перлита**. Избыточный **цементит** в структуре стали никогда не занимает больших участков, и заэвтектоидная сталь в основном состоит из **перлита**.

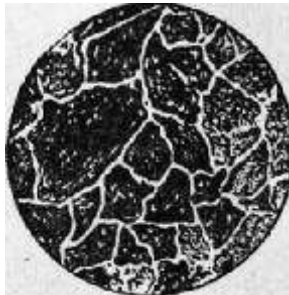


Рис.5 Микроструктура заэвтектоидной стали

## Чугуны.

При кристаллизации чугунов – С может выделяться в двух видах:

1. В связанном состоянии в виде цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ . **Излом таких чугунов имеет светлый, блестящий.** Поэтому такие чугуны называются **белыми**
2. При весьма медленном охлаждении сплавов железо — углерод происходит выделение углерода в свободном состоянии **в виде графита**. Излом таких чугунов имеет серый цвет. Такие чугуны называют **серыми**.

### *1 Структура белого чугуна.*

Белые чугуны кристаллизуются по диаграмме состояния системы сплавов железо — цементит.

#### **1. Эвтектический чугун:**

А)при охлаждении сплава с содержанием 4,3% С в точке С диаграммы образуется эвтектика **цементита и аустенита — ледебурит**

Б)при охлаждении от Т-ры точки С до Т-ры линии РК **аустенит в ледебурите будет распадаться с выделением вторичного цементита, и концентрация углерода в этом аустените будет уменьшаться от 2,0 до 0,8% (в соответствии с линией ES)**

В)При Т-ре линии РК происходит перлитное превращение оставшегося аустенита.

**ВЫВОД:** при температуре ниже точки  $A_{r1}$  **ледебурит будет состоять из цементита и перлита.**

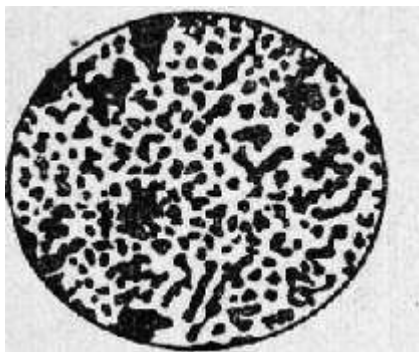


Рис.6 Структура эвтектического чугуна

*Чугуны, содержащие 4,3% С, называются эвтектическими.*

**2) В доэвтекктическом чугуне (3%) :**

**А)** При температуре в точке  $a_1$  из жидкого раствора выделяются **кристаллы аустенита**.

**Б)** Между точками  $a_1$  и  $b_1$  кристаллы **аустенита** растут, а **концентрация углерода в маточном растворе увеличивается до эвтекктического состава (4,3%)**.

**В)** При температуре в точке  $b_1$  происходит затвердевание всего оставшегося раствора с образованием **ледебурита**.

**Г)** При дальнейшем *охлаждении от* точки  $b_1$  до  $c_1$  происходит **вторичная кристаллизация аустенита, входящего в состав ледебурита**.



Рис. 7 Структура доэвтекктического чугуна

**ВЫВОД:** В структуру охлажденного доэвтекктического чугуна входит распавшийся известный аустенит и ледебурит

**3) При охлаждении заэвтекктического чугуна (5% C):**

**А)** в точке  $a_2$  начинается кристаллизация **цементита**.

**Б)** Между точками  $a_2$  и  $b_2$  кристаллы **цементита** растут, а концентрация углерода в маточном растворе уменьшается до эвтекктического состава (4,3%);

**В)** в точке  $b_2$  происходит затвердевание всего оставшегося раствора с образованием **ледебурита**.

**Г)** между точками  $b_2$  и  $c_2$  происходит **вторичная кристаллизация аустенита, входящего в состав ледебурита**

**Вывод:** В структуру охлажденного заэвтекктического чугуна входят цементит (первичный) и ледебурит.



Рис. 8 Структура заэвтектического чугуна

Заэвтектические чугуны как технические сплавы применяются редко ввиду их чрезмерной хрупкости.

