

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ФИЛИАЛ ПГУПС

ОДОБРЕНО
на заседании цикловой комиссии

протокол № 12

от «15» ноября 2017г.

Председатель цикловой комиссии:

Евгений А. Смирнов

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

А.В. Калько
15.10.17 А.В. Калько

**Методические указания
по организации и выполнению лабораторных работ**

по дисциплине: **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

для специальности: 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного
состава

Разработала: Смирнова А.И., преподаватель ПФ ПГУПС

2017г.

Пояснительная записка

Методическое пособие разработано на основании федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования (ФГОС СПО), программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) и примерной программы учебной дисциплины **Материаловедение** по специальности 23.02.06 **Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог**.

Данное пособие содержит методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов очной и заочной формы обучения.

На проведение лабораторных работ при изучении курса данной дисциплины программой отведено 24 часа.

Методические указания содержат подробное описание порядка выполнения лабораторной работы студентами. В каждой лабораторной работе имеется название, цели, оборудование, исходные данные к выполнению заданий. Для более полного осмысления практической деятельности имеется краткое содержание теоретического материала, схемы, рисунки. Для закрепления знаний теоретического материала имеются контрольные вопросы, на которые студенты должны дать письменный ответ, имеются требования к содержанию отчета о лабораторной работе.

На лабораторных работах предусматривается изучение методов определения твердости металлов, ударной вязкости, микроструктуры сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов, способов термической и химико-термической обработки сталей. Выполнение лабораторных работ позволяет студентам изучить и освоить на практике основные приемы работы с приборами, установками и измерительным инструментом, самостоятельно проводить наиболее широко применяемые в технике испытания материалов, обрабатывать данные, представлять их в виде таблиц, графиков, анализировать полученные результаты и делать выводы. При этом студенты должны уметь пользоваться учебной, справочной и технической литературой.

Лабораторные работы проводятся в специально оборудованной лаборатории. Учебная группа делится на подгруппы численностью 12-15 человек. К выполнению лабораторной работы студенты приступают только после инструктажа по охране труда с соответствующим оформлением в журнале инструктажа на рабочем месте.

В качестве дополнения к методическим указаниям по выполнению лабораторных работ для студентов разработаны отчеты о лабораторных работах по дисциплине **Материаловедение** в соответствии с требованиями стандартов: ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Общие требования к текстовым документам; ГОСТ 2.104-68. ЕСКД. Основная надпись для текстовых документов и стандарта СТБ ПКЖТ 01-2002 Документы текстовые учебные. Общие требования и правила оформления.

Содержание

1. Пояснительная записка	стр. 2
2. Лабораторная работа №1.Определение твердости металлов методом Бринелля.....	стр. 4
3 Лабораторная работа №2.Определение твердости металлов методом Роквелла.....	стр. 11
4. Лабораторная работа №3 Определение ударной вязкости металлов.....	стр. 15
5. Лабораторная работа №4. Изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.....	стр. 18
6. Лабораторная работа №5 Исследование микроструктуры углеродистой стали.....	стр. 22
7. Лабораторная работа №6. Исследование микроструктуры чугунов	стр. 28
8. Лабораторная работа № 7. Исследование микроструктуры стали после термической обработки	стр. 35
9. Лабораторная работа № 8.Исследование микроструктуры стали после химико-термической обработки.....	стр. 40
10. Лабораторная работа № 9. Исследование микроструктуры легированных сталей	стр. 43
11. Лабораторная работа № 10. Исследование микроструктуры цветных металлов и их сплавов	стр. 48
12. Лабораторная работа №11. Определение допускаемых размеров сопряженных поверхностей деталей.	стр. 55
13. Лабораторная работа № 12. Определение температуры каплепадения пластичных смазок.....	стр. 63
14. Приложения	стр. 66
15. Рекомендуемая литература.....	стр. 82

Определение твердости металлов по методу Бринелля

Цель: изучить устройство и работу прессы Бринелля, научиться проводить механические испытания и оформлять их результаты, изучить влияние содержания углерода на твердость стали.

Оборудование: пресс Бринелля (твердомер типа ТШ), образцы металлов (микрошлифы), лупа с градуированной шкалой для измерения отпечатка шарика при вдавливании, переводные таблицы

Теоретическая часть работы

Твердость – это механическое свойство материалов сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела определенной формы и размера, не получающего остаточных деформаций.

Твердость стали определяют вдавливанием в металлический образец под определенной нагрузкой наконечника - индентора: стального закаленного шарика, алмазного конуса, или алмазной пирамидки. Схемы испытаний представлены на рисунке 1.

При этом происходит *пластическая деформация* материала. При пластической деформации после снятия приложенных сил (нагрузки) тело не восстанавливает прежней формы, структуры и свойств. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше его твердость.

Испытания на твердость получили большое распространение в промышленности, т.к. они позволяют без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия. По результатам испытания на твердость возможно определить предел прочности материала без проведения испытаний на растяжение. Приборы для испытания на твердость обладают высокой производительностью (до 100 испытаний в час), значительно превышающей производительность других испытательных машин.

Наибольшее распространение получили статические методы:

- а) метод Бринелля- вдавливание стального закаленного шарика;
- б) метод Роквелла- вдавливание стального шарика при испытании мягких материалов или алмазного конуса при испытании твердых;
- в) метод Виккерса – вдавливание алмазной пирамиды

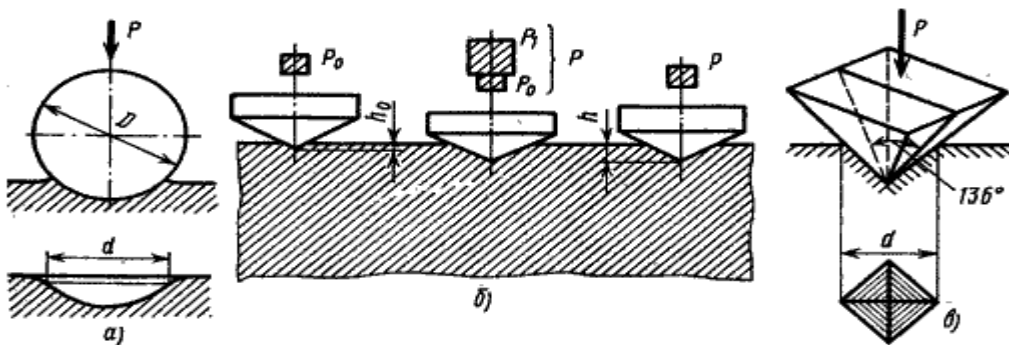


Рис. 1. Схемы определения твердости:
а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Измерение твердости методом Бринелля (НВ)

Метод основан на том, что в плоскую поверхность металла на прессе Бринелля (Рис. 1) под заданной нагрузкой P вдавливается стальной закаленный шарик в течение определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр d оставшегося на поверхности образца отпечатка (лунки) при помощи лупы с градуированной шкалой (Рис. 2)

