

ПРАВИТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА  
КОМИТЕТ ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное  
учреждение «Электромашиностроительный колледж»  
(СПб ГБПОУ ЭМК)

Методические указания  
по выполнению практических работ  
ОП.03 Материаловедение

15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))

Санкт-Петербург  
2024

Методические указания к практическим занятиям разработаны в соответствии с рабочей программы дисциплины ОП.03 Материаловедение

Организация-разработчик: Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Электромашиностроительный колледж».

Разработчик(и): Андриенко Наталья Вениаминовна, преподаватель Санкт-Петербургского государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Электромашиностроительный колледж».

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании методической комиссии общепрофессиональных дисциплин, протокол от 08.04.2024 № 1; на заседании методического совета протокол от 09.04.2024 № 1.

Рассмотрена и принята к утверждению на заседании Педагогического совета, протокол от 10.04.2024 № 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка .....	4
2. Планирование практических занятий.....	6
3. Критерии оценки выполненных заданий и степени овладения запланированными умениями .....	7
4 Общие методические рекомендации по организации и проведению практических занятий .....	7

## 1. Пояснительная записка

Методические указания разработаны для практических занятий по учебной дисциплине ОП.03 Материаловедение по специальности 27.02.07 Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям) Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 14.04.2022г. № 234.

Практические занятия проводятся в форме практической подготовки.

Результатом освоения программы учебной дисциплины является овладение обучающимися профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

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

ПК 1.1. Оценивать соответствие качества поступающих в организацию сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий техническим регламентам, стандартам (техническим условиям), условиям поставок и договоров.

ПК 3.4. Разрабатывать мероприятия по предотвращению выпуска продукции (работ, услуг), не соответствующих требованиям технических регламентов, стандартов (технических условий), утвержденным образцам (эталонам) и технической документации, условиям поставок и договоров.

В результате изучения учебной дисциплины 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.
- выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения в производстве;
- распознавать и анализировать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте;
- правильно выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- определять актуальность нормативно-правовой документации в профессиональной деятельности
- применять средства информационных технологий для решения профессиональных задач
- подбирать необходимые ресурсы, материалы и комплектующие изделий в рамках выполнения задач профессиональной направленности
- обеспечивать процесс оценки необходимыми ресурсами в соответствии с выбранными методами и способами проведения оценки
- разрабатывать технические условия на выпускаемую продукцию;
- разрабатывать стандарты организации с учетом существующих требований к их содержанию и оформлению;

### **знать:**

- область применения, методы измерения параметров и свойств материалов;
- способы получения материалов с заданным комплексом свойств;
- правила улучшения свойств материалов;
- особенности испытания материалов
- основные источники информации и ресурсы для решения задач и проблем в профессиональном и/или социальном контексте.
- структуру плана для решения задач

- номенклатуру информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности
- содержание актуальной нормативно-правовой документации, порядок их применения и программное обеспечение в профессиональной деятельности
- нормативные и методические документы, регламентирующие вопросы качества продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий).

При разработке содержания практических работ учитывался уровень сложности освоения обучающимися соответствующей темы, общих и профессиональных компетенций.

Методические указания по учебной дисциплине имеют практическую направленность и значимость. Формируемые в процессе практических занятий умения могут быть использованы обучающимися в будущей профессиональной деятельности.

Выполнение обучающимися практических работ по материаловедению способствует:

- развитию познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей, логического мышления, аналитических способностей при выборе способа производства и метода обработки заготовки и детали;
- воспитанию ответственного отношения к трудовой дисциплине, к выполнению исследований и испытаний материалов.

Основными этапами практического занятия являются:

- проверка знаний обучающихся – их теоретической подготовленности к занятию;
- инструктаж, проводимый преподавателем;
- выполнение заданий, работ, упражнений, решение ситуационных задач;
- последующий анализ и оценка выполненных работ и степени овладения обучающимися запланированными умениями.

Методические указания включают:

- Планирование практических занятий;
- Общие методические рекомендации по организации и проведению практических занятий;
- Практические задания, сопровождающиеся указаниями для их выполнения;
- Критерии оценки выполнения работ и степени овладения обучающимися запланированных умений (освоенных компетенций).

## 2. Планирование практических работ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Наименование практической работы	Кол-во часов
1	Тема 2. Строение железоуглеродистых сплавов	<b>Практическая работа № 1</b> Анализ сплавов определенной концентрации по диаграмме железо-цементит с описанием процессов, происходящих при медленном охлаждении или нагревании	2
2	Тема 3. Классификация и маркировка сталей. Углеродистые стали	<b>Практическая работа № 2</b> Ознакомление со структурой и свойствами углеродистых сталей	2
3	Тема 5. Чугуны	<b>Практическая работа № 3</b> Ознакомление со структурой и свойствами чугунов.	2
4	Тема 7 Методы испытания механических свойств металлов. Повышение прочности металлов	<b>Практическая работа № 4</b> Определение твердости методом Бринелля	2
		<b>Практическая работа № 5</b> Определение основных характеристик прочности и пластичности при испытании на одноосное растяжение	2
		<b>Итого за 3 семестр</b>	<b>10</b>
		<b>Всего</b>	<b>10</b>

### 3. Критерии оценки выполненных заданий и степени овладения запланированными умениями

#### 1. Критерии оценки выполнения заданий по практическим занятиям:

Оценка	Требования к знаниям
отлично	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении вопросов, использует в ответе материал справочной технической литературы, правильно обосновывает принятое решение.
хорошо	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
удовлетворительно	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
неудовлетворительно	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

#### 4 Общие методические рекомендации по организации и проведению практических занятий

Практические занятия по дисциплине ОП.02 Материаловедение проводятся в кабинете материаловедения. Каждое практическое занятие начинается с организационного момента, включающего проверку посещаемости, готовности обучающихся к занятию.

Перед началом преподаватель ставит перед обучающимися задачи, проводит общий инструктаж по выполнению заданий (технике безопасности на рабочем месте).

В ходе выполнения заданий преподаватель направляет, консультирует обучающихся, проводит проверку знаний и умений, делает анализ выполнения задания. Занятие заканчивается оценкой работы обучающихся.

## Практическая работа № 1

### Анализ сплавов определенной концентрации по диаграмме железо-цементит с описанием процессов, происходящих при медленном охлаждении или нагревании

Цель работы: закрепить знание принципов построения диаграмм, приобрести навыки в построении кривых охлаждения, научиться рассматривать процесс охлаждения сплавов с учётом фазовых превращений, описываемых диаграммой железо-цементит, ознакомиться с основными микроструктурами железоуглеродистых сплавов и их характеристиками.

Задачи:

- учебная – ознакомление с методикой построения диаграммы состояния железо-цементит;
- воспитательная – воспитание аккуратности и внимательности при выполнении письменных работ;
- развивающая – получение знаний о микроструктуре железоуглеродистых сплавов.
- сформировать компетенции ОК 01, ОК 02, ПК 1.1, ПК 3.1.

Время на выполнение работы: 2ч

Оборудование, технические средства и инструменты:

1. Журнал для практических работ;
2. Компьютер для подключения к сети Интернет;
3. Мультимедийная доска;
4. Альбом микроструктур;
5. Презентация по теме.

Ход практического занятия:

1. Ознакомиться с основными сведениями по теме работы.
2. Изучить и зарисовать диаграмму состояния железо-цементит.
3. Задание: Построить для заданных сплавов кривые охлаждения и описать процесс охлаждения от температуры 1600°C до комнатной с учётом фазовых превращений.
4. Дать определения и характеристики структур по заданному сплаву.
5. Определить фазовые превращения в сплавах.
6. Оформить отчет по работе.

#### Теоретический материал:

Перед выполнением практической работы необходимо изучить материалы данной темы по одному из рекомендуемых источников.

В данной работе представлена диаграмма состояния железо-цементит (Fe-Fe<sub>3</sub>C), которая рассматривает процессы кристаллизации железоуглеродистых сплавов (стали и чугуна) и превращения в их структурах при медленном охлаждении от жидкого расплава до комнатной температуры.

Диаграмма (рис. 1) показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67% C). Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют сталью, а от 2,14 до 6,67% – чугуном. Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C представлена в упрощённом виде. Первичная кристаллизация, т. е. затвердевание жидкого сплава, начинается при температурах, соответствующих линии ликвидуса ACD. Точка А на этой диаграмме соответствует температуре 1539° плавления (затвердевания) железа, точка D – температуре ~1600°C плавления (затвердевания) цементита. Линия солидуса AECF

соответствует температурам конца затвердевания. При температурах, соответствующих линии AC, из жидкого сплава кристаллизуется аустенит, а линии CD – цементит, называемый первичным цементитом. В точке С при 1147°С и содержании углерода 4,3% из жидкого сплава одновременно кристаллизуется аустенит и цементит (первичный), образуя эвтектику – ледебурит. При температурах, соответствующих линии солидуса AE, сплавы с содержанием углерода до 2,14% окончательно затвердевают с образованием аустенита. На линии солидуса ECF сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 6,67% окончательно затвердевают с образованием эвтектики (ледебурита) и структур, образовавшихся ранее из жидкого сплава, а именно: в интервале 2,14-4,3% С – аустенита, а в интервале 4,3-6,67% С – цементита первичного (см. рис. 1). В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14%, т. е. в сталях, образуется однофазная структура – аустенит. В сплавах с содержанием углерода более 2,14%, т. е. в чугунах, при первичной кристаллизации образуется эвтектика ледебурита.

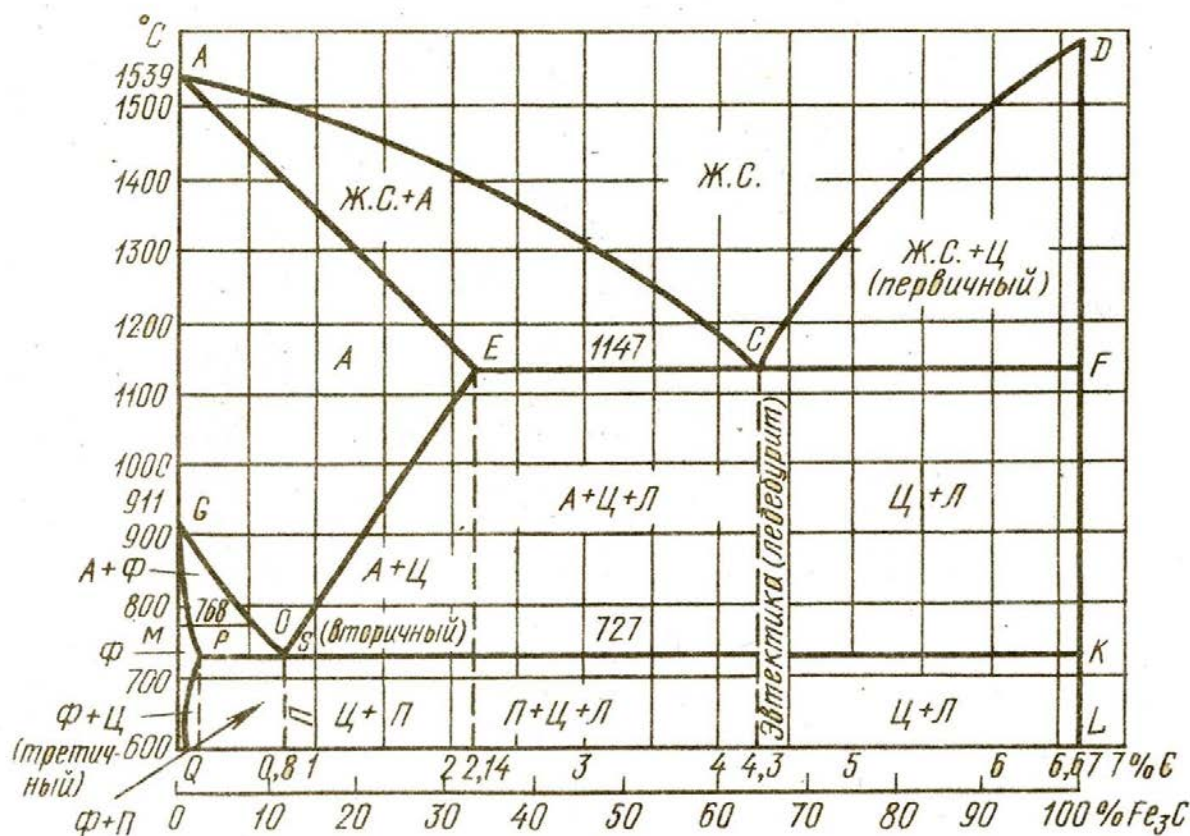


Диаграмма состояния железо - цементит (в упрощённом виде)  
 А- аустенит, П - перлит, Л - ледебурит, Ф - феррит, Ц - цементит