Значительное количество твердого и хрупкого цементита в составе белых чугунов является причиной того, что эти чугуны трудно поддаются механической обработке. Они применяются для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун, а также для отливки прокатных валков и вагонных колес, причем как в валках, так и в колесах белый чугун образуется не во всей толще, а лишь в поверхностном слое; внутри отливки образуется серый чугун

### **Пример построения кривой охлаждения для сплава с содержанием углерода $C=3,8\%$ .**

Заданный сплав с содержанием углерода -  $C=3,8\%$  - это доэвтектический чугун.

1. Построение кривой охлаждения сплава
2. Превращения в сплаве при медленном охлаждении

**Доэвтектический чугун (3,8 % углерода)** охлаждается до температуры линии ликвидус в жидком состоянии. Первичная кристаллизация начинается на ликвидусе (точка-1) с выделения из жидкости аустенита. При охлаждении в интервале температур точек 1-2 количество аустенита увеличивается и соответствует при температуре точки 2 отрезку 2-С, а концентрация углерода в нем, изменяясь по линии солидус - JE, достигает предельной растворимости, равной 2,14 % (проекция точки E). Одновременно к концу кристаллизации сохраняется некоторое количество жидкости (отрезок E-2), концентрация углерода в которой, изменяясь по линии ликвидус BC, соответствует эвтектическому составу (4,3 % углерода). В результате первичная кристаллизация завершается при температуре точки 2 (1147 °C) эвтектическим превращением; оставшаяся жидкость затвердевает в ледебурит на аустенитной

основе (аустенитно-цементитная смесь). После кристаллизации сплав имеет структуру: аустенит и ледебурит на аустенитной основе ( $A + L_A$ ). При дальнейшем охлаждении в интервале точек 2-3, вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените по линии ES, из аустенита выделяется цементит вторичный; аустенит при этом обедняется углеродом до 0,8 %. При температуре точки 4 ( $727^\circ\text{C}$ ) аустенит, получивший эвтектоидный химический состав, превращается в перлит. Поскольку это превращение претерпевает и аустенит, входящий в состав ледебурита, то ледебурит на аустенитной основе становится ледебуритом на перлитной основе (перлитно-цементитная смесь). Окончательная структура сплава после охлаждения — перлит, ледебурит на перлитной основе и цементит вторичный ( $P + Лп + Ц_2$ ).

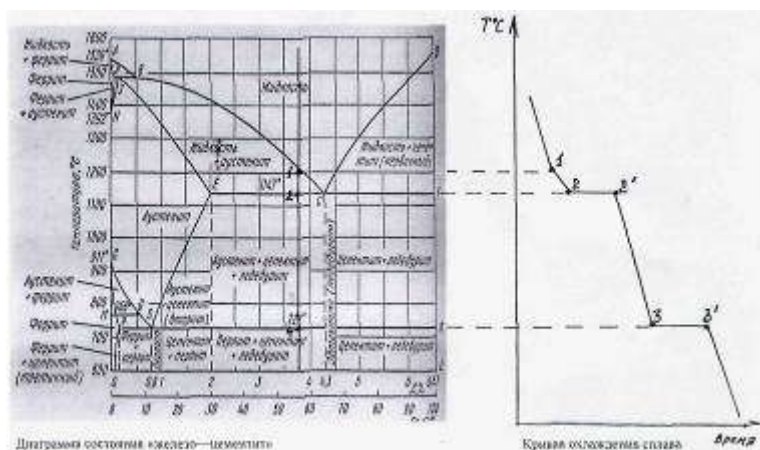


Рис.9 а- Диаграмма состояния «железо-цементит»; в-Кривая охлаждения

### Порядок выполнения работы:

1. Составить опорный конспект по теоретическим сведениям к практической работе.
2. Записать определение чугуна и стали.
3. Начертить в масштабе диаграмму железо-цементит и отметить на ней: сплавы — доэвтектоидную, эвтектоидную и заэвтектоидную стали: 0,3%С, 0,8%С, 1,2%С.  
доэвтектоидный, эвтектоидный и заэвтектоидный чугуны: 3%С, 4,3%С, 5%С.
4. Для каждого сплава обозначить критические точки и построить кривую охлаждения в координатах время - температура.