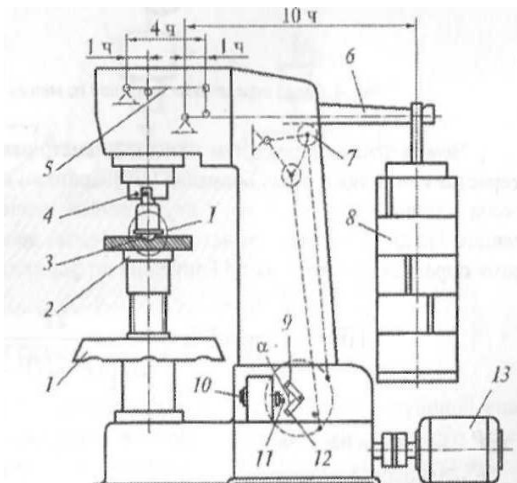


Рис.1. Схема пресса Бринелля:

- 1 - маховик;
- 2 - опора образца;
- 3 - шарик;
- 4 - метки; 5 - рычаг 1:4; 6 - рычаг 1:10;
- 7 - подвижная опора;
- 8 - грузы;
- 9, 12 - кулачки;
- 10 - кнопка пуска;
- 11 - концевой переключатель;
- 13 - электродвигатель; ч – часть

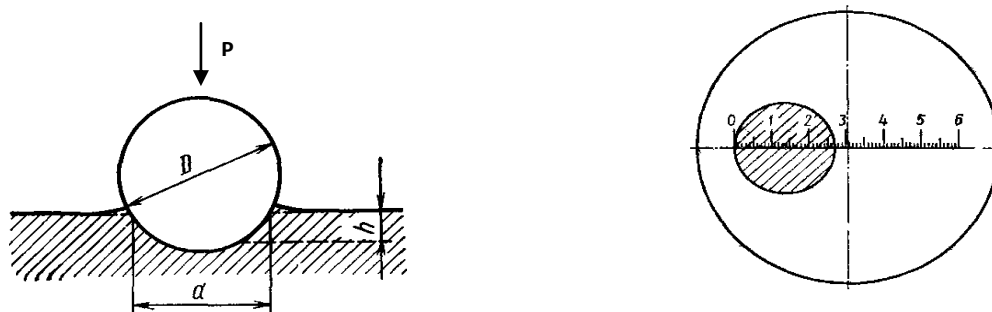
Испытываемый образец металла устанавливают на столике - 1 зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом вручную маховика-2 по часовой стрелке столик поднимают так, чтобы шарик мог вдавиться в испытываемую поверхность. В прессах с электродвигателем вращают маховик - 2 до упора и нажатием кнопки включают двигатель- 5. Последний перемещает коромысло и постепенно вдавливает шарик под действием нагрузки, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом - 3.

После 10-секундной выдержки испытываемую деталь освобождают от нагрузки. В результате на поверхности образца остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка).

Чем выше твердость, тем меньше будет диаметр отпечатка. Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра.

Схема испытания на твердость по Бринеллю дана на рисунке 2. В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка).

Рис.2. Схема испытания твердости методом Бринелля и отсчет по шкале



Число твердости по Бринеллю (*НВ*) есть отношение нагрузки *P* к площади шаровой поверхности полученного отпечатка *F*: $HB = P/F$, либо

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где *НВ* – число твердости по Бринеллю, Па (кгс/мм²)

P – нагрузка, действующая на шаровой индентор, Н (1 Н = 0,1 кгс)

F – площадь шаровой поверхности, мм²;

D — диаметр шарика, мм;

d – диаметр лунки, мм

Диаметр шарика *D* зависит от марки исследуемого материала и его предполагаемой твердости и может выбираться из ряда: 10; 5 и 2,5 мм.

Нагрузка *P* может составлять 30 000 Н, 10 000 Н или 7 500 Н (3 000 кгс, 1 000 кгс и 750 кгс соответственно) в зависимости от материала.

Время выдержки под нагрузкой составляет 10 с для черных металлов и 30, 60 с – для цветных.

Диаметр лунки измеряют с помощью лупы, цена деления которой равна 0,1 мм. Измерение проводится с точностью до 0,05 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях и за окончательный результат берут среднее арифметическое значение двух измерений.

На практике расчеты по приведенным формулам не выполняют. Твердость по Бринеллю определяют из таблиц, прилагаемых к прибору (ГОСТ 9012-59), по среднему диаметру отпечатка в зависимости от принятой нагрузки и диаметра шарика (см. приложение к работе)

Диаметр шарика и нагрузку берут в зависимости от материала и толщины испытуемого образца (таблица 1).

Таблица 1. Значения диаметра шарика и нагрузки в зависимости от металла и толщины испытываемого образца

Материал	Пределы измерения в единицах твердости по Бринеллю	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между <i>P</i> и диаметром шарика <i>D</i>	Диаметр шарика <i>D</i> , мм	Нагрузка <i>P</i> , кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные металлы (стали и чугуны)	140—450	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
	Менее 140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные металлы (медь, латунь, бронза)	Более 130	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
	35—130	От 9 до 3 От 6 до 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	30

Мягкие цветные (алюминий, баббит)	8—35	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=2,5D^2$	10,0 5,0 2,5	250 62,5 15,6	60
--------------------------------------	------	---------------------------------	------------	--------------------	---------------------	----

Методом Бринелля испытывают материалы с твердостью от 8 до 450 НВ (4 500 МПа) Испытывают твердость незакаленных поковок, отливок и деталей, изготавливаемых из стального проката.

При большей твердости образца шарик – индентор может деформироваться, что приведет к неправильному результату.

Преимуществом испытания на твердость по Бринеллю является то, что между значением твердости НВ и значением предела прочности σ_b материала существует эмпирически найденная зависимость. С помощью перерасчета можно оценить предел прочности материала (таблица 2)

Таблица 2. Соотношение предела прочности на растяжение и твердости некоторых конструкционных материалов

Материал	σ_b - предел прочности на растяжение
Чугуны	0,15 НВ
Литейные алюминиевые сплавы	0,25 НВ
Деформируемые алюминиевые сплавы	0,38 НВ
Титановые сплавы	0,30 НВ
Стали высокопрочные	0,33 НВ
Стали малоуглеродистые	0,33 НВ
Медь, латунь, бронза	0,45 НВ
Магний и его сплавы	0,43 НВ

К недостаткам метода Бринелля следует отнести:

- 1) невозможность испытания материалов, имеющих твердость более 450 НВ;
- 2) невозможность испытания твердости тонких пластинок (менее 1-2 мм), т.к. шарик может продавить тонкий слой металла;
- 3) после испытания остаются заметные следы на поверхности изделия.

Для получения достоверных результатов шероховатость поверхности должна быть не ниже Ra 2,5 мкм (микронетров). Это значит, что поверхность металла должна быть тщательно очищена от посторонних примесей и отполирована.