Рисунок 1 - Диаграмма состояния железо-цементит

Вторичная кристаллизация (превращение в твёрдом состоянии) происходит при температурах, соответствующих линиям GSE, PSK и GPQ. Превращения в твёрдом состоянии происходят вследствие перехода железа из одной аллотропической модификации в другую ( $\gamma$  в  $\alpha$ ) и в связи с изменением растворимости углерода в аустените и феррите. С понижением температуры растворимость уменьшается. Избыток углерода выделяется из твёрдых растворов в виде цементита. В области диаграммы AGSE находится аустенит. При охлаждении сплавов аустенит распадается с выделением феррита при температурах, соответствующих линий GS, и цементита, называемого вторичным, при температурах, соответствующих линии SE. Вторичным называют цементит, выделяющийся из твёрдого раствора аустенита, в отличие от первичного цементита,

выделяющегося из жидкого расплава. В области диаграммы GSP находится смесь феррита и распадающегося аустенита. Ниже линии GP существует только феррит. При дальнейшем охлаждении до температур, соответствующих линии PQ, из феррита выделяется цементит (третичный). Линия PQ показывает, что с понижением температуры растворимость углерода в феррите уменьшается от 0,02% (т. P) при 727°C до 0,006% при комнатной температуре (т. Q). В точке S при содержании 0,8% углерода и температуре 727°C весь аустенит распадается и превращается в механическую смесь феррита и цементита – перлит:

ПЕРЛИТ Ф+Ц  $\Rightarrow$  П+  $\Rightarrow$  727 (0,8%) Сталь, содержащую 0,8% углерода, называют эвтектоидной. Стали, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода, называют доэвтектоидными, а от 0,8 до 2,14% углерода – заэвтектоидными.

При температурах, соответствующих линии PSK, происходит распад аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перлита, представляющего собой механическую смесь феррита и цементита. Линию PSK называют линией перлитного превращения. При температурах, соответствующих линии SE, аустенит насыщен углеродом, и при понижении температуры из него выделяется избыточный углерод в виде цементита (вторичного). Вертикаль DFK означает, что цементит имеет неизменный химический состав. Меняется лишь форма и размер его кристаллов, что существенно отражается на свойствах сплавов. Самые крупные кристаллы цементита образуются, когда он выделяется при первичной кристаллизации из жидкости. Диаграмма железо-цементит показывает структуры белых чугунов, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Белый чугун, содержащий 4,3% углерода, называют эвтектическим. Белые чугуны, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода, называют доэвтектическими, а от 4,3 до 6,67% углерода – заэвтектическими. По достижении температуры 727°C (линия PSK) аустенит, обеднённый углеродом до эвтектоидного состава (0,8% углерода), превращается в перлит. После окончательного охлаждения доэвтектические белые чугуны состоят из перлита, ледебурита, состоящего из перлита и цементита, и цементита вторичного. Чем больше в структуре такого чугуна углерода, тем меньше в нём перлита и больше ледебурита.

Белый эвтектический чугун (4,3% углерода) при температурах ниже 727°C состоит только из ледебурита.

Белый заэвтектический чугун, содержащий более 4,3% углерода, после окончательного охлаждения состоит из цементита первичного и ледебурита. Следует отметить, что при охлаждении ледебурита ниже линии PSK входящий в него аустенит превращается в перлит, т. е. ледебурит при комнатной температуре представляет собой уже смесь цементита и перлита. При этом цементит образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита является причиной его большой твёрдости (HB > 600) и хрупкости.

Цементит (Fe<sub>3</sub>C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67% углерода. Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решётка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу. Температура плавления цементита точно не установлена (1250, 1550°C). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около 217°C.



Ледебурит, как и цементит, образующий его основу, твёрд, износостоек и обладает практически нулевой пластичностью. Эти свойства ледебурита лежат в основе использования такой структуры в белых чугунах, используемых в качестве одних из наиболее износостойких материалов.

Перлит – это эвтектоидная механическая смесь двух фаз: феррита и цементита. Механические свойства перлита определяются его структурным состоянием. Экспериментально определённые значения твёрдости пластинчатого перлита, сорбита и троостита, соответственно, равны 170...230, 230...330 и 330...400 НВ. Эти структуры имеют одну природу, но отличаются степенью дисперсности частиц, их образующих (феррит и цементит). Таким образом, можно видеть, что чем выше степень дисперсности феррито-цементитной смеси, тем выше его твёрдость.

Феррит (Ф) – твёрдый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо. Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006% при комнатной температуре, максимальную – 0,02% при температуре 727°C (т. Р). Углерод располагается в дефектах объёмно центрированной кубической решётки. При температуре выше 1392°C существует высокотемпературный феррит  $\delta$ , с предельной растворимостью углерода 0,1% при температуре 1499°C. Свойства феррита близки к свойствам железа. Феррит мягок твёрдость – 130 НВ, пластичен, магнитен до 768°C.

Аустенит (А) – твёрдый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо. Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки. Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8% при температуре 727°C (точка S), максимальную – 2,14% при температуре 1147°C (точка E). Аустенит имеет твёрдость НВ 200...250, пластичен, парамагнитен. При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

Диаграмма состояния железо-цементит имеет большое практическое значение. Её применяют для определения тепловых режимов термической обработки и горячей обработки давлением (ковка, горячая штамповка, прокатка) железоуглеродистых сплавов. Её используют также в литейном производстве для определения температуры плавления, которую необходимо знать для назначения режима заливки жидкого железоуглеродистого сплава в литейные формы. На рисунке 2 показаны пример построения кривой охлаждения сплава, а на рисунке 3 показаны структуры сталей и чугунов в соответствии с диаграммой железо-цементит.

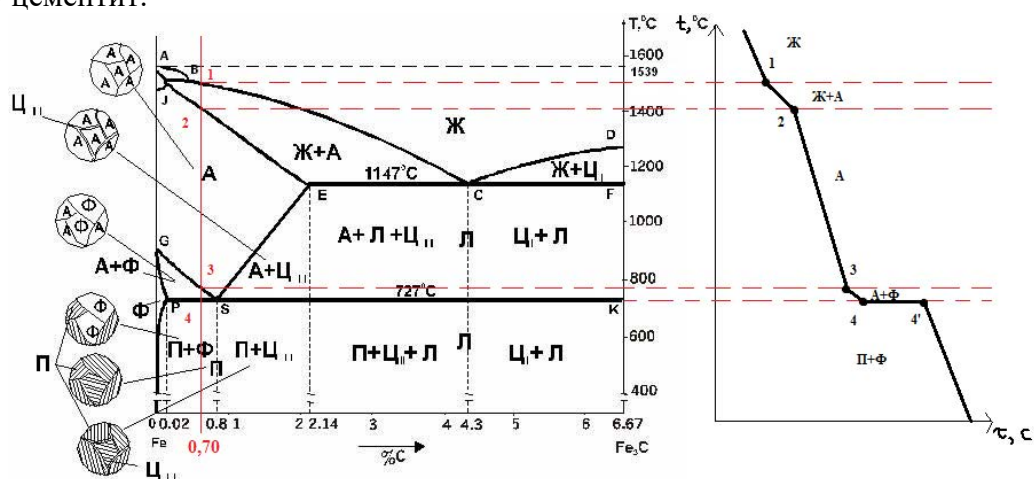


Рисунок 2 - Пример построения кривой охлаждения сплава

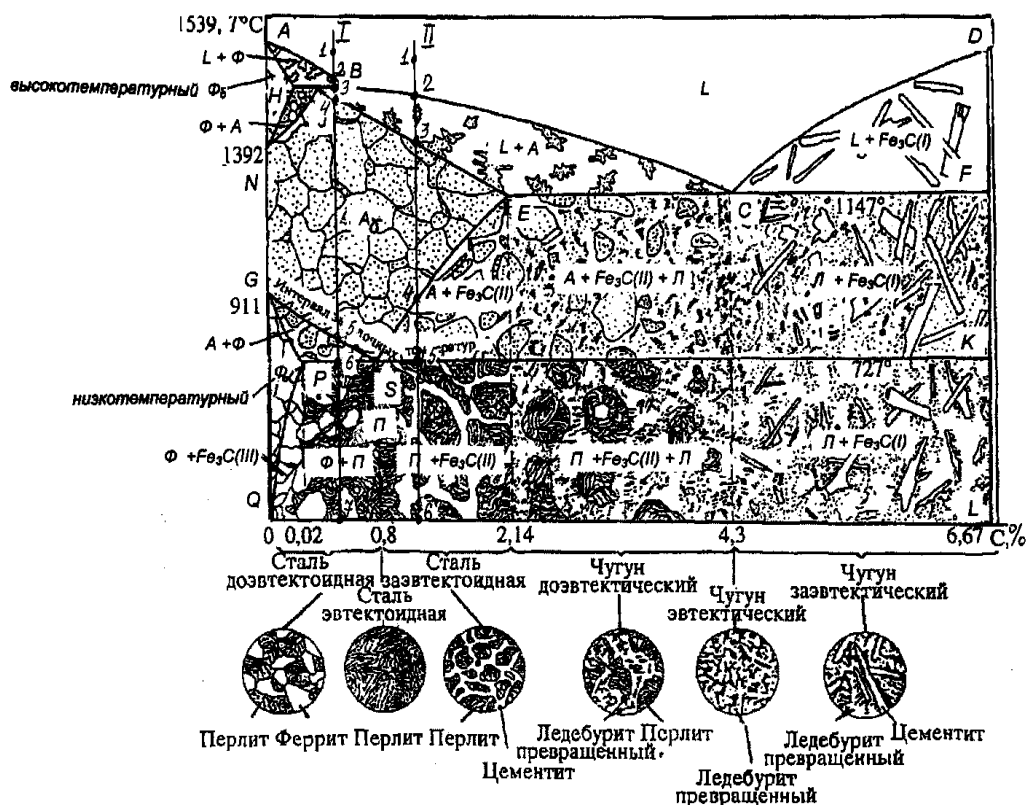


Рисунок 3 - Микроструктура стали и чугуна: а – доэвтектоидная сталь – феррит (светлые участки) и перлит (тёмные участки) при 500х увеличении; б – эвтектоидная сталь – перлит (1000х); в – заэвтектоидная сталь – перлит и цементит в виде сетки (200х)

Микроструктура белого чугуна при 500х увеличении: а – доэвтекктический чугуи – перлит (тёмные участки) и ледебурит (цементит вторичный в структуре не виден); б – эвтекктический чугуи – ледебурит (смесь перлита и цементита); в – заэвтекктический чугуи – цементит (светлые пластины) и ледебурит

#### Индивидуальные задания

В таблице приведены исходные данные для выполнения индивидуального задания.