4.1 Определите, какие фазы существуют в системе. ( в сплавах [железа](#) и углерода

фазы представляют собой аустенит, феррит, цементит и графит)

4.2. Опишите каждую из этих фаз.

4.3 Для построения кривой *охлаждения* воспользуйтесь правилом фаз Гиббса, которое

формулируется так: в равновесной системе, на которую влияют только

[температура](#) и давление, число [степеней](#) свободы равняется разнице числа

компонентов и числа фаз, увеличенных на 2.

4.4 на оси концентрации диаграммы состояния находим точку, соответствующую составу сплава, и проводим вертикальную линию

4.5 В местах пересечения вертикали с линиями диаграммы отмечаем критические точки a,b, c, e, d (рис.2) и проектируем их на ось температур координатной системы «температура-время».

4.6 При построении схематической кривой следует руководствоваться соображением, что при наличии в системе процессов, сопровождающихся выделением тепла, температура понижается медленнее при одновариантном равновесии или будет температурная остановка при невариантном равновесии ( $c=0$ ). Температура понижается быстрее, если в системе не протекает процессов с выделением тепла.

4.4 Сделав вычисления, постройте **кривую охлаждения**.

5. На кривой охлаждения указать фазовый состав сплава в разных температурных интервалах.
6. Проанализировать превращения, протекающие в сплавах при охлаждении, и зарисовать схему структуры сплавов после охлаждения.
7. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали и температурный интервал в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
8. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугуна и температурный интервал, в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
9. Сделать выводы по работе

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет



**Тема 4.3. Чугуны.**  
**Микроанализ серых, высокопрочных, ковких чугунов.**  
**Практическое занятие 5**

**Цель:-** научиться по структуре определять вид чугуна.

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Микроскоп
4. Образцы материалов: чугуны

**Задание:**

- получить навыки определения по микроструктуре вида чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный),
- оценить приближенно его механические свойства и установить область применения.
- изучить под микроскопом микрошлифы и определить структурные составляющие.
- по структурным составляющим определить наименование чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный).
- определить увеличение микроскопа. Зарисовать схемы микроструктур.

**Теоретические сведения:**

По химическому составу чугуны - отличаются от сталей более высоким содержанием углерода (более 2,14%) и постоянных примесей ( S, P, S, Mn). Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь. Однако его хорошие технологические свойства (литейные, обрабатываемость режущим инструментом, износостойкость, антифрикционные свойства и т. д.) делают чугун пригодным для изготовления различных деталей машин.

В зависимости от состояния углерода чугуны подразделяются на две группы: чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита

(Fe<sub>3</sub>C), и чугуны, в которых весь углерод или большая его часть находится в свободном состоянии в виде графита.

К первой группе относятся белые чугуны Их структура зависит от содержания углерода и соответствует диаграмме равновесного состояния железо - цементит. По структуре белые чугуны делятся на следующие.

Доэвтектические (2.14.. 4.3% C). Структура включает три составляющие - перлит, ледебурит, вторичный цементит (рис.10). Перлит наблюдается под

микроскопом в виде темных зерен, цементит - светлых полос, а ледебурит - в виде участков с темными точками. Каждый такой участок представляет собой смесь мелких округлых или вытянутых темных зерен перлита, равномерно расположенных в белой цементитной основе.

Эвтектический чугун (4,3%С) состоит из ледебурита, представляющего собой равномерную механическую смесь перлита с цементитом (рис.2).

Заэвтектический чугун (4,3...6,7%С) характеризуется двумя структурными составляющими - первичным цементитом (вытянутая форма) и ледебуритом (рис.3).