Порядок выполнения работы

1. Изучить схему устройства пресса Бринелля, обозначить его составные части
2. Изучить условия определения твердости металлов и требования к поверхности испытуемого образца (табл.1 Методических указаний)
3. Измерить толщину образца, подобрать диаметр шарика D , величину нагрузки P , время выдержки под нагрузкой (данные из табл.2 Методических указаний)

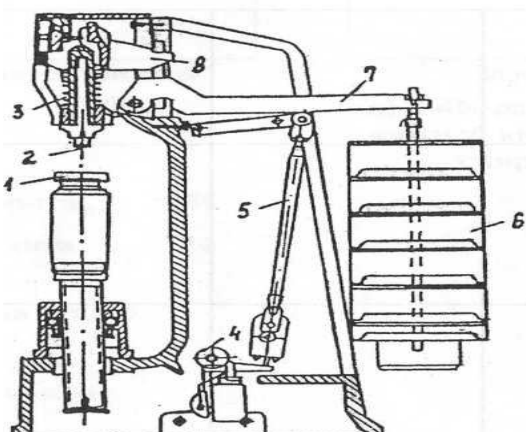
4. Произвести испытание образцов, измерить диаметры отпечатков микроскопом или лупой. Твердость определить по таблицам приложения к работе. Результаты занести в таблицу 6 отчета.
5. Подсчитать предел прочности на растяжение σ_B (используя Методические указания табл. 2)
6. Проанализировать полученные результаты твердости образцов и сделать вывод о влиянии содержания углерода на механические свойства стали.
7. Ответить на контрольные вопросы

Содержание отчета

1. Заполненные таблицы.
2. Сравнить полученные результаты твердости у разных марок стали и сделать вывод о влиянии содержания углерода на механические свойства стали (твердость и прочность)
3. Письменные ответы на контрольные вопросы.

Ход работы

1. Схема устройства и описание работы прессы Бринелля (внести обозначения)

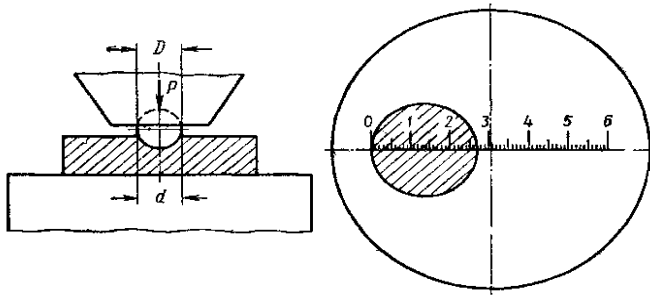


2. Условия определения твердости металлов

Интервал твердости НВ	Минимальная толщина образца, мм	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , кгс	Время выдержки под нагрузкой, с
140-450	6 - 3	10	3000	10
35-130	4 - 2	5	750	30
8-35	9 - 3	10	1000	60
	6 - 3	5	250	
	> 6	10	250	60
	5 - 3	5	62,5	

3. Указать требования к шероховатости поверхности испытуемого образца

4. Схема испытания твёрдости методом Бринелля (внести обозначения)



Испытание на твёрдость одного и того же образца производится дважды. При повторном испытании центр отпечатка должен размещаться от предыдущего отпечатка на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

5. Дать характеристику исследуемых сталей (см. приложение Г)

Марка стали	Химический состав	Применение
Ст 3 ГОСТ 380-2005	C=0,14-0,22% Mn=0,3-0,6% Si< 0,06% S<0,05% P<0,04%	
ОС ГОСТ 4728-96	C=0,38-0,47% Mn=0,5-0,8% Si=0,15-0,35% S<0,05% P<0,04%	
У8 ГОСТ 1435-99	C=0,75-0,84% Mn=0,17-0,28% Si=0,17-0,33% S<0,028% P<0,030%	

6. Результаты испытания на твердость по методу Бринелля (см. Приложение 1.1 к работе 1)

Марка Стали	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, кгс	Диаметр отпечатка (лунки), мм			Измеренные значения твердости по Бринеллю НВ, кгс/мм ²	Предел прочности на растяжение σ_B , кгс/мм ²
			Измерение d ₁	Измерение d ₂	Среднее значение d _{ср}		
Ст 3							
ОС							
У8							

7. Сделать вывод о влиянии содержания углерода на механические свойства стали.

8. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы:

1. Дать определение такому свойству стали, как твердость
2. Какие методы определения твердости металлов вам известны?
3. Какие инденторы применяются при измерении твердости по Бринеллю?
4. Как обозначается твердость по Бринеллю?
5. Как содержание углерода влияет на твердость стали?
6. Существует ли зависимость между значением твердости НВ материала и его пределом прочности? Как ее определить?
7. В чем преимущества и недостатки определения твердости по методу Бринелля?

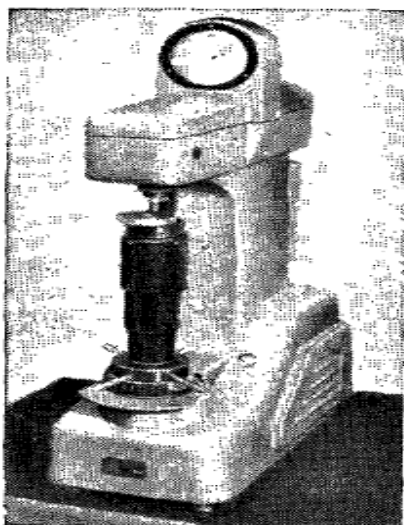
Лабораторная работа №2 Определение твердости металлов по методу Роквелла

Цель: изучить устройство и работу твердомера ТК-2; научиться проводить механические испытания и оформлять их результаты

Оборудование: прибор типа ТК-2 (твердомер Роквелла), образцы металлов (микрошлифы), переводные таблицы

Теоретическая часть работы.

Определение твердости методом Роквелла является наиболее универсальным и менее трудоемким. Твердость по Роквеллу (*HRC, HRA, HRB*) – условная величина, обратная глубине вдавливания алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм.



Прибор ТК-2 (общий вид)

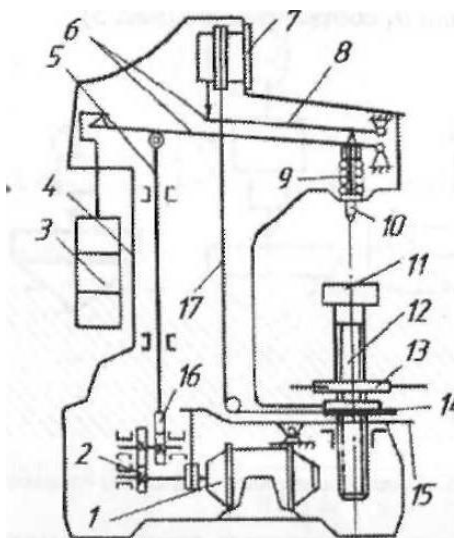


Рис. 4. Схема пресса Роквелла:

1 - электродвигатель; 2 - червячный редуктор; 3 - грузы; 4 - корпус; 5 - шток; 6 - грузовой рычаг; 7 – индикатор со шкалами 8 - рычаг; 9 - пружина; 10 - индентор; 11 - подъёмный столик; 12,13 - пара винт-маховик; 14 - механизм подъёмного столика; 15 - кнопка «Пуск»; 16 - кулачковый блок; 17 - трос управления индикатором

Принципиальное отличие измерения твердости по методу Роквелла состоит в том, что её измеряют не по диаметру, а по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании наконечника с инденторами в испытуемый образец (изделие) под действием последовательно прилагаемой сначала предварительной P_0 и затем основной P_1 нагрузок на глубину h_0 и h_1 соответственно.