Таблица 1 – Варианты заданных сплавов

№	Содержание С, %	№	Содержание С, %	№	Содержание С, %	№	Содержание С, %
1	0,5; 5,0	8	0,45; 2,2	15	0,15; 4,4	22	1,8; 3,2
2	1,2; 4,3	9	0,6; 5,5	16	2,0; 6,6	23	2,0; 4,3
3	2,0; 4,3	10	1,9; 6,3	17	1,5; 2,8	24	0,8; 3,5
4	0,25; 3,0	11	0,1; 2,7	18	0,35; 3,0	25	1,5; 3,8
5	0,8; 4,5	12	0,2; 3,5	19	0,7; 4,3	26	1,8; 4,5
6	0,4; 6,0	13	0,9; 4,5	20	1,8; 2,5	27	1,3; 5,0
7	1,3; 2,5	14	1,1; 3,9	21	2,0; 3,8	28	0,9; 3,9

## Методические указания по выполнению практической работы

1. В соответствии с номером варианта из таблицы 1 выберите массовую долю углерода контрольных сплавов.
  2. В тетради по практическим работам вычертите диаграмму состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C. Обозначьте структурные составляющие во всех областях диаграммы.
  3. Нанесите на диаграмму вертикальные линии контрольных сплавов,
  4. Постройте кривые охлаждения контрольных сплавов. Дайте подробное описание микроструктур при медленном охлаждении. Приведите необходимые реакции.
  5. Определите, к какой группе железоуглеродистых сплавов относятся заданные сплавы.
  6. Схематически изобразите микроструктуры сплавов в интервале температур первичной кристаллизации и при комнатной температуре. На рисунке отметьте структурные составляющие.
- Отчёт по индивидуальному заданию выполняется по установленной форме в отдельной тетради.

### Критерии оценок за выполнение практической работы

Оценка «5» ставится в том случае, если учащийся: • правильно, по плану выполняет практическую работу; • работу выполняет самостоятельно, правильно формулирует вывод и аккуратно оформляет результаты работы. Оценка «4» ставится в том случае, если учащийся: • правильно, по плану выполняет практическую работу, но допускает недочёты и неточности в процессе выполнения практической работы; • правильно формулирует выводы, но имеются недостатки в оформлении лабораторной работы.

Оценка «3» ставится в том случае, если учащийся: • допускает неточности в выполнении практической работы; • допускает недочёты в определениях определяемых величин; • допускает неточности в формулировке выводов; • имеются недостатки в оформлении практической работы.

### Контрольные вопросы

1. Какое превращение происходит в железоуглеродистых сплавах при температуре 1147°C?
2. Какое превращение происходит в железоуглеродистых сплавах при температуре 727°C?
3. Какой фазовый состав имеют стали по завершению процесса первичной кристаллизации?
4. Какой фазовый состав имеют стали при комнатной температуре?
5. Чем отличается ледебурит от ледебурита превращённого?
6. Чем отличаются структурные составляющие «цементит первичный», «цементит вторичный», «цементит третичный»?
7. Каким образом отличаются обозначения критических точек при нагреве и охлаждении?
8. Что называют перлитом?
9. Что называют ледебуритом?
10. Что называют аустенитом?
11. Что называют ферритом?
12. Чем отличаются превращения в твёрдом состоянии у доэвтектоидной и заэвтектоидной стали?
13. Какая фаза первично кристаллизуется в заэвтектических белых чугунах?
14. Как называется чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цемента?

15. Какая фаза первично кристаллизуется в доэвтектических белых чугунах?
16. Какой сплав называют техническим железом?
17. Когда на кривой охлаждения должна быть горизонтальная площадка? О чём это свидетельствует?

### **Итоговое выступление преподавателя/подведение итогов:**

#### **Оформление результатов работы**

Оформить отчёт о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые ответы на поставленные вопросы с решениями, пояснениями, результатами решения.

#### **Список рекомендуемой литературы**

##### Учебники и учебные пособия:

##### Основные:

1 Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475384>

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 389 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475385>

3 Технология металлов и сплавов : учебное пособие для среднего профессионального образования / ответственный редактор А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 310 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11111-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455806>

##### **Дополнительные источники:**

1. Марочник сталей и сплавов.2019
2. Перинский, В. В. Материаловедение : словарь для СПО / В. В. Перинский, И. В. Перинская. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4488-0736-7, 978-5-4497-0425-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/90537>
3. Плошкин, В. В. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 463 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02459-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470071>
4. Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/73753>

## Интернет-ресурсы

- 1 Электронные ресурс «Металлообработка». Форма доступа: *Металлообработка* — Википедия, <https://ru.wikipedia.org>
- 2 Портал "Известия науки". Форма доступа: <http://www.inauka.ru>
- 3 Online-доступ к государственным стандартам. Форма доступа: <http://standards.narod.ru/gosts/>

## Практическая работа № 2

### Ознакомление со структурой и свойствами углеродистых сталей

Цель занятия: изучить структуру сталей, установить связь между структурой и свойствами сталей.

Задачи:

- учебная – ознакомление со структурой сталей;
- воспитательная – воспитание аккуратности и внимательности при выполнении письменных работ;
- развивающая – умение анализировать информацию, выявлять структурные составляющие сталей, влияющие на механические свойства сталей.
- сформировать компетенции ОК 01, ОК 02, ПК 1.1, ПК 3.1

Время на выполнение работы: 2ч

Оборудование, технические средства и инструменты:

1. Журнал для практических работ;
2. Компьютер для подключения к сети Интернет;
3. Мультимедийная доска;
4. Альбом микроструктур;
5. Презентация по теме.

Ход практического занятия:

1. Ознакомиться с основными сведениями по теме работы.
2. Изучить структуру сталей. По заданным маркам сталей определить состав, свойства. Указать назначение.
3. Оформить отчет по работе.

### Теоретический материал:

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием.

Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки. Стали, подразделяют на углеродистые и легированные. В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы. 1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Стали классифицируются по множеству признаков.

1. По химическому: составу: углеродистые и легированные.
2. По содержанию углерода:
  - низкоуглеродистые, с содержанием углерода до 0,25 %;
  - среднеуглеродистые, с содержанием углерода 0,3...0,6 %;
  - высокоуглеродистые, с содержанием углерода выше 0,7 %

3. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.  
По качеству. Количественным показателем качества является содержания вредных примесей: серы и фосфора:

–  $0,04 \leq S \leq 0,06\%$ ,  $0,04 \leq P \leq 0,08\%$  – углеродистые стали обыкновенного качества:

–  $P, S = 0,03 \dots 0,04\%$  – качественные стали;

–  $P, S \leq 0,03\%$  – высококачественные стали.

4. По способу выплавки:

– в мартеновских печах;

– в кислородных конверторах;

– в электрических печах: электродуговых, индукционных и др.

5. По назначению:

– конструкционные – применяются для изготовления деталей машин и механизмов;

– инструментальные – применяются для изготовления различных инструментов;

– специальные – стали с особыми свойствами: электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др

Принято буквенно-цифровое обозначение сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).

Стали содержат повышенное количество серы и фосфора

Маркируются Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали. Цифры от 0 до 6 - это условный номер марки стали. С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали. По гарантиям при поставке существует три группы сталей: А, Б и В. Для сталей группы А при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей группы Б гарантируется химический состав. Для сталей группы В при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Индексы кп, пс, сп указывают степень раскисленности стали: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная. Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

Конструкционные качественные углеродистые стали

Маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной.

Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45.

Содержание углерода, соответственно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

Инструментальные качественные углеродистые стали

Инструментальные качественные углеродистые стали маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента. Сталь У8, сталь У13. Содержание углерода, соответственно, 0,8 % и 1,3 %

Инструментальные высококачественные углеродистые стали.

Маркируются аналогично качественным инструментальным углеродистым сталям, только в конце марки ставят букву А, для обозначения высокого качества стали. Сталь У10А.

Контрольные вопросы

1. Как маркируют стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные?

2. Как классифицируют стали по содержанию углерода?

3. Как зависят свойства сталей от содержания углерода?  
 4. Как изменяются структуры сталей от содержания углерода?

ЗАДАНИЕ 1. По марке стали записать ее химический состав, механические свойства.	ЗАДАНИЕ 2. Изобразить микроструктуру	ЗАДАНИЕ 3. Определить назначение: конструкционная, инструментальная, пружинно-рессорная	ЗАДАНИЕ 4. По марке стали определить применение
Ст1пс Ст3кп Ст2кп Ст3пс Ст2кп 08 20 40 50 65 70 85 У7 У8 У9 У9А У10 У10А У12 У12А			

**Итоговое выступление преподавателя/подведение итогов:**

**Оформление результатов работы**

Оформить отчёт о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые ответы на поставленные вопросы с решениями, пояснениями, результатами решения.

**Список рекомендуемой литературы**

Учебники и учебные пособия:

Основные:

1 Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475384>

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 389 с. —

(Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475385>

3 Технология металлов и сплавов : учебное пособие для среднего профессионального образования / ответственный редактор А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 310 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11111-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455806>

#### **Дополнительные источники:**

1. Марочник сталей и сплавов. 2019
2. Перинский, В. В. Материаловедение : словарь для СПО / В. В. Перинский, И. В. Перинская. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4488-0736-7, 978-5-4497-0425-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/90537>
3. Плошкин, В. В. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 463 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02459-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470071>
4. Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/73753>

#### **Интернет-ресурсы**

- 1 Электронные ресурс «Металлообработка». Форма доступа: [Металлообработка — Википедия, https://ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org)
- 2 Портал "Известия науки". Форма доступа: <http://www.inauka.ru>
- 3 Online-доступ к государственным стандартам. Форма доступа: <http://standards.narod.ru/gosts/>

## Практическая работа № 3 Ознакомление со структурой и свойствами чугунов

Цель занятия: изучить структуру и свойства чугунов.