Характерная особенность структуры белого чугуна - наличие в ней весьма твердых и малопластичных составляющих; цементита и ледебурита. Получение такой структуры в белых чугунах способствует повышенное содержание в них марганца, пониженное кремния и сравнительно быстрое охлаждение. Белые чугуны очень хрупки и тверды, плохо поддаются обработке режущим инструментом. Поэтому такие чугуны в машиностроении используются редко (дробильные шары, звездочки для очистки литья). Они обычно идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна.

Ко второй группе чугунов относятся серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Структура их представляет собой металлическую основу, пронизанную графитными включениями. От структуры металлической основы, которая выявляется после травления шлифа (ферритно-перлитная, перлитная или ферритная), зависят такие свойства, как предел прочности при сжатии, твердость, износостойкость. Такие свойства чугуна, как пластичность, сопротивление растяжению и износостойкость, зависят главным образом от формы, размеров, количества и характера расположения графитовых включений. Срочность графита по сравнению с металлической основой ничтожна, его присутствие равносильно надрезу - пустоте. Поэтому чем равномернее расположены графитовые включения в металлической основе, чем они мельче и их форма ближе к округлой, тем меньше будет разобщена металлическая основа чугуна и прочностные свойства будут выше. В соответствии с отмеченным качеством чугунов оценивается не только структурой металлической основы, но и формой, размером и характером распределения в ней графитовых включений.

В чугунах встречается три формы графитовых включений: пластинчатая (рис.4), шаровидная (рис.5), хлопьевидная (рис.8).

Пластинчатая (лепестковая) форма графита свойственна серым чугунам. Такую форму можно рассматривать как трещины (надрезы), создающие концентрацию напряжений в перлитной, ферритно-перлитной металлических основах. Получение серых чугунов способствует медленное охлаждение отливок и наличие в них повышенного содержания кремния и пониженное -

марганца. Пластинчатая форма графита резко снижает прочностные свойства чугуна.

Повышение механических свойств серых чугунов достигается модифицированием, т. е. воздействием на процесс графитизации за счет введения в жидкий расплав чугуна особых добавок (модификаторов). Модификаторами являются ферросилиций, силикокальций, вторичный алюминий. Будучи введенным в жидкий чугун перед его разливкой, модификаторы раскисляют его и образуют в нем тугоплавкие окислы типа  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ , которые, находясь во взвешенном состоянии, служат дополнительными центрами графитизации и способствуют размельчению графита. Из серых чугунов изготавливают блоки цилиндров, картеры, маховики и др. В автотракторостроении и сельскохозяйственном машиностроении часто применяют следующие марки серых чугунов: СЧ18, СЧ20, СЧ25 (немодифицированные) и СЧ30, СЧ35 (модифицированные).