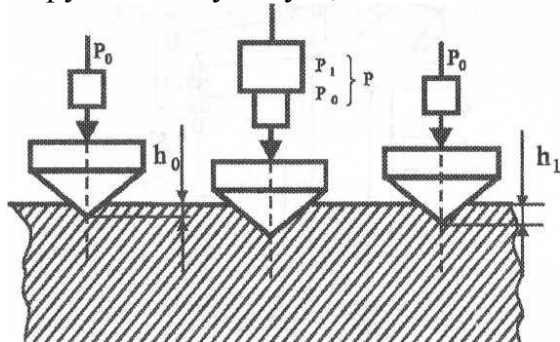


Рис. 5. Схема определения твёрдости по Роквеллу

Предварительная нагрузка $P_0 = 100 \text{ Н}$ (10кгс) прикладывается для того, чтобы обеспечить плотное соприкосновение индентора с испытуемым материалом, поверхность которого имеет неровности, окисную пленку и другие включения, нарушающие точность измерений. Под предварительной нагрузкой P_0 индентор погружается на глубину h_0 . Затем подается полная нагрузка P , равная сумме предварительной и основной нагрузок: $P = P_0 + P_1$. Глубина вдавливания индентора при этом увеличивается до h_1 . Полная нагрузка равна 600 Н, 1000 Н или 1500Н. Она выбирается в зависимости от индентора и твердости испытуемого образца.

После снятия основной нагрузки P_1 , когда на индентор вновь действует только предварительная нагрузка P_0 , глубина вдавливания h_1 определяет твердость по Роквеллу - HR .

Чем больше глубина вдавливания h_1 , тем меньше значение твердости HR и наоборот.

Твердость по Роквеллу обозначается цифрами и буквами HR с указанием шкалы твердости (А, В, С). Нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого металла (табл.1).

Таблица 1. Выбор нагрузки и наконечника для испытаний

Обозначение шкалы, её цвет	Вид наконечника	Нагрузка, H (кгс)	Обозначение твердости по Роквеллу	Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу	Испытуемые образцы
В-красная	Стальной шарик $d=1,59\text{мм}$	1000 (100кгс)	HRB	25—100	Мягкие металлы (незакаленная сталь, латунь, бронза, алюминиевые сплавы), твердость которых находится в пределах 25-100 единиц и изделия толщиной от 0,8 до 2 мм.
С – черная	Алмазный конус	1500 (150кгс)	HRC	20—67	Закаленные стали с твердостью до 67 ед. HRC
А-черная	Алмазный конус	600 (60кгс)	HRA	70—85	Сверхтвердые сплавы и тонкий листовой материал

Методика определения чисел твердости по методу Роквелла

Значение твердости на приборе типа ТК можно измерить и определить прямо по шкале (черная или красная шкалы) при помощи следующих инденторов:

1) Алмазным конусом с общей нагрузкой 1 500 Н (150 кгс).

В этом случае значение твердости определяют по черной шкале C и обозначают HRC . Эта шкала применяется для испытания закаленных сталей, обладающих твердостью до 67 HRC и для определения твердости тонких поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм.

2) Алмазным конусом с общей нагрузкой 600 Н (60 кгс).

В этом случае значение твердости определяют по черной шкале C , но обозначают HRA . Числа HRA можно перевести на числа HRC по формуле:

$HRC = 2HRA - 104$. Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов и тонкого листового материала и для определения твердости тонких поверхностных слоев толщиной 0,3-0,5 мм или тонких пластинок

3) Стальным шариком с общей нагрузкой 1000 Н (100 кгс).

В этом случае значение твердости определяют по красной шкале **B** и обозначают **HRB**; шкала В служит для испытания мягких металлов (незакаленная сталь, латунь, бронза, алюминиевые сплавы), твердость которых находится в пределах 25-100 единиц, и для испытания изделий толщиной от 0,8 до 2 мм.

Для обеспечения достоверности получаемых результатов поверхность изделия, должна быть сухой, чистой, без трещин, выбоин, наклепа и следов предыдущих испытаний, кроме того, шероховатость должна быть не ниже Ra1,25 мкм. Изделие не должно качаться, прогибаться, пружинить. При измерении изделий с цилиндрической поверхностью радиус кривизны должен быть не меньше 15 мм.

Определение твердости на приборе типа Роквелла имеет широкое применение, так как этот прибор дает возможность испытывать мягкие, твердые, а также тонкие материалы. Отпечатки от конуса или шарика очень малы, и поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи; испытание легко выполнимо и занимает мало времени (несколько секунд); не требуется никаких измерений, и число твердости читается прямо на шкале. Значения твердости по Роквеллу могут быть переведены в значения твердости по Бринеллю (см. приложение Б)

Порядок выполнения работы

- Изучить и обозначить: а) схему устройства прибора Роквелла
б) методику испытания твердости материалов методом Роквелла
- Начертить схему вдавливания конуса в испытуемый образец, сделать обозначения.
- Усвоить методику определения чисел твердости по методу Роквелла.
- Измерить твердость методом Роквелла в трех точках на каждом из трех образцов и полученные данные занести в таблицу 1.
- Перевести числа твердости по Роквеллу в числа твердости по Бринеллю (см. приложение Б)
- Результаты испытания на твердость по методу Роквелла внести в таблицу (см. Приложение к работе 2)

Результаты испытания на твердость по методу Роквелла (данные см. Приложение к работе 2)

Металл	Содержание углерода в % (приложение Г)	Индекс	Нагрузка, Н	Твердость по Роквеллу, HRC			Средняя твердость по Роквеллу, HRC	Средняя твердость по Бринеллю (приложение Б)	Предел прочности на растяжение $\sigma_{в.}$, кгс/мм ²
				Измерение 1 HRC ₁	Измерение 2 HRC ₂	Измерение 3 HRC ₃			
Ст 35									

Ст 40									
Ст 45									

7. Проанализировать полученные данные твердости и сделать вывод о влиянии содержания углерода на твердость стали у разных марок стали.

8. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Какие инденторы и при каких нагрузках применяются при испытании твердости по методу Роквелла?
2. Как обозначается твердость по Роквеллу?
3. Твердость каких металлов и сплавов определяются твердомером Роквелла-ТК-2:
 по шкале А-----
 по шкале Б-----
 по шкале С-----
4. Назовите принципиальное отличие определения твердости по методу Роквелла и методу Бринелля
5. Назовите преимущества использования метода Роквелла при измерении твердости металла.

Лабораторная работа № 3

Определение ударной вязкости металлов

Цель: изучить устройство и работу маятникового копра; приобрести навыки определения ударной вязкости металлов.

Рекомендуется провести испытание образцов из разных материалов и сравнить их ударную вязкость.