Задачи:

- учебная – научить работать с технической справочной литературой, изучая микроструктуру по альбому микроструктур;
- воспитательная – воспитание аккуратности и внимательности при выполнении письменных работ
- развивающая – умение анализировать информацию, выявлять условия процесса кристаллизации, влияющие на механические свойства металлов.
- сформировать компетенции ОК 01, ОК 02, ПК 1.1, ПК 3.1

Время на выполнение работы: 2ч

Оборудование, технические средства и инструменты:

1. Журнал для практических работ;
2. Компьютер для подключения к сети Интернет;
3. Мультимедийная доска;
4. Альбом микроструктур;
5. Презентация по теме.

Ход практического занятия:

1. Ознакомиться с основными сведениями по теме работы.
2. Изучить и зарисовать микроструктуру чугунов.
3. Указать на рисунке фазы, объяснить их образование.
4. Оформить отчет по работе.

### Теоретический материал:

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют чугунами.

Наличие легкоплавкого ледебурита в структуре чугунов повышает их литейные свойства.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит, отличаются высокой хрупкостью. Цвет их излома – серебристо-белый. Такие чугуны называются белыми чугунами.

Микроструктуры белых чугунов представлены на рисунке 1.

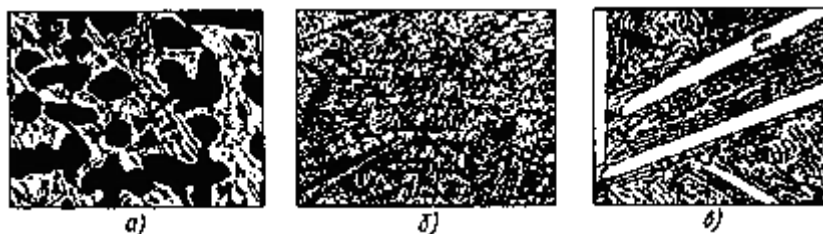


Рисунок 1 - Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун ( $\Pi + \mathcal{L} + \mathcal{C}_{II}$ ); б – эвтектический белый чугун ( $\mathcal{L}$ ); в – заэвтектический белый чугун ( $\mathcal{L} + \mathcal{C}_I$ ).

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: доэвтектические ( $2,14\% < C < 4,3\%$ ), структура перлит + ледебурит + цементит вторичный ( $P + L + C_{II}$ ); эвтектические ( $C = 4,3\%$ ), структура ледебурит (Л) (рис. 1 б); заэвтектические ( $4,3\% < C < 6,67\%$ ), структура ледебурит + цементит первичный ( $L + C_I$ ) (рис. 1 в).

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Фазовый состав сталей и чугунов при нормальных температурах один и тот же, они состоят из феррита и цементита. Однако свойства сталей и белых чугунов значительно различаются. Таким образом, основным фактором, определяющим свойства сплавов системы железо – цементит является их структура.

Чугун отличается от стали: по составу – более высокое содержание углерода и примесей; по технологическим свойствам – более высокие литейные свойства, малая способность к пластической деформации, почти не используется в сварных конструкциях.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- белый чугун – углерод в связанном состоянии в виде цементита, в изломе имеет белый цвет и металлический блеск;
- серый чугун – весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде графита, а в связанном состоянии находится не более 0,8 % углерода. Из-за большого количества графита его излом имеет серый цвет;
- половинчатый – часть углерода находится в свободном состоянии в форме графита, но не менее 2 % углерода находится в форме цементита. Мало используется в технике.

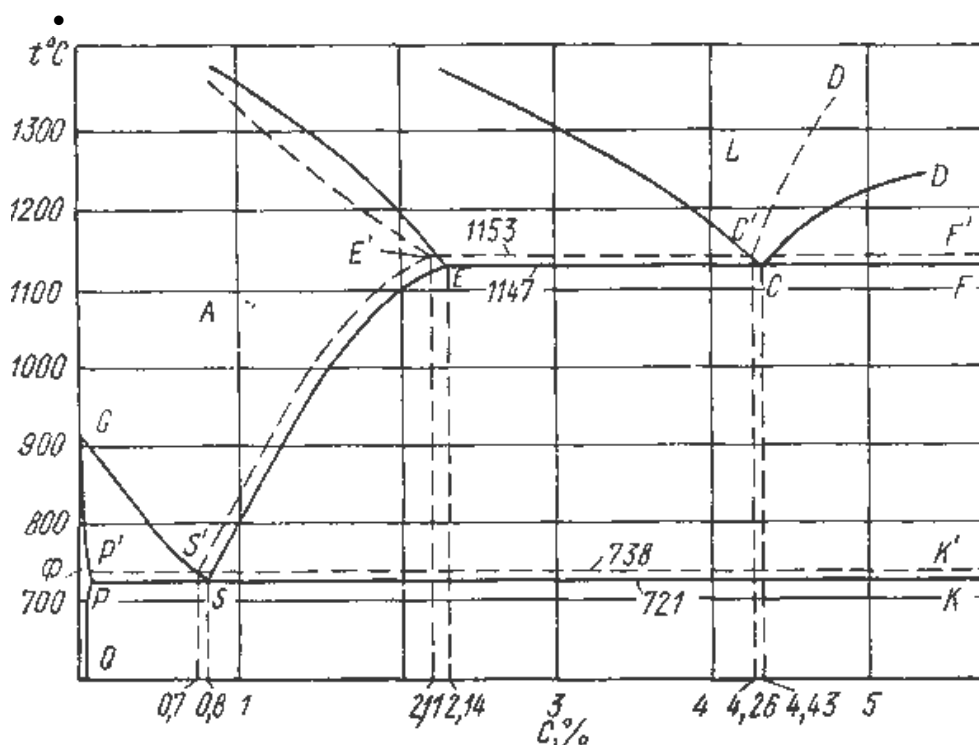


Рисунок 2 - Диаграмма состояния железо – углерод: сплошные линии – цементитная система; пунктирные – графитная  
Диаграмма состояния железо – графит.

В результате превращения углерод может не только химически взаимодействовать с железом, но и выделяться в элементарном состоянии в форме графита. Жидкая фаза, аустенит и феррит могут находиться в равновесии и с графитом.

Диаграмма состояния железо – графит показана штриховыми линиями на рис. 2. Линии диаграммы находятся выше линий диаграммы железо – цементит. Температуры эвтектического и эвтектоидного превращений, соответственно,  $1153^{\circ}\text{C}$  и  $738^{\circ}\text{C}$ . Точки  $C$ ,  $E$ ,  $S$  – сдвинуты влево, и находятся при концентрации углерода 4,24, 2,11 и 0,7 %, соответственно.

При высоких температурах цементит разлагается с выделением графита, поэтому диаграмма состояния железо – цементит является метастабильной, а диаграмма железо – графит – стабильной. Процесс образования графита в сплавах железа с углеродом называется *графитизацией*.

### Процесс графитизации

Графит – это полиморфная модификация углерода. Так как графит содержит 100% углерода, а цементит – 6,67 %, то жидкая фаза и аустенит по составу более близки к цементиту, чем к графиту. Следовательно, образование цементита из жидкой фазы и аустенита должно протекать легче, чем графита.

С другой стороны, при нагреве цементит разлагается на железо и углерод. Следовательно, графит является более стабильной фазой, чем цементит.

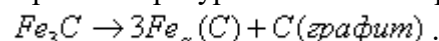
Возможны два пути образования графита в чугунах.

1. При благоприятных условиях (наличие в жидкой фазе готовых центров кристаллизации графита и очень медленное охлаждение) происходит непосредственное образование графита из жидкой фазы.

2. При разложении ранее образовавшегося цементита. При температурах выше  $738^{\circ}\text{C}$  цементит разлагается на смесь аустенита и графита по схеме



При температурах ниже  $738^{\circ}\text{C}$  разложение цементита осуществляется по схеме:



При малых скоростях охлаждения степень разложения цементита больше.

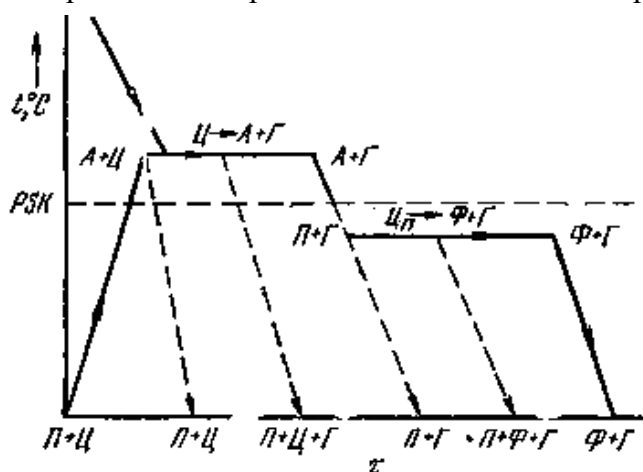


Рисунок 3 - Схема образования структур при графитизации

Графитизацию из жидкой фазы, а также от распада цементита первичного и цементита, входящего в состав эвтектики, называют *первичной стадией графитизации*.

Выделение вторичного графита из аустенита называют *промежуточной стадией графитизации*.

Образование эвтектоидного графита, а также графита, образовавшегося в результате цементита, входящего в состав перлита, называют *вторичной стадией графитизации*.

Структура чугунов зависит от степени графитизации, т.е. от того, сколько углерода находится в связанном состоянии.

Выдержка при температуре больше  $738^{\circ}\text{C}$  приводит к графитизации избыточного не растворившегося цементита. Если процесс завершить полностью, то при высокой температуре структура будет состоять из аустенита и графита, а после охлаждения – из перлита и графита.

При незавершенности процесса первичной графитизации, выше температуры  $738^{\circ}\text{C}$  структура состоит из аустенита, графита и цементита, а ниже этой температуры – из перлита, графита и цементита.

При переходе через критическую точку превращения аустенита в перлит, и выдержке при температуре ниже критической приведет к распаду цементита, входящего в состав перлита (вторичная графитизация). Если процесс завершен полностью то структура состоит из феррита и графита, при незавершенности процесса – из перлита, феррита и графита.

### Строение, свойства, классификация и маркировка серых чугунов

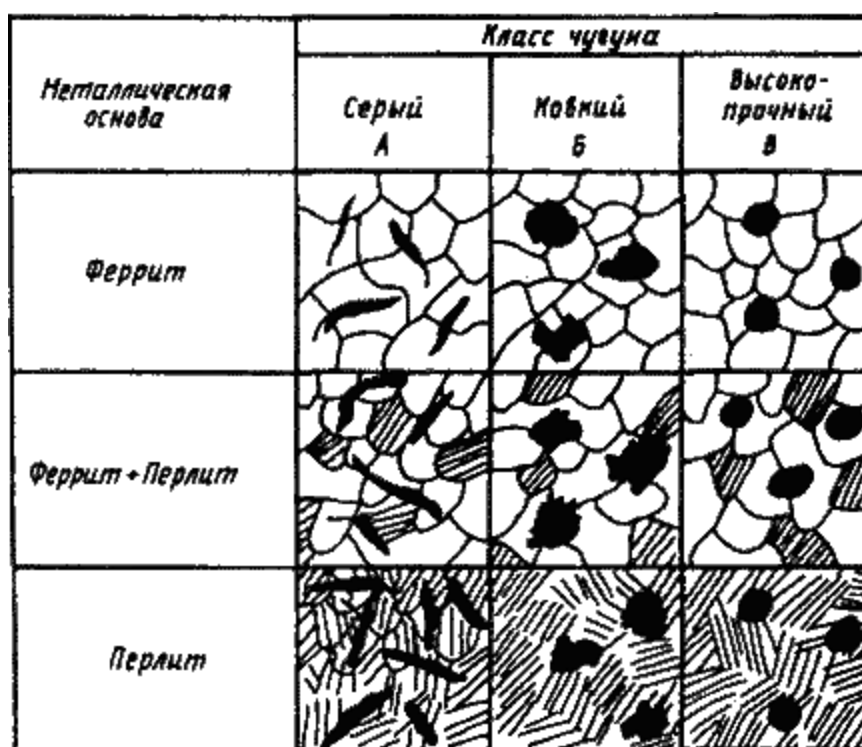


Рисунок 4- Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Из рассмотрения структур чугунов можно заключить, что их металлическая основа похожа на структуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали или технического железа.