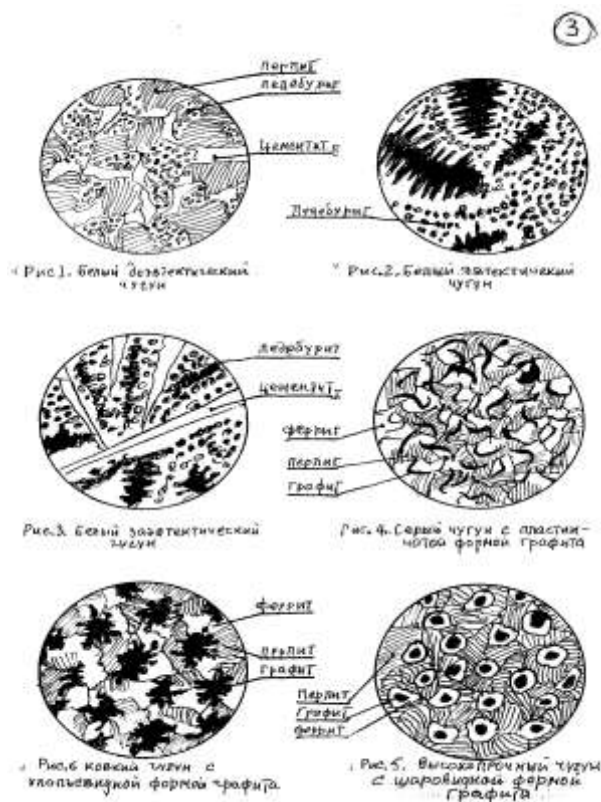


Рис.10 Структура чугунов

Шаровидная форма графита свойственна высокопрочному чугуну. Его получают двойным модифицированием серого чугуна: добавкой в жидкий чугун незадолго перед заливкой двух модификаторов - ферросилиция для создания большого количества центров графитизации и магния или цезия для получения шаровидной формы графита (рис.5). Структура высокопрочного чугуна состоит из ферритной или перлитно-ферритной металлической основы, в которой располагаются графитовые включения в форме шаров. Такая форма графита не нарушает сплошности металлической основы, и это способствует повышению прочности и пластичности. Высокопрочный чугун - хороший заменитель литой стали и применяется для изготовления коленчатых и распределительных валов, гильз цилиндров автомобильных двигателей. В сельскохозяйственном машиностроении часто применяют высокопрочные чугуны марок ВЧ60-2, ВЧ45-5. Хлопьевидная форма графита (рис.6) присуща ковкому чугуну, который получают специальным графитизирующим отжигом (томлением) белых доэвтектических чугунов, содержащих от 2,2 до 3,2% С. Такая форма графита способствует повышению пластических свойств - чугун лучше переносит удары, обладает достаточной вязкостью. В зависимости от вида отжига белого чугуна металлическая основа может иметь структуру: при одностадийном отжиге - ферритно-перлитную или перлитную, при двухстадийном - ферритную. Наиболее часто применяют ферритный ковкий чугун, так как он характеризуется высокой (для чугунов) пластичностью. В автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении применяют ковкие чугуны марок КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ50-4. Из них изготавливают картеры [редукторов](#), рулевых механизмов, ступицы колес, педали и др.

#### **Форма представления результата: выполненная работа**

В работу включить участок диаграммы состояния железо - цементит для чугунов, проанализировать изменение структуры с увеличением содержания углерода.

Описать виды чугунов, их структуру, свойства и применение. Рядом с зарисованными схемами микроструктур указать структурные обставяющие, наименование чугуна, условия и метод получения механических свойств (НВ,  $\sigma_{\text{т}}$ ,  $\delta$  используя справочный материал). Объяснить влияние формы графита на механические свойства чугунов.

#### **Критерии оценки: зачет/незачет**

### **Раздел 5 Конструкционные материалы**

#### **Тема 5.2 Легированные стали**

#### **Практическое занятие 5**

## **Определение видов сталей по маркировке. Выбор марки легированных сталей для деталей в зависимости от условий их работы**

**Цель:-** Освоить умения работы со справочной литературой по выбору марок стали и условий их работы;  
-Освоить умения по выбору вида и режимов термической обработки сплавов в зависимости от назначения изделия;

### **Материальное обеспечение:**

5. Презентация по данной теме;
6. Компьютер, проектор, экран;
7. Электронные плакаты Диаграммы состояния Fe-C
8. компьютер, проектор, экран,
9. Образцы материалов: сталь.
10. Марочник сталей под редакцией Сорокина В.Г. М.: Машиностроение, 1989 г.

### **Задание:**

1. Изучить условия работы заданной детали или инструмента и требования к ней.
2. Выбрать марку сталей для деталей или инструмента изучить ее химический состав и механические свойства.
3. Разработать в зависимости от условий работы детали, необходимые вид и режим термической или химико-термической обработки.

### **Теоретические сведения:**

Задание предусматривает: обосновать выбор материала для изготовления заданной детали и выбор вида и режима термической и химико-термической обработки, которая обеспечит надежность и работоспособность детали в условиях эксплуатации, указанных в задаче.

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

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

необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы.

#### *Классификация по назначению.*

В зависимости от назначения легированную сталь делят на:

- конструкционную,
- инструментальную
- сталь с особыми физико-химическими свойствами.

*Конструкционную сталь* применяют для изготовления деталей машин; она в свою очередь делится на цементируемую (подвергаемую цементации) и улучшаемую (подвергаемую улучшению — закалке и высокому отпуску).