Оборудование: маятниковый копер, стандартные образцы материалов.
Обучающая программа КОЛУМБУС (работа 7)

Теоретическая часть работы

Ударная вязкость является механической характеристикой вязкости материала. Она равна работе, расходуемой для разрушения стандартного образца, отнесенной к площади поперечного сечения образца в месте надреза:

Согласно ГОСТ 9454-60 ударная вязкость равна:

$$KCU = A_n / F \quad \text{где } KCU \text{ — ударная вязкость, Дж/м}^2,$$

где A – работа, затрачиваемая на излом;

F – площадь поперечного сечения в плоскости надреза.

Маятник копра поднимается на высоту H и фиксируется. В самой низкой точке траектории движения устанавливается образец материала надрезом в сторону движения. Отпущенный маятник ломает образец и взлетает на высоту h , меньшую, чем H .

Таким образом,

$$A = P (H-h),$$

где P – вес маятника, который через заданную массу выражается следующим образом:

$$P = m g, \quad g = 9.8 \text{ м/с}^2.$$

Для испытания на ударную вязкость применяют призматические образцы с надрезами различных типов. Наиболее распространенными типами являются образцы с U-образными и V-образными надрезами (рис. 3.1).

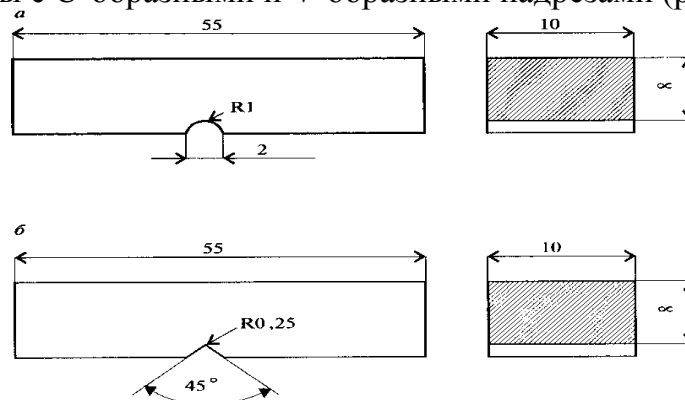


Рис. 3.1. Образцы для испытаний на ударную вязкость:

Испытание образцов на ударную вязкость производят на маятниковых копрах

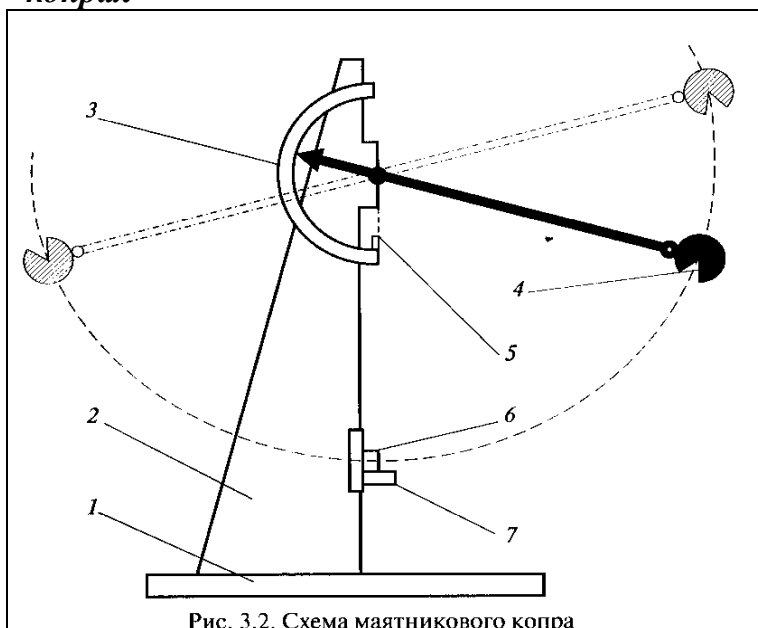


Рис. 3.2. Схема маятникового копра

Маятниковый копер (рис. 3.2) состоит из чугунной станины — 7; двух чугунных стоек 2, укрепленных жестко на станине; маятника 4 с зубчатым диском, смонтированного в стойках на шариковых подшипниках; двух опор 7, укрепленных в нижней части стоек и служащих для установки испытуемого образца; 6 — стопорного механизма для удержания маятника в приподнятом состоянии; шкалы 3 и стрелки 5, связанной с маятником, служащих для измерения угла α — угла первоначального подъема маятника и угла β — угла отклонения маятника.

Порядок выполнения работы

1. Выберите материал согласно заданию преподавателя. Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	Материал	$H_{\text{макс}}$	$h_{\text{мин}}$	ΔH	A , Дж	КСУ, Дж/м ²
1						
2						
3						
4						
5						

2. Используя раздел «I» панели инструментов выбираем материал образца, размеры поперечного сечения.

3. Нажатием и удержанием стрелки «вверх» поднимите маятник на высоту H . Это положение фиксируется. На циферблате черная стрелка показывает отсчет, который записывается в таблице 1 в графе $H_{\text{макс}}$. Обратите внимание: цена деления шкалы – 3.

4. Установите образец, нажатием клавиши со схемой образца красного цвета.

5. Нажмите кнопку «СТРЕЛКА ВНИЗ» на панели инструментов. Освобождается маятник. Образец разрушается. В таблицу занесите $h_{\text{мин}}$, на которую указывает красная стрелка.
6. Последовательно меняя материал образца, выполнить п.п. 2 – 5.
7. Рассчитайте ударную вязкость для различных материалов. При этом следует иметь в виду, что для экономии места на шкале энергии показывается число десятков делений, что и учтено в таблице обработки данных.
8. Постройте графики зависимости угловой скорости от углов подъёма и отклонения.
9. Сделать вывод: как влияет ударная вязкость на условия эксплуатации материала и его склонность к хрупкому разрушению.
10. Ответить письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте понятие ударной вязкости.
2. Назовите единицы измерения ударной вязкости.
3. Как устроен маятниковый копер?
4. Что такое H , h , α , β ?
5. Почему h всегда меньше H ?
6. В чем состоит методика проведения испытания на ударную *вяз* кость?
7. Каким видом энергии обладает маятник в верхней точке, и нижней точке, в любой точке траектории движения?
8. За счет чего происходит разрушение образца?

Содержание отчета

1. Схема испытания на ударную вязкость с указанием значений обозначенных параметров (см. рис. 3.3).
2. Выполненные расчеты.
3. Выводы о влиянии ударной вязкости на условия эксплуатации материала.
4. Письменные ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа №4

Изучение диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.

Цель работы: изучить диаграмму состояния сплавов системы железо-углерод, положение критических точек, основы фазовых и структурных превращений в сплавах с различным содержанием углерода при медленном нагревании и охлаждении.

Оборудование: диаграмма железоуглеродистых сплавов, справочные таблицы, приложения В и Г, карандаши, линейка.