Отличаются от стали только наличием графитовых включений, определяющих специальные свойства чугунов.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие группы чугунов: *серый* – с пластинчатым графитом; *высокопрочный* – с шаровидным графитом; *ковкий* – с хлопьевидным графитом.

Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений представлены на рис. 4

Наиболее широкое распространение получили чугуны с содержанием углерода  $2,4...3,8\%$ . Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его

механические свойства, следовательно, количество углерода не должно превышать 3,8 %. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее 2,4 %.

Влияние состава чугуна на процесс графитизации.

Углерод и кремний способствуют графитизации, марганец затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна. Сера способствует отбеливанию чугуна и ухудшает литейные свойства, ее содержание ограничено – 0,08...0,12 %. Фосфор на процесс графитизации не влияет, но улучшает жидкотекучесть, Фосфор является в чугунах полезной примесью, его содержание – 0,3...0,8 %.

#### **Влияние графита на механические свойства отливок.**

Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной мере разупрочняют металл. Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита. Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение ( $\delta$ ) для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%.

Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв. Сопротивление сжатию снижается мало.

#### **Положительные стороны наличия графита.**

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

#### **Серый чугун.**

Структура не оказывает влияние на пластичность, она остается чрезвычайно низкой. Но оказывает влияние на твердость. Механическая прочность в основном определяется количеством, формой и размерами включений графита. Мелкие, завихренной формы чешуйки графита меньше снижают прочность. Такая форма достигается путем модифицирования. В качестве модификаторов применяют алюминий, силикокальций, ферросилиций.

Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами.

В зависимости от прочности серый чугун подразделяют на 10 марок (ГОСТ 1412).

Серые чугуны при малом сопротивлении растяжению имеют достаточно высокое сопротивление сжатию.

Серые чугуны содержат углерода – 3,2...3,5 %; кремния – 1,9...2,5 %; марганца – 0,5...0,8 %; фосфора – 0,1...0,3 %; серы – < 0,12 %.

Структура металлической основы зависит от количества углерода и кремния. С увеличением содержания углерода и кремния увеличивается степень графитизации и склонность к образованию ферритной структуры металлической основы. Это ведет к разупрочнению чугуна без повышения пластичности. Лучшими прочностными свойствами и износостойкостью обладают перлитные серые чугуны.

Учитывая малое сопротивление отливок из серого чугуна растягивающим и ударным нагрузкам, следует использовать этот материал для деталей, которые подвергаются сжимающим или изгибающим нагрузкам. В станкостроении это – базовые, корпусные детали, кронштейны, зубчатые колеса, направляющие; в автостроении – блоки цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, диски сцепления. Отливки из серого чугуна также используются в электромашиностроении, для изготовления товаров народного потребления.

Обозначаются индексом СЧ (серый чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на  $10^{-1}$ СЧ 15.

#### **Высокопрочный чугун с шаровидным графитом.**

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293) могут иметь ферритную (ВЧ 35), феррито-перлитную (ВЧ45) и перлитную (ВЧ 80) металлическую основу. Получают эти чугуны из серых, в результате модифицирования магнием или церием (добавляется 0,03...0,07% от массы отливки). По сравнению с серыми чугунами, механические свойства повышаются, это вызвано отсутствием неравномерности в распределении напряжений из-за шаровидной формы графита.

Чугуны с перлитной металлической основой имеют высокие показатели прочности при меньшем значении пластичности. Соотношение пластичности и прочности ферритных чугунов – обратное.

Высокопрочные чугуны обладают высоким пределом текучести,

$$\sigma_{ж} = 300...420 \text{ МПа},$$

что выше предела текучести стальных отливок. Также характерна достаточно высокая ударная вязкость и усталостная прочность,

$$\sigma_{-1} = 230...250 \text{ МПа},$$

при перлитной основе.

Высокопрочные чугуны содержат: углерода – 3,2...3,8 %, кремния – 1,9...2,6 %, марганца – 0,6...0,8 %, фосфора – до 0,12 %, серы – до 0,3 %.

Эти чугуны обладают высокой жидкотекучестью, линейная усадка – около 1%. Литейные напряжения в отливках несколько выше, чем для серого чугуна. Из-за высокого модуля упругости достаточно высокая обрабатываемость резанием. Обладают удовлетворительной свариваемостью.

Из высокопрочного чугуна изготавливают тонкостенные отливки (поршневые кольца), шаботы ковочных молотов, станины и рамы прессов и прокатных станков, изложницы, резцедержатели, планшайбы.

Отливки коленчатых валов массой до 2..3 т, взамен кованых валов из стали, обладают более высокой циклической вязкостью, малочувствительны к внешним концентраторам напряжения, обладают лучшими антифрикционными свойствами и значительно дешевле.

Обозначаются индексом ВЧ (высокопрочный чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на  $10^{-1}$ ВЧ 100.

#### **Ковкий чугун**

Получают отжигом белого доэвтектического чугуна.

Хорошие свойства у отливок обеспечиваются, если в процессе кристаллизации и охлаждения отливок в форме не происходит процесс графитизации. Чтобы предотвратить графитизацию, чугуны должны иметь пониженное содержание углерода и кремния.

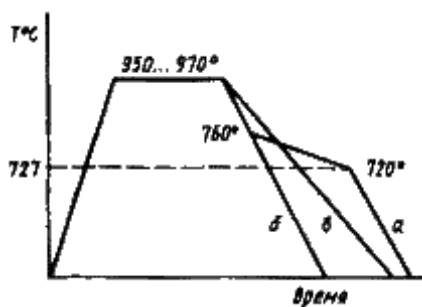


Рисунок 5 - Отжиг ковкого чугуна.

Отливки выдерживаются в печи при температуре  $950...1000^{\circ}\text{C}$  в течении  $15...20$  часов. Происходит разложение цементита:  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\gamma(\text{C}) + \text{C}$ .

Структура после выдержки состоит из аустенита и графита (углерод отжига). При медленном охлаждении в интервале  $760...720^{\circ}\text{C}$ , происходит разложение цементита, входящего в состав перлита, и структура после отжига состоит из феррита и углерода отжига (получается ферритный ковкий чугун).

При относительно быстром охлаждении (режим б, рис. 11.3) вторая стадия полностью устраняется, и получается перлитный ковкий чугун.

Структура чугуна, отожженного по режиму в, состоит из перлита, феррита и графита отжига (получается феррито-перлитный ковкий чугун)

Отжиг является длительной  $70...80$  часов и дорогостоящей операцией. В последнее время, в результате усовершенствований, длительность сократилась до 40 часов.

Различают 7 марок ковкого чугуна: три с ферритной (КЧ 30 – 6) и четыре с перлитной (КЧ 65 – 3) основой (ГОСТ 1215).

По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным является ограничение толщины стенок для отливки и необходимость отжига.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

Из ферритных чугунов изготавливают картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы.

Из перлитных чугунов, характеризующихся высокой прочностью, достаточной пластичностью, изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, тормозные колодки.

Обозначаются индексом КЧ (высокопрочный чугун) и двумя числами, первое из которых показывает значение предела прочности, умноженное на  $10^{-1}$ , а второе – относительное удлинение - КЧ 30 - 6.

#### **Отбеленные и другие чугуны**

Отбеленные – отливки, поверхность которых состоит из белого чугуна, а внутри серый или высокопрочный чугун.

В составе чугуна  $2,8...3,6\%$  углерода, и пониженное содержание кремния  $-0,5...0,8\%$ .

Имеют высокую поверхностную твердость ( $950...1000$  НВ) и очень высокую износостойкость. Используются для изготовления прокатных валов, вагонных колес с отбеленным ободом, шаров для шаровых мельниц.

Для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа, используются белые чугуны, легированные хромом, хромом и марганцем, хромом и никелем. Отливки из такого чугуна отличаются высокой твердостью и износостойкостью.

Для деталей, работающих в условиях износа при высоких температурах, используют высокохромистые и хромоникелевые чугуны. Жаростойкость достигается

легированием чугунов кремнием (5...6 %) и алюминием (1...2 %). Коррозионная стойкость увеличивается легированием хромом, никелем, кремнием.

Для чугунов можно применять термическую обработку.

### Содержание отчета

Чугун - это \_\_\_\_\_

Характеристика чугунов:

Белый чугун- \_\_\_\_\_

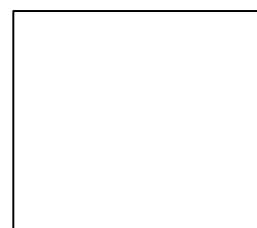
Серый чугун- \_\_\_\_\_

Ковкий чугун- \_\_\_\_\_

Высокопрочный чугун- \_\_\_\_\_

Ферритный чугун- \_\_\_\_\_

### Микроструктура белых чугунов



Графитизированные чугуны бывают:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Микроструктура серого чугуна с различной формой графита и внешний вид графитовых включений



Рисунок 2

Хлопьевидный графит в ковком чугуне

Шаровидный графит в высокопрочном чугуне



Рисунок 3

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие сплавы относятся к чугунам?
2. На какие группы подразделяют чугуны?
3. Какую диаграмму состояния используют при анализе микроструктуры белых чугунов?
4. Почему белый чугун имеет ограниченное использование?
5. Что называют ледебуритом?
6. Какой процесс протекает в белых чугунах при переохлаждении расплава ниже 1147 °С ?
7. Сколько углерода содержится в эвтектическом белом чугуне?
8. Сколько структурных составляющих можно увидеть при комнатной температуре в белом доэвтектическом чугуне?
9. Сколько структурных составляющих, можно увидеть при комнатной температуре в белом эвтектическом чугуне?
10. Сколько структурных составляющих можно увидеть при комнатной температуре в белом заэвтектическом чугуне?
11. Каким методом получают серые чугуны?
12. Каким методом получают ковкий чугун?
13. Каким методом получают высокопрочный чугун?
14. Каким методом получают чугун с вермикулярным графитом?
15. Как маркируются чугуны?
16. От каких факторов зависит степень графитизации?
17. Сколько структурных составляющих содержит чугун, если графитизация в твердом состоянии прошла полностью?
18. Чем отличаются микроструктуры графитизированных чугунов на одинаковой основе?
19. В чем сущность эвтектического превращения в чугунах?