*Инструментальную сталь* применяют для изготовления режущего, измерительного, штампового и другого инструмента.

*К сталям с особыми свойствами относят:*

- нержавеющие,
- жаростойкие,
- кислотостойкие,
- износоустойчивые,
- с особыми магнитными и электрическими свойствами и т. д.

#### **Маркировка легированной стали.**

По ГОСТ для обозначения легирующих элементов приняты **следующие буквы:**

- Х — хром,
- Н — никель,
- Г — марганец,
- С — кремний,
- В — вольфрам,
- М — молибден,
- Ф — ванадий,
- К — кобальт,
- Т — титан,
- Ю — алюминий,
- Д — медь.

#### **Конструкционная легированная сталь и сталь с особыми свойствами.**

Конструкционную легированную сталь применяют для изготовления ответственных деталей машин и металлических конструкций. Такая сталь относится в **основном к перлитному классу.**

Свойства легированной стали определяются не только количеством легирующих элементов и содержанием углерода, но также в значительной степени термической обработкой.

Тройная легированная сталь. Хром в качестве легирующего компонента получил наибольшее распространение, так как способствует увеличению прочности стали и является относительно дешевым. Хром сообщает стали хорошую сопротивляемость износу, а с увеличением количества углерода — высокую твердость вследствие образования карбидов. Низко- и среднелегированная хромовая сталь довольно широко применяется в авиа-, авто- и тракторостроении, а также в других отраслях машиностроения для изготовления осей, валов, зубчатых колес и других деталей. Хромовая сталь при содержании 0,4—1,65% Cr и 0,95—1,15% C образует группу шарикоподшипниковых сталей. Низколегированную хромовую сталь применяют также для изготовления инструментов.

**Никель** — прекрасный легирующий элемент, но он очень дорог и дефицитен. Поэтому его стараются по возможности заменять или применять в сочетании с хромом, марганцем и другими легирующими элементами (сложнолегированная сталь). Никель увеличивает прочность, вязкость и твердость (после закалки) стали, мало снижая пластичность, сильно повышает прокаливаемость и коррозионную стойкость. После закалки и низкого отпуска никелевая сталь имеет высокую твердость, но не обладает хрупкостью.

**Кремний** при содержании его свыше 0,8% повышает прочность, упругость и твердость стали, снижая, однако, ее вязкость.

В практике нашла применение низколегированная кремнистая сталь перлитного класса.

Низкоуглеродистую кремнистую сталь (0,08—0,18% C и 0,8—1,2% Si) применяют для сооружения мостов и других целей. Эту сталь не подвергают термической обработке.

Сталь 55C<sub>2</sub>, 60C<sub>2</sub> и других марок применяют для изготовления пружин и рессор. После закалки и отпуска эта сталь отличается высоким пределом прочности и упругости.

**Марганец** повышает твердость и прочность стали, а также увеличивает ее прокаливаемость и улучшает свариваемость. Легированной марганцевой сталью называют сталь, которая содержит не менее 1% Mn. В практике применяют низколегированную и высоколегированную марганцевую сталь.

**Сложнолегированная конструкционная сталь.**

**Сложнолегированная конструкционная сталь** имеет в промышленности большое распространение. Это объясняется тем, что путем одновременного легирования стали несколькими элементами получение нужных свойств достигается легче, полнее и при меньшем общем содержании легирующих элементов.

**Хромоникелевая сталь** получила широкое применение в авиастроении для изготовления наиболее нагруженных деталей авиадвигателей (шатуны, поршневые пальцы, ролики рычагов и т. д.), в авто- и тракторостроении и др. В зависимости от характера службы в изделии одни детали должны подвергаться цементации, другие — закалке и высокому отпуску (улучшению).

**Хромо- молибденовая сталь.** Молибден придает стали способность сохранять прочность при нагреве (жаропрочность), способствует образованию мелкозернистой однородной структуры, улучшает свариваемость и обрабатываемость резанием.