Теоретическая часть работы

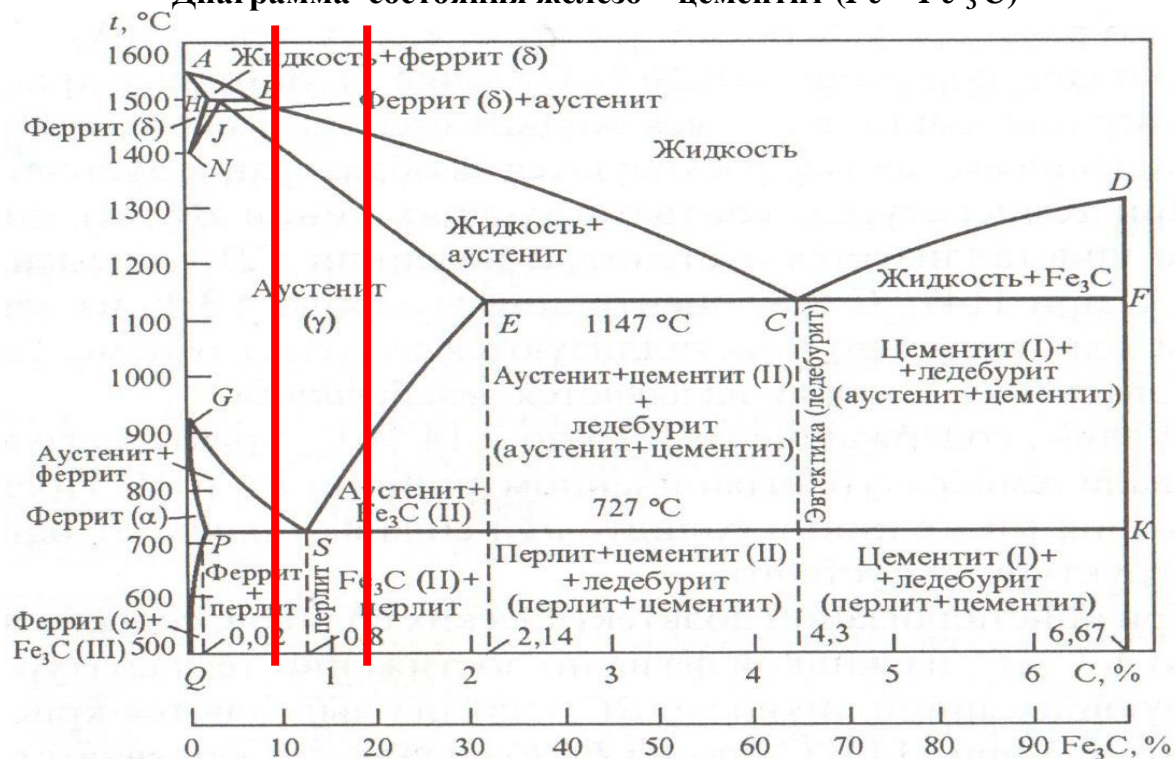
Диаграммы состояния сплавов представляют графическое изображение состояния сплава. Они позволяют определить температуры плавления сплавов, их структуру, а также судить о свойствах сплава при различных видах термического воздействия, выбирать режимы термообработки для получения заданных механических свойств сплавов.

Диаграмма – это совокупность линий, соединяющих критические точки сплава в равновесном состоянии. Положение общепринятых точек на диаграмме состояния приведено в таблице 1.

Углерод с железом образует устойчивое химическое соединение, называемое цементит - Fe_3C , поэтому диаграмма может обозначаться $Fe - Fe_3C$.

На рисунке приведен упрощенный вид диаграммы $Fe - Fe_3C$. Она показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67% углерода).

Диаграмма состояния железо – цементит ($Fe - Fe_3C$)



Наибольшее количество углерода по диаграмме (6,67%) соответствует содержанию углерода в химическом соединении цементите, поэтому компонентами, составляющими

сплавы этой системы, будут *чистое железо Fe* и *цементит Fe₃C*. Однако, практическое применение нашли сплавы железа с углеродом (стали и чугуны), содержащие до 5% углерода. Остальные являются весьма хрупкими и тугоплавкими. Поэтому диаграммой железо-углерод охвачены не все сплавы от 0 до 100% углерода, а только небольшой участок концентрации углерода от 0 до 6,67%, т.е/ до ближайшего химического соединения *Fe₃C*.

Таблица 1. Положение основных точек на диаграмме *Fe – Fe₃C*

Характерные точки	<i>A</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>B</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Температура, °С	1539	1499	1499	1499	1392	1252	1147
Концентрация углерода, %	0	0,1	0,16	0,51	0	6,67	2,14
Характерные точки	<i>C</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>K</i>	<i>Q</i>
Температура, °С	1147	1147	911	727	727	727	20
Концентрация углерода, %	4,3	6,67	0	0,025	0,8	6,67	0,006

Диаграмма состояния железо – цементит (метастабильное равновесие)

Точка *A* (1539 °С) на диаграмме соответствует температуре плавления чистого железа.

Точка *D* (1252 °С) - соответствует температуре плавления цементита *Fe₃C*.

Точка *G* (910 °С) соответствует полиморфному превращению α- железа (альфа-железо) в γ-железо (гамма – железо)

Точка *N* (1392 °С) соответствует полиморфному превращению γ-железо (гамма – железо) в δ-железо (дельта – железо)

Точка *E* характеризует предельную растворимость углерода (2,14%) в γ-железе.

Сплавы, лежащие левее точки E, представляют собой стали, а сплавы, лежащие правее точки E – чугуны.

Линия *ABCD* – *линия ликвидус* соответствует началу первичной кристаллизации всех сплавов системы. *Первичная кристаллизация – это переход металла (сплава) из жидкого состояния в твердое.*

Линия *AECF* – *линия солидус* - указывает на конец первичной кристаллизации сплавов.

Выше линии *AC* сплавы системы находятся в жидком состоянии (Ж). По линии *AC* при охлаждении из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы твердого раствора углерода в γ-железе, называемого *аустенитом* (*A*). Следовательно, в области *ACE* будет находиться смесь двух фаз – жидкого раствора (Ж) и аустенита (*A*). По линии *CD* из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы цементита (*Ц*). Следовательно, в области *CDF* будет находиться смесь двух фаз – жидкого раствора (Ж) и цементита (*Ц*).

В точке *C* при массовом содержании углерода 4,3 % и температуре 1147°С происходит одновременно кристаллизация аустенита и цементита, образуется механическая смесь *эвтектика*, называемая *ледебуритом* (*Л*). Ледеburит присутствует во всех сплавах с массовым содержанием C от 2,14 до 6,67 %. *Эти сплавы относятся к группе чугунов.*

Сплавы, содержащие C от 0,16 до 2,14% кристаллизуются в интервале температур, ограниченном линиями *BC* и *JE*. После затвердевания (ниже линии солидус) сплавы получают однофазную структуру – аустенит. В области диаграммы *AGSE* находится аустенит (*A*). При охлаждении сплава аустенит по линии *GS* распадается с выделением *феррита* (*Ф*) – твердого раствора углерода в α- железе, а по линии *SE* аустенит

распадается с выделением цементита вторичного (Ц 11). Этот цементит, выпадающий из твердого аустенита, называется вторичным (Ц 11), в отличие от первичного цементита (Ц 1), выпадающего из жидкого раствора. Следовательно, линии **GS** и **SE** соответствуют вторичной кристаллизации сплавов, т.е. кристаллизации из твердых растворов. Ниже линии **GS** из аустенита выделяется феррит. **Критические точки, образующие линию GS в условиях равновесия, принято обозначать Ar_3 при охлаждении и Ac_3 при нагреве. Критические точки, образующие линию SE, обозначают Ac_{cm} .**