### **Итоговое выступление преподавателя/подведение итогов:**

#### **Оформление результатов работы**

Оформить отчёт о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые ответы на поставленные вопросы с решениями, пояснениями, результатами решения.

#### **Список рекомендуемой литературы**

##### Учебники и учебные пособия:

##### Основные:

1 Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475384>

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 389 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475385>

3 Технология металлов и сплавов : учебное пособие для среднего профессионального образования / ответственный редактор А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 310 с. — (Профессиональное образование). — ISBN

978-5-534-11111-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455806>

#### **Дополнительные источники:**

1 Перинский, В. В. Материаловедение : словарь для СПО / В. В. Перинский, И. В. Перинская. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4488-0736-7, 978-5-4497-0425-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО ПРОФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/90537>

2. Плошкин, В. В. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 463 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02459-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470071>

3. Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО ПРОФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/73753>

#### **Интернет-ресурсы**

1. Электронные ресурс «Металлообработка». Форма доступа: [Металлообработка — Википедия, https://ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org)
2. Портал "Известия науки". Форма доступа: <http://www.inauka.ru>
3. Online-доступ к государственным стандартам. Форма доступа: <http://standards.narod.ru/gosts/>

### **Практическая работа № 4 Определение твердости методом Бринелля**

Цель занятия: приобрести навыки в определении твердости металлов по Бринеллю (Произвести расчет твердости материалов).

#### **Задачи:**

- учебная – ознакомление с методами измерения твердости материалов, с таблицей перевода твердости, определенной различными способами;
- воспитательная – воспитание аккуратности и внимательности при выполнении письменных работ;
- развивающая – получение практических навыков определения твердости, выполнение расчетов по определению твердости методом Бринелля.
- сформировать компетенции ОК 01, ОК0 2, ПК 1.1, ПК 3.1

Время на выполнение работы: 2ч

Оборудование, технические средства и инструменты:

1. Журнал для практических работ;
2. Компьютер для подключения к сети Интернет;
3. Проектор;
4. Альбом микроструктур;
5. Презентация по теме.

Ход практического занятия:

1. Ознакомиться с основными сведениями по теме работы.
2. Изучить и зарисовать схему испытаний образцов на твердость по Бринеллю.
3. Оформить отчет по работе.

### **Теоретический материал:**

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела под действием нагрузки.

материалов, что объясняется следующими причинами:

- твердость характеризует износостойкость деталей и режущие свойства инструментов;
- между твердостью и пределом прочности металлов и сплавов существует определенная зависимость, что позволяет по твердости судить о пределе прочности;
- измерение твердости производится без разрушения детали и осуществляется значительно быстрее и проще определения других механических свойств;
- твердость может быть измерена в тонких слоях материала.

Используют следующие основные способы измерения твердости:

- вдавливанием твердого наконечника (интендора);
- царапанием поверхности;
- по отскоку упругого бойка.

Наиболее часто применяется метод вдавливания. Различают два способа определения твердости вдавливанием:

- измерение макротвердости;
- измерение микротвердости.

Измерение макро твердости (твердости) производится в тех случаях, когда требуется получить представление о средней твердости материала. Измерение микротвердости производится с целью определения свойств отдельных структурных составляющих. У мягких металлов и древесины твердость измеряют вдавливанием в них индентора – стального закаленного шарика и обозначают *HB* (твердость по Бринеллю). В системе СИ измеряется в Н/мм<sup>2</sup>, что равно МПа; (старые единицы измерения кгс/мм<sup>2</sup> и кгс/см<sup>2</sup>). «*HB*» читается латинскими буквами.

Для твердых металлов в качестве индентора применяют алмазный конус и обозначают *HRC* (твердость по Роквеллу). Измеряется в условных единицах, обозначающих количество расстояния 0,02 мм в размере глубины лунки от вдавливания алмазного конуса в поверхность образца. «*HRC*» читается латинскими буквами. Единицы измерения не ставятся. Например *HRC 60*, где число – количество по 0,02 мм.

Твердость минералов определяют по специальной шкале минералов (шкале Мооса), в которой из десяти минералов номер 1 (тальк) является самым мягким и на нём легко сделать царапину ногтем, а каждый последующий (2 – гипс, 3 – кальцит, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд) царапает предыдущий, а номер 10 (алмаз) является самым твердым и легко оставляет царапину на стекле.

Твердость обозначается числом от 1 до 10. Единицы измерения не ставятся.

Применяют следующие способы измерения твердости вдавливанием:

- вдавливанием стального закаленного шарика (твердость по Бринеллю – *HB*, по Роквеллу – *HRB*);
- вдавливанием алмазного конуса (твердость по Роквеллу – *HRC* и *HRA*);
- вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу – *HV*, микротвердость).

Измерение твердости по Бринеллю производится вдавливанием в материал стального закаленного шарика (из стали ШХ15 твердостью *HV* > 8500 МПа) определенного

диаметра под действием заданной нагрузки в течение определенного времени. Условия стандартного определения твердости по Бринеллю представлены в табл. 1, и на рис. 1.

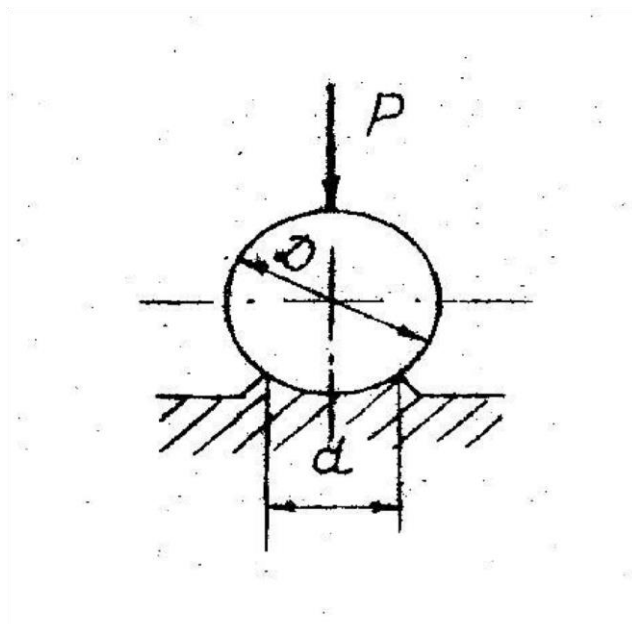


Рисунок1- Измерение твердости по методу Бринелля.

Таблица 1 - Условия стандартного определения твердости по Бринеллю

Материал	Интервал твердости, НВ	Толщина испытуемого образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка $P$ , кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные металлы	140...450	более 6 от 6 до 3 «4» 2 менее 2	10,0	3000	10
			10,0	3000	
			5,0	750	
			2,5	187,5	
То же	до 140	более 6 от 6 до 3 менее 3	10,0	1000	10
			5,0	250	
			2,5	187,5	
Цветные металлы	более 130	от 6 до 3 «4» 2 менее 2	10,0	3000	30
			5,0	750	
			2,5	187,5	
То же	35...130	от 9 до 3 «6» 3 менее 3	10,0	1000	30
			5,0	250	
			2,5	62,5	
То же	8...35	более 6 от 6 до 3 менее 3	10,0	200	60
			5,0	62,5	
			2,5	15,6	

После вдавливания на поверхности материала получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю НВ выражается отношением нагрузки  $P$ , действующей на шарик к поверхности отпечатка  $F$ .

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad \text{кгс/мм}^2$$

где  $P$  – нагрузка действующая на шарик, кг;

$D$  – диаметр шарика, мм;

$d$  – диаметр отпечатка, мм.

На практике определение твердости НВ часто производится по таблицам в зависимости от диаметра отпечатка (табл. 2).

Метод Бринелля используется для определения твердости сравнительно мягких материалов: отожженной стали, цветных металлов, неметаллических материалов. Он не применяется для готовых изделий из-за значительной величины отпечатка, а также для твердых материалов с  $HB > 4500$  МПа, например закаленных сталей. Для таких материалов определяется твердость по Роквеллу.

Величина груза и диаметр шарика выбирают по табл. 1. Подбор необходимой нагрузки производится по табл. 3.

Порядок проведения испытаний:

Для испытания твердости по Бринеллю применяется автоматический рычажный пресс (рис. 2).

Таблица 2 -Таблица ориентировочного перевода значений твердости, определяемых различными методами

Соотношение Чисел твердости по Бринеллю.по Роквеллу и по Виккерсу

Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю $D_{ш} = 10\text{мм. } P=3000\text{кгс}$		Твердость по Роквеллу		
	Диаметр отпечатка в мм	Число твердости	шкала		
			С 150 кгс	В 100кгс	А 60кгс
1	2	3	4	5	6
1224	2,20	780	72	-	84
1116	2,25	745	70	-	83
1022	2,30	712	68	-	82
941	2,35	682	66	-	81
868	2,40	653	64	-	80
804	2,45	627	62	-	79
746	2,50	601	60	-	78
694	2,55	578	58	-	78
650	2,60	555	56	-	77
606	2,65	534	54	-	76
587	2,70	514	52	-	75
551	2,75	495	50	-	74
534	2,80	477	49	-	74
502	2,85	461	48	-	73
474	2,90	444	46	-	73.
460	2,95	429	45	-	72
435	3,00	415	43	-	72
423	3,05	401	42	-	71
401	3,10	388	41	-	71
390	3,15	375	40	-	70

	1	2	3	4	5	6
380		3,20	363	39	-	70
361		3,25	352	38	-	69
344		3,30	341	36	-	68
334		3,35	331	35	-	67
320		3,40	321	33	-	67
311		3,45	311	32-	-	66
303		3,50	302	31	-	66
292		3,55	293	30	-	65
285		3,60	285	29	-	65
278		3,65	277	28	-	64
270		3,70	269	27	-	64
261		3,75	262	26	-	63
255		3,80	255	25	-	63
249		3,85	248	24	-	62
240		3,90	241	23	102	62.
235		3,95	235'	21	101	61
228		4,00	229	^20	100	61
222		4,05	223	19	99	60
217		4,10:	217	17	98	60
213		4,15	212	15	97	59
208		4,20	207	14	95	59
201		4,25	201	13	94	58
197		4,30	197	12	93	58
192		4,35	192	11	92	57
186		4,40	187	9	91	57
183		4,45	183	8	90	56
178		4,50	179	7	90	56
174		4,55	174	6	89	55
171		4,60	170	4	88	55
166		4,65	167	3	87	54
162		4,70	163	2	86	53
159		4,75	159	I	85	53
155		4,80	156	0	84	52
152		4,85	152	-	83	-
149		4,90	149	-	82	-
148		4,95	146	-	81	-
143.		5,00	143	-	80	-
140		5,05	140	-	79	-
138		5,10	137	-	78	-
134		5,15	134	-	77	-
131		5,20	131	-	76	-
129		5,25	128	-	75	-
127		5,30	126	-	74	-
123		5,35	123	-	73	-
121		5,40	121	-	72	-
118		5,45	118	-	71	-
116		5,60	116	-	70	-
115		5,55	114	-	68	-
113		5,60	111	-	67	-
110		5,65	110	-	66	-
109		5,70	109	-	65	-
108		5,75	107	-	64	-