**Хромованадиевая сталь.**

Низколегированная сталь повышенной прочности. Незадолго до Великой Отечественной войны советскими учеными совместно с работниками промышленности была разрешена задача получения строительной и конструкционной низколегированной стали повышенной прочности, не содержащей дорогостоящих элементов (никеля, молибдена, ванадия, фольфрама и др.), а легированной хромом, марганцем и кремнием.

**Хромомарганцевокремнистая сталь** (сокращенно хромансиль) марок 20ХГСА, 30ХГСА и др, легко сваривается, а после соответствующей термической обработки по своим механическим свойствам не уступает хромомолибденовой стали

Например, для деталей, изготавливаемых в массовом и крупносерийном производстве — обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.

*Инструментальные стали для резания или горячего деформирования* должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т.е. обладать красностойкостью (теплостойкостью). Это свойство создается специальным легированием и термической обработкой.

### **Пример выполнения задания.**

**Задание:** Подберите марку стали повышенной теплостойкости, пригодную для резания жаропрочной стали. Укажите ее состав, режимы термической обработки, схемы микроструктуры.

**Решение:** При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с резанием обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до HB 220-250). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов понижается. Вследствие этого теплота, выделяющаяся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под



режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно вырастают усилия резания.

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

Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые стали сохраняют твердость HRC 60 после более высокого нагрева до 640-645°C. Кроме того, кобальт заметно повышает теплостойкость быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуру режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют высокую твердость – до HRC 68.

Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые сплавы марок P12Ф4К5 или P8МЗК6С.

Таблица 1

Химический состав сталей, %

Сталь	C	Gr	W	Mo	V	Co
P12Ф4К5	1,3	3,8	12,5	1	3,5	5,5
P8МЗК6С	1,1	3,8	8	3,6	1,7	6

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

Закалка до 1240-1250°C (P12Ф4К5) и 1210-1220°C (P8МЗК6С), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами. Более высокий нагрев недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15-30%) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость HRC 60-62.

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

Отпуск:

- а) вызывает выделение дисперсных карбидов мартенсита, что повышает твердость до HRC 66-69;
- б) превышает мягкую составляющую – остаточный аустенит в мартенсит;
- в) снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

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

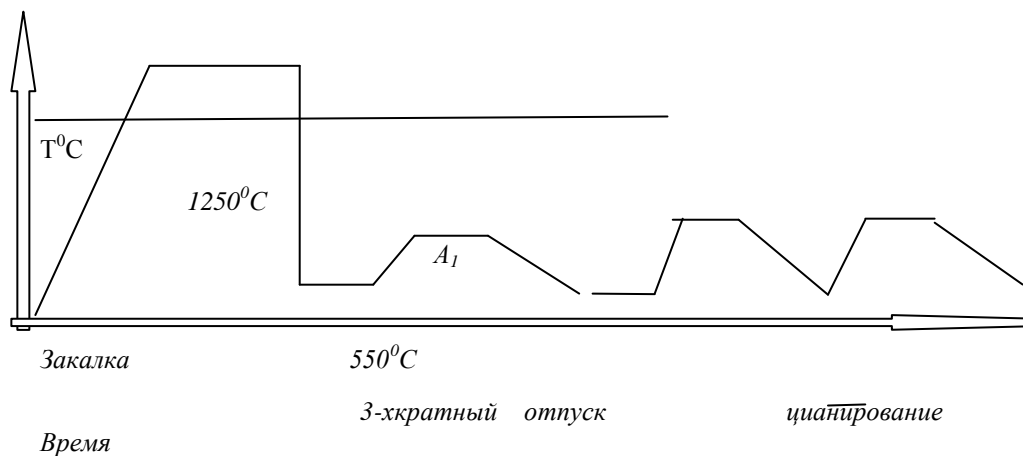


Рис.1 Термический цикл обработки

Твердость цианирования слоя на глубину 0,02-0,03мм достигает HRC 69-70. Цианирование повышает стойкость инструментов на 50-80%. После цианирования возможен кратковременный нагрев при  $450-500^{\circ}\text{C}$  с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает тогда синий цвет и несколько улучшает стойкость против воздушной коррозии.