В области диаграммы **GSP** находится смесь двух фаз – феррита (Ф) и распадающегося аустенита (А). В точке **S** при массовом содержании С 0,8 % и при температуре 727 °С весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется *механическая смесь феррита и цементита, называемая эвтектоид (т.е. подобный эвтектике), который в этой системе называется перлитом (П). Таким образом, перлит содержит 0,8 % углерода, образуется при 727 °С и представляет собой структуру, состоящую из двух фаз – феррита и цементита. Температуру фазового равновесия (727 °С, линия PSK), при которой происходит превращение аустенита в перлит обозначают Ar_1 (при охлаждении) и превращение перлита в аустенит Ac_1 (при нагреве).*

При охлаждении сплавов по линии PSK происходит распад аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перлита, поэтому линия PSK линией перлитного (эвтектоидного) превращения. Фазовый состав всех сплавов при температуре ниже 727 °С является одинаковым: они состоят из феррита и цементита.

*Сплавы железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода называют **сталью**; сплав, содержащий углерода от 2,14 до 6,67 % называют **чугуном**. Принятое разграничение между сталью и чугуном совпадает с предельной растворимостью углерода в аустените.*

Стали после затвердевания не содержат малопластичной структуры – ледебурита и при высоком нагреве имеют структуру чистого аустенита, обладающего высокой пластичностью. Поэтому стали легко деформируются, т.е. являются ковкими сплавами.

Чугуны обладают лучшими литейными свойствами, но являются хрупкими сплавами и не поддаются ковке из-за повышенного содержания в них углерода, который содержится в структуре чугунов в виде легкоплавкой и хрупкой механической смеси эвтектики – ледебурита или графита.

Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы повторите следующие понятия: типы кристаллических решеток железа, полиморфизм и явления аллотропии, процессы кристаллизации, основы теории сплавов, виды железоуглеродистых сплавов.

2. Изучите теоретическую часть работы, принципы построения диаграммы состояния железо – цементит.

3. Начертите на бумаге в клетку или на миллиметровой бумаге систему координат диаграммы. Обозначьте по горизонтали процент содержания углерода в масштабе 1 % = 4 клетки (2см). Обозначьте по вертикали температуру в масштабе 100 °С = 2 клетки (1см).

4. Составьте таблицу параметров точек диаграммы состояния железо – цементит (смотри таблицу 1)

5. Согласно составленной таблице, нанесите координаты точек на диаграмму и обозначьте их, затем соедините их линиями.

6. В образовавшиеся зоны впишите названия структурных составляющих. Структурные составляющие вписывать без сокращения.

7. *Выполнить задание.* Согласно своему варианту, студент получает два задания: одно по сталям, другое по чугунам. Исходные данные по заданиям приведены в приложении **B**.

Для этого:

Запишите условие задания согласно Вашего варианта в таблицу 1 (см. приложение В). Проведите (желательно цветным карандашом) вертикальную линию на диаграмме, соответствующую превращениям сплава с заданным Вам % содержания углерода (по варианту). Обозначьте точки пересечения этой линии с линиями диаграммы. Определите, при каких температурах происходят фазовые превращения в сплавах, происходящие при нагреве и охлаждении рассматриваемых сплавов и опишите их.

Определите по данным ГОСТов марку заданной стали, укажите области ее применения.

Указать химический состав стали и ее применение.

Таблица 1.

Номер варианта	Сталь			Название стали	Чугун белый, содержание углерода, %	Название чугуна
	Марка	ГОСТ	Среднее содержание углерода, %			

8. Сделать вывод: Для чего предназначена диаграмма железоуглеродистых сплавов

9. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение структурным составляющим: аустенит, феррит, перлит, цементит, ледебурит.

2. Сколько % углерода содержат феррит, перлит, цементит, ледебурит?

3. В каких железоуглеродистых сплавах присутствует перлит?

4. Чем отличается эвтектическое превращение от эвтектоидного?

5. Укажите температуру превращения перлита в аустенит. Каким образом оно происходит?

6. Когда и каким образом ледебурит I (первичный) превращается в ледебурит II (вторичный)?

7. Чем вторичная кристаллизация сплавов отличается от первичной кристаллизации?

8. Какие сплавы называют сталями? Укажите % содержание в сталях углерода.

9. Какие сплавы называют чугунами? Укажите % содержание в чугунах углерода.

10. Назовите и приведите обозначение критических точек, образующих следующие линии диаграммы:

- линия **GS** (температура _____ °C)

- линия **SE** (температура _____ °C)

- линия **PSK** (температура _____ °C)

Исследование микроструктуры углеродистой стали

Цели: изучить метод анализа микроструктуры металлических материалов и приобрести практические навыки исследования микроструктур; ознакомиться и исследовать микроструктуры углеродистой стали.

Оборудование: металлографический микроскоп, набор образцов углеродистых сталей различных марок

Теоретическая часть работы

Исследование внутреннего строения металлов и сплавов с помощью оптического или электронного микроскопа называется микроанализом. Внутреннее строение, изучаемое при помощи микроскопа (величина и форма зерен, структурные составляющие, вид и распределение неметаллических включений и т.д.), называется микроструктурой. Металлографические микроскопы обеспечивают увеличение до 1500-2000 раз.

Микроскопический анализ составляют следующие этапы: приготовление шлифов, травление шлифов, исследование шлифов с использованием микроскопа.

1. Приготовление микрошлифов.

Микрошлифом называют небольшой образец металла, имеющий поверхность, подготовленную для микроанализа. Этот металлический образец вырезают из детали, подлежащей исследованию. Затем механической обработкой добиваются получения плоской поверхности, которую подвергают шлифованию шлифшкурками с различными номерами зернистости. Шлифование **производится** только в одном направлении. При переходе на шкурку другого номера (т. е. более мелкозернистую) обработку производят в направлении, перпендикулярном к рискам, оставшимся после шлифования на предыдущей шкурке, до полного их исчезновения (т. е. шлиф нужно поворачивать на 90°). После шлифования микрошлифы обязательно промывают предварительно в мыльном водном растворе и окончательно в чистой теплой либо прогонной холодной воде. Полирование осуществляют на полировальном круге, обтянутом тонким сукном, фетром, бархатом или другим материалом. В качестве абразивных частичек применяются суспензии различных окислов металлов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 и др.), алмазные пасты и суспензии. Полирование считается законченным, если со шлифа удалены все риски и он имеет зеркальную поверхность. Готовый полированный шлиф последовательно тщательно промывают водой, спиртом и сушат при помощи фильтровальной бумаги. Для получения достоверных результатов шероховатость поверхности должна быть не ниже Ra 0,25 мкм

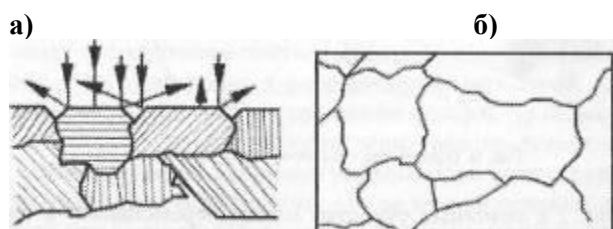
2. Травление шлифов.

Хорошо отполированный микрошлиф под микроскопом имеет светлую блестящую поверхность. В виде темных участков на нем могут наблюдаться только неметаллические включения (графит, сульфиды, окислы ит. д.) Для выявления микроструктуры шлиф травят. В зависимости от химического состава шлифа, способа обработки, а также целей исследования или водные растворы кислот или щелочей, а также смеси различных кислот.

При травлении микрошлиф погружают в реактив на определенное время (от 1 до 40 с и более в зависимости от исследуемого материала), немедленно промывают его водой и окончательно спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и

просматривают под микроскопом. Если структура выявлена слабо, шлиф травят дополнительно. Если структура слишком затемнена, его необходимо переполлировать и травить с меньшей выдержкой.

После травления чистого металла или однофазного сплава можно определить форму и размер зерна вследствие неодинакового травления пограничных участков и остальной части. Световые лучи, направленные на микрошлиф, отразятся от зерен под различными углами, на участке стыков зерен возникает значительное рассеяние и отраженные лучи не попадают в поле зрения (рис. 8, а). Поэтому по границам зерен возникнут темные линии, которые и воспроизведут картину действительных стыков между зёрнами (рис. 8, б)



Фазы, имеющиеся в сплавах, хорошо выявляются под микроскопом за счет различной травимости.

Рис. 8. Выявление микроструктуры сплава:
а - схема падения световых лучей; б - границы зёрен

3. Исследование микрошлифов под микроскопом.

Основным оборудованием лаборатории являются микроскопы, которые для изучения металлов впервые применил русский металлург П. П. Аносов в 1831 году. *Металлографический микроскоп ЕС МЕТАМ РВ-21* предназначен для изучения структуры металлов и сплавов. Его основные узлы и агрегаты представлены на рис. 9. Микроскоп состоит из штатива 1, внутри которого смонтированы механизмы грубого перемещения тубуса 6 и микрометрической фокусировки. Рукоятки грубой и микрометрической фокусировки располагаются с правой стороны микроскопа (не видны на рисунке) и находятся на одной оси. В верхней части штатива расположена направляющая типа «ласточкин хвост» для установки предметного столика 2.

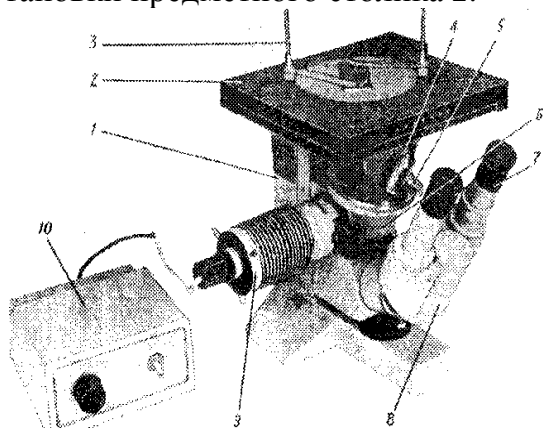


Рис. 9. Общий вид микроскопа ЕС МЕТАМ РВ-21

Столик 2 с помощью рукояток может перемещаться в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Исследуемый материал закрепляется на предметном столике пружинными клеммами 3. Тубус 6 устанавливается на направляющие штатива 1 и закрепляется винтом. В верхней

части тубуса расположено гнездо для установки револьвера 5 с объективами 4. На револьвере установлено четыре объектива с различным фокусным расстоянием (25; 16; 6,3; 4,0 мм). Переключать объективы можно только вращением револьвера 5 за накатку. Также на тубусе закрепляется бинокулярная насадка 8. В бинокулярную насадку устанавливаются окуляры 7. В комплект микроскопа входят компенсационные окуляры с увеличением $\times 6,3$; $\times 10$; $\times 12,5$; $\times 16$ и $\times 20$. Увеличение микроскопа определяется как произведение увеличений объектива и окуляра.

В микроскопе реализована оптическая схема, позволяющая изучать объект в отраженном свете, характерная для металлографических микроскопов. Луч от источника света 9, отражаясь от поверхности микрошлифа, через объектив 4 попадает на окуляр 7. Питание лампы источника света осуществляется от источника питания 10.

При микроисследовании чистых металлов, например железа, меди, никеля, прежде всего выявляются размеры отдельных зерен, их форма и характер границ между ними. При травлении шлифов происходит растворение металла. Однако на поверхности зерна оно протекает с меньшей скоростью, чем на границах. Поэтому границы зерен после травления обозначаются тонкими темными линиями - из-за потери отраженного света в углублениях между зернами. Одновременно с выявлением границ наступает стадия селективного окрашивания зерен, что связано с различной ориентировкой их атомно-кристаллических плоскостей относительно полированной поверхности.

После просмотра ряда шлифов технически чистых металлов необходимо сделать вывод, в котором должно быть отражено сходство или различие среди просмотренных шлифов по размерам зерен, их форме и характеру границ между ними.

4. Микроструктура технического железа и углеродистых сталей в равновесном состоянии

Микроструктура технического железа и углеродистых сталей для равновесных условий характеризуется нижней левой частью диаграммы состояния железо—цементит.

Сплавы с содержанием до 0,02% С называются техническим железом, от 0,02 до 0,8% углерода — доэвтектоидными сталями и от 0,8 до 2,14 % С — заэвтектоидными. Сплав с содержанием 0,8% С называется эвтектоидной сталью.

Микроструктура технического железа.

Растворимость углерода в α -железе переменная. С понижением температуры растворимость углерода в α -железе понижается. При 727°C в α -железе растворяется 0,02% С, а при комнатной температуре 0,006% С. В связи с этим сплавы железа с содержанием до 0,006% С имеют структуру только твердого раствора углерода в α -железе, т. е. феррита.

В сплавах с содержанием от 0,006 до 0,02% С в связи с понижением растворимости углерода в α -железе при понижении температуры из феррита выделяется цементит, называемый третичным. Третичный цементит выделяется по границам зерен феррита.

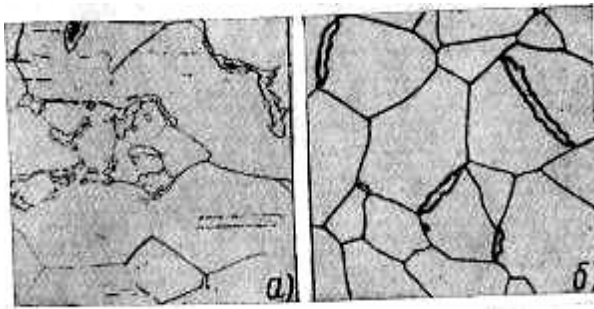


Рис.11. Сталь с 0,015% углерода:
 феррит + цементит (третичный):
 а-микроструктура (x500); б) – схема