Таблица 3 - Подбор нагрузки

№ п/п	Нагрузка кг	Наименование грузов	Создают нагрузку
1	2	3	4
1	187,5	А	А – 187,5
2	250	А+Б	Б – 62,5 В
3	500	А+Б+В	– 250
4	750	А+Б+Г	Г – 500
5	1000	А+Б+В+Г	
6	3000	А+Б+В+5Г	

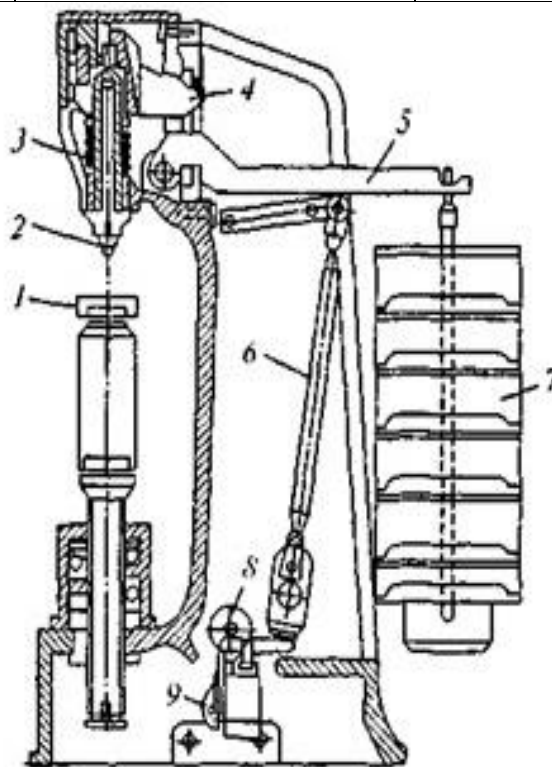


Рисунок 2 - Прибор Бринелля:

1 – столик; 2 – шарик; 3 – пружина; 4-6 – рычаги; 7 – груз; 8 – эксцентрик; 9 – звонок

#### Порядок проведения испытаний

1. На подвеску устанавливается груз, соответствующий выбранной для испытания нагрузке.

2. На столик прессы устанавливают испытуемый образец. Центр отпечатка должен отстоять от края не менее  $2D$ .

3. Вращением рукоятки по часовой стрелке поднимают столик, установив указатель против риски.

4. Нажатием кнопки включают электродвигатель, который производит автоматическое нагружение, выдержку под нагрузкой и снятие нагрузки.

5. После сигнала звонком, вращением против часовой стрелки опускают столик и снимают образец.

6. Измеряют диаметр отпечатка с помощью лупы в двух взаимно перпендикулярных направлениях, вычисляют среднее арифметическое значение.

7. Определяют твердость по формуле и по табл. 2.

Определение диаметра отпечатка:

Лупа устанавливается на образец так, чтобы ее визир был направлен к свету. Поворотом окуляра нужно добиться резкого изображения края отпечатка. Перемещая лупу совмещают край отпечатка с началом шкалы и определяют диаметр. Малое деление шкалы равно 0,1 мм.

### Измерение твердости по Роквеллу

Измерение твердости по Роквеллу производится на приборе ТК-2М (рис. 3).

Измерение твердости материалов проводится путем статического вдавливания алмазного конуса или стального закаленного шарика, диаметром 1,588 мм. Твердость определяется глубиной погружения испытательного наконечника.

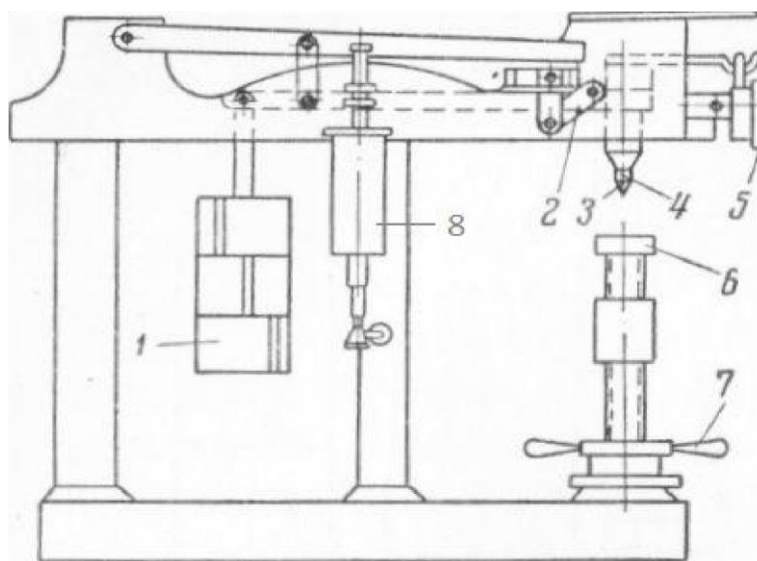


Рисунок 3 - Прибор Роквелла:

1 – грузы; 2 – рукоятка; 3 – индентор; 4 – шток; 5 – индикатор; 6 – столик; 7 – маховик; 8 – регулятор

За начало отсчета при измерении глубины принимается положение наконечника при предварительной нагрузке, равной 98 Н. Отсчет производится по глубине отпечатка после снятия основной нагрузки. Расчетная формула, определяющая твердость по схемам А и С (HRA, HRC) при применении алмазного конуса, с углом, равным  $120^{\circ}$  и радиусом при вершине 0,2 мм:

$$\text{HRC} = 110 - l,$$
$$l = \frac{h - h_0}{c}$$

где  $c$  – единица твердости, равная погружению наконечника на 0,002 мм;

$h$  – погружение наконечника после снятия основной нагрузки;

$h_0$  – погружение наконечника под предварительной нагрузкой.

Расчетная формула для определения твердости по шкале В (HRB) с шариковым наконечником имеет вид:

$$HRB = 130 - l.$$

Перед началом испытаний прибор включается в сеть напряжением 220 В, устанавливается наконечник, опорный стол и набор грузов, обеспечивающих необходимую нагрузку для измерений по шкале А – нагрузка должна быть равна 60 кг, по шкале В – 100 кг, а шкале С – 150 кг.

Испытуемый образец помещается на опорном столе 6. Подъем и опускание производится вращением гайки 7, рифленое кольцо 5 служит для установки нуля шкалы. Предварительное нагружение производится вращением рифленого кольца 5 до совмещения нулевой риски шкалы индикатора со стрелкой. Электродвигатель включается тумблером, расположенным на боковой поверхности прибора. Затем нажимается педаль 3, включающая механизм нагружения и разгружения прибора.

По окончании цикла работы прибора прочитываются показания твердости. Вращением гайка 5 опускает стол и с него снимается образец.

Примечание: в начале работы прибор ГК-2М может давать значительные погрешности, поэтому первыми 3-5 измерениями следует пренебречь.

Зная твердость металла по Бринеллю, можно узнать приблизительно предел прочности пользуясь следующими зависимостями:

Для стали:  $HV = 120 - 175 \dots \sigma_s = 0,34 HV$

$HV = 175 - 450 \dots \sigma_s = 0,35 HV$

Для меди, латуни, бронзы (поле отжига)..... $\sigma_s = 0,55 HV$

Для меди, латуни, бронзы (наклепанной)..... $\sigma_s = 0,40 HV$

Для алюминия и его сплавов (20...45 HV)..... $\sigma_s = 0,33 - 0,38 HV$

Для дюралюминия отожженного..... $\sigma_s = 0,36 HV$

Для дюралюминия, отожженного после

закалки и старения..... $\sigma_s = 0,35 HV$

Порядок выполнения работы

1. Изучить способы определения твердости.
2. Изобразить схему определения твердости по методу Бринелля.
3. Определить твердость образцов по Бринеллю, используя расчетный метод.
4. Сравнить полученные данные с табличными (табл.2).
5. Найти по табл. 2 твердость металлов по Роквеллу и Виккерсу.
6. Расчетные данные, а также твердость по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу занести в табл. 4.

Рассчитать твердость по Бринеллю, заполнить таблицы

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ кгГ/мм}^2.$$

№ отпечатков	Первое измерение	Второе измерение	Среднее значение	Число твердости
	мм	мм	мм	
Первый	1,86	1,88		
Второй	4,25	4,21		
Третий	8,66	8,65		

Данные для расчетов:

Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка для материалов, кГ		
		Сталь, чугун	Цветные металлы	Алюминий, баббит
< 3	2,5	187,5	62,5	15,6
от 3 до 6	5	750,0	250,0	62,5
> 6	10	3000	1000	250

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое твердость?
2. Единицы измерения твердости по Бринеллю
3. Сущность метода Роквелла
4. Сущность метода Бринелля

#### **Итоговое выступление преподавателя/подведение итогов:**

#### **Оформление результатов работы**

Оформить отчёт о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые ответы на поставленные вопросы с решениями, пояснениями, результатами решения.

#### **Список рекомендуемой литературы**

##### Учебники и учебные пособия:

##### Основные:

1 Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475384>

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 389 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475385>

3 Технология металлов и сплавов : учебное пособие для среднего профессионального образования / ответственный редактор А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 310 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11111-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455806>

##### **Дополнительные источники:**

1 Перинский, В. В. Материаловедение : словарь для СПО / В. В. Перинский, И. В. Перинская. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4488-0736-7, 978-5-4497-0425-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/90537>

2. Плошкин, В. В. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт,

2021. — 463 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02459-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470071>

3 Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/73753>

### Интернет-ресурсы

1 Электронные ресурс «Металлообработка». Форма доступа: металлообработка — Википедия, <https://ru.wikipedia.org>

2 Портал "Известия науки". Форма доступа: <http://www.inauka.ru>

3 Online-доступ к государственным стандартам. Форма доступа: <http://standards.narod.ru/gosts/>

### Практическая работа № 5

#### Определение основных характеристик прочности и пластичности при испытании на одноосное растяжение

Цель занятия: освоить методику определения характеристик прочности и пластичности

Задачи:

- учебная – ознакомление с методами определения основных характеристик прочности и пластичности при испытании на одноосное растяжение;
- воспитательная – воспитание аккуратности и внимательности при выполнении письменных работ;
- развивающая – получение практических навыков определения прочности и пластичности.
- сформировать компетенции ОК1, ОК 2, ПК1.1, ПК3.1

Время на выполнение работы: 2ч

Оборудование, технические средства и инструменты:

1. Журнал для практических работ;
2. Компьютер для подключения к сети Интернет;
3. Мультимедийная доска;
4. Альбом микроструктур;
5. Презентация по теме.

Ход практического занятия:

1. Ознакомиться с основными сведениями по теме работы.
2. Изучить и зарисовать схему испытаний образцов на растяжение, график кривой растяжения.
3. Заполнить таблицу результатов испытаний на растяжение (таблица 1)

Таблица 1 - Результаты испытаний на растяжение

Вариант	$R_T, Н$	$R_B, Н$	$l_0, мм$	$l_K, мм$	$d_0, мм$	$d_K, мм$

4. Выполнить расчет прочности и пластичности по вариантам. Вычислить  $\sigma_B, \sigma_T, \delta, \psi$

## 5. Оформить отчет по работе.

### Теоретический материал:

Основными механическими свойствами являются прочность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность конструкций при их минимальной массе.

Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

1. статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
2. динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
3. повторно, переменном или циклическим нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

Для получения сопоставимых результаты образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ГОСТами.

При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности.

*Прочность* – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению.

Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца  $\Delta l$  (мм) от действующей нагрузки  $P$ , т.е.  $\Delta l = f(P)$ . Но для получения данных по механическим свойствам перестраивают: зависимость относительного удлинения  $\delta$  от напряжения  $\sigma$

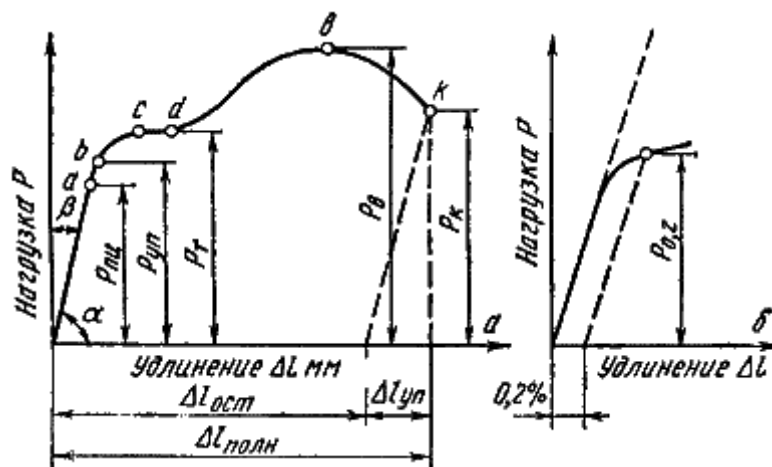


Рисунок 1 - Диаграмма растяжения: а – абсолютная, б – относительная; в – схема определения условного предела текучести

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца при увеличении нагрузки.

Участок *oa* на диаграмме соответствует упругой деформации материала, когда соблюдается закон Гука. Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке *a*, называется *пределом пропорциональности*.

Предел пропорциональности ( $\sigma_{пц}$ ) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением.

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}$$

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения).

Каждому напряжению соответствует остаточное удлинение, которое получаем проведением из соответствующей точки диаграммы растяжения линии параллельной  $oa$ .

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают *условный предел упругости*, – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005...0,05%).

В обозначении указывается значение остаточной деформации ( $\sigma_{0,05}$ ).

$$\sigma_{0,05} = \frac{F_{0,05}}{F_0}$$

*Предел текучести* характеризует сопротивление материала небольшим пластическим деформациям.

В зависимости от природы материала используют физический или условный предел текучести.

*Физический предел текучести* ( $\sigma_{\text{ж}}$ ) – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие горизонтальной площадки на диаграмме растяжения). Используется для очень пластичных материалов.

$$\sigma_{\text{ж}} = \frac{F_{\text{ж}}}{F_0}$$

Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести.

*Условный предел текучести* ( $\sigma_{0,2}$ ) – это напряжение вызывающее остаточную деформацию  $\delta = 0,2\%$

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{F_0}$$

Физический или условный предел текучести являются важными расчетными характеристиками материала. Действующие в детали напряжения должны быть ниже предела текучести.

Равномерная по всему объему пластическая деформация продолжается до значения предела прочности.

В точке  $b$  в наиболее слабом месте начинает образовываться шейка – сильное местное утомление образца.

*Предел прочности* ( $\sigma_{\epsilon}$ ) – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{F_{\epsilon}}{F_0}$$

Образование шейки характерно для пластичных материалов, которые имеют диаграмму растяжения с максимумом.

Предел прочности характеризует прочность как сопротивления значительной равномерной пластической деформации. За точкой В, вследствие развития шейки, нагрузка падает и в точке С происходит разрушение.

*Истинное сопротивление разрушению* – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца (рис. 1).

$$S_x = \frac{F_x}{F_x}$$

Истинное сопротивление разрушению значительно больше предела прочности, так как оно определяется относительно конечной площади поперечного сечения образца.

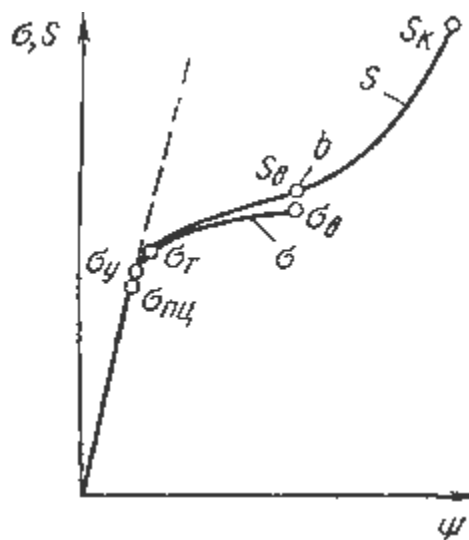


Рисунок 2 - Истинная диаграмма растяжения  
 $F_x$  - конечная площадь поперечного сечения образца.

Истинные напряжения  $S_i$  определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения в данный момент времени.

$$S_i = \frac{F_i}{F_i}$$

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности.

*Пластичность* — способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности.

Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики:

□ относительное удлинения. ( $\delta$ )

$$\delta = \frac{l_x - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100\%$$

$l_0$  и  $l_x$  — начальная и конечная длина образца.

$\Delta l_{ост}$  — абсолютное удлинение образца, определяется измерением образца после разрыва.

□ относительное сужение

$$\Psi = \frac{F_0 - F_x}{F_0} 100\%$$

$F_0$  — начальная площадь поперечного сечения

$F_x$  — площадь поперечного сечения в шейке после разрыва.

Относительное сужение более точно характеризует пластичность и служит технологической характеристикой при листовой штамповке.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.

В испытательной машине к образцу прилагают плавно возрастающее усилие, при этом записывают с помощью специального устройства машины график изменения удлинения образца ( $\Delta L$ ) от величины приложенного усилия ( $P$ ). Полученный график называется кривой растяжения.

Вычислим  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ ,  $\psi$

В результате испытания на растяжение определяют следующие показатели механических свойств:

1 Предел прочности (временное сопротивление). Его вычисляют по формуле, МПа:

$$G_B = \frac{P_B}{F_0},$$

где  $P_B$  - наибольшее усилие, которое предшествовало разрушению;

$F_0$  - первоначальная площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>

$$G_B =$$

Площадь поперечного сечения образца до разрыва определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4},$$

где  $d_0$  – начальный диаметр образца, мм

$$F_0 =$$

2 Предел текучести. Его вычисляют по формуле:

$$G_T = \frac{P_T}{F_0}, \text{ МПа},$$

где  $P_T$  - усилие в момент, когда деформация образца продолжается без увеличения нагрузки

$$G_T =$$

3 Относительное удлинение ( $\delta$ ). Его вычисляют по формуле:

$$\delta = \frac{\ell_\varepsilon - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100, \%$$

где  $\ell_0$  - исходная рабочая длина образца, мм;

$\ell_\varepsilon$  - рабочая длина после разрыва образца, мм

$$\delta =$$

4 Относительное сужение ( $\psi$ ). Его вычисляют по формуле:

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_K^2}{d_0^2} \cdot 100, \%$$

где  $F_K$  - площадь поперечного сечения в месте разрыва образца, мм<sup>2</sup>

$$\psi =$$

Таблица2 - Данные для расчета механических свойств при испытании на растяжение

Вариант	$P_T, Н$	$P_B, Н$	$l_0, мм$	$l_K, мм$	$d_0, мм$	$d_K, мм$
1	5000	6500	30	36,4	6	3,8
2	5500	7150	30	36,3	6	3,82
3	6000	7800	30	36,2	6	3,84
4	6500	8450	30	36,1	6	3,86
5	7000	9100	30	36	6	3,88
6	7500	9750	30	35,9	6	3,90
7	8000	10400	30	35,8	6	3,92
8	8500	11050	30	35,7	6	3,94
9	9000	11170	30	35,6	6	3,96
10	9500	12350	30	35,5	6	3,98
11	10000	13000	30	35,4	6	4
12	10500	13650	30	35,3	6	4,02
13	11000	14300	30	35,2	6	4,04
14	11500	14950	30	35,1	6	4,06
15	12000	15600	30	35	6	4,08
16	12500	16250	30	34,9	6	4,10
17	13000	16900	30	34,8	6	4,12
18	13500	17550	30	34,7	6	4,14
19	14000	18200	30	34,6	6	4,16
20	14500	18850	30	34,5	6	4,18

**Пример расчета:**

$P_T, Н$	$P_B, Н$	$l_0, мм$	$l_K, мм$	$d_0, мм$	$d_K, мм$
22000	28600	30	33	6	4,48

В результате испытания на растяжение определяют следующие показатели механических свойств:

- 1 Предел прочности (временное сопротивление):

$$G_B = \frac{28600}{28,26} = 1012 \frac{Н}{мм^2}$$

Площадь поперечного сечения образца до разрыва:

$$F_0 = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,26 мм^2$$

- 2 Предел текучести:

$$G_T = \frac{22000}{28,26} = 778 \frac{Н}{мм^2}$$

Физический предел текучести характеризует сопротивление металла малым пластическим деформациям.

- 3 Относительное удлинение ( $\delta$ ).

$$\delta = \frac{33-30}{30} 100 = 10 \%$$

4 Относительное сужение ( $\psi$ ).

$$\psi = \frac{6^2 - 4,48^2}{6^2} \cdot 100 = 44,3\%$$

### Контрольные вопросы

1. Что такое прочность? Какие показатели прочности вычисляют?
2. Что такое пластичность?
3. Какие показатели пластичности рассчитывают?

### Итоговое выступление преподавателя/подведение итогов:

### Оформление результатов работы

Оформить отчёт о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые ответы на поставленные вопросы с решениями, пояснениями, результатами решения.

### Список рекомендуемой литературы

#### Учебники и учебные пособия:

#### Основные:

1 Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475384>

2. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 389 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475385>

3 Технология металлов и сплавов : учебное пособие для среднего профессионального образования / ответственный редактор А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 310 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11111-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455806>

#### **Дополнительные источники:**

1 Перинский, В. В. Материаловедение : словарь для СПО / В. В. Перинский, И. В. Перинская. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4488-0736-7, 978-5-4497-0425-2. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROFобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/90537>

2 Плошкин, В. В. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Плошкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 463 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02459-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470071>

3 Кириллова, И. К. Материаловедение : учебное пособие для СПО / И. К. Кириллова, А. Я. Мельникова, В. В. Райский. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 127 с. — ISBN 978-5-4488-0145-7, 978-5-4486-0739-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROFобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/73753>

## Интернет-ресурсы

1 Электронные ресурс «Металлообработка». Форма доступа: [Металлообработка — Википедия, https://ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org)

2 Портал "Известия науки". Форма доступа: <http://www.inauka.ru>

3 Online-доступ к государственным стандартам. Форма доступа: <http://standards.narod.ru/gosts/>