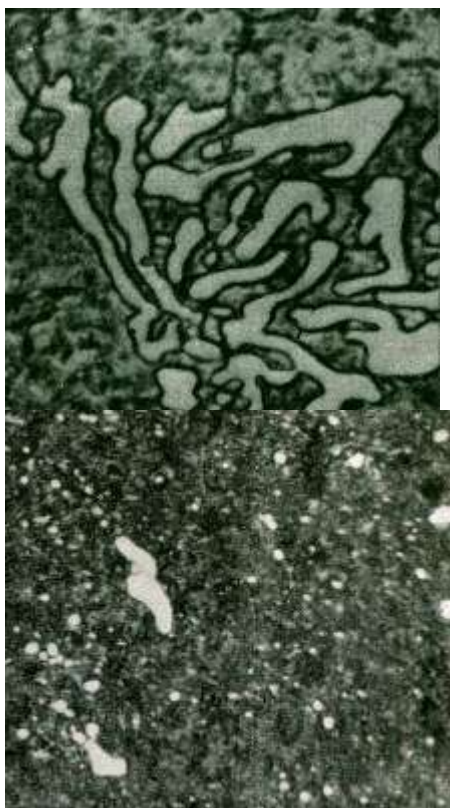


Рис.2 Микроструктура стали после отжига и Микроструктура стали после заковки и многократного отпуска

### **Порядок выполнения работы:**

1. Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней.
2. Выбрать марку материала для изготовления детали или инструмента, изучить ее состав и механические свойства.
3. Разработать в зависимости от условий работы детали, необходимый вид и режим термической или химико-термической обработки, начертить термический цикл обработки.
4. Дать обоснование выбора марки стали и вида термической обработки детали.
5. Выполнить индивидуальное задание по вариантам:

Вариант1

1. Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35мм; сталь в готовом состоянии должна иметь предел текучести не ниже 290 МПа и ударную вязкость не ниже 50 МПа. Вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т.е. в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки, повышающей твердость в отдельных участках поверхности вала.

Зарисовать схему микроструктуры и твердость стали в поверхностном слое шейки вала и структуру и механические свойства в остальных участках вала.

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

Подберите сталь для изготовления щек и шаров, учитывая, что они изготавливаются методом литья, должны иметь предел прочности не ниже 640 МПа и ударную вязкость при температуре +20 °С не ниже 260 Дж/см<sup>2</sup>. Укажите химический состав, режимы термической обработки и свойства стали. Зарисуйте схему микроструктуры.

#### Вариант 2

1. Детали самолетов – педали, рычаги изготавливают из сплава с хорошими литейными свойствами, обладающие кроме того хорошей обрабатываемостью резанием. Предел прочности сплава не ниже 220 МПа. Рекомендуйте состав сплава, режимы термической обработки, укажите механические свойства в готовом изделии. Зарисуйте схему микроструктуры.

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

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

#### Вариант 3

1. Рессоры грузового автомобиля изготавливают из качественной легированной стали, толщина рессоры до 10мм. Сталь должна иметь предел прочности не менее 1500 МПа и обладать высокими пределами выносливости и упругости. Подберите сталь, укажите ее состав, режимы термической обработки, свойства. Зарисуйте микросхему.

2. Необходимо изготовить шестерни из цветного сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Предел прочности не ниже 340МПа. Укажите марку сплава, его состав, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.

#### Вариант 4

1. Выбрать марку материала для изготовления фрезы, обрабатывающей нержавеющие стали. Теплостойкость до 630 °С. Укажите состав сплава, режимы его термической обработки, механические свойства. Зарисуйте схему микроструктуры.
2. Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сниматься или выкрашиваться в процессе работы, поэтому оно должно иметь твердость в пределах HRC 50-55 на высоту не более 30-40мм, остальная часть топора не подвергается закалке. Укажите химический состав стали, режимы термической обработки, обеспечивающие данную твердость на лезвии топора. Зарисовать схему микроструктуры.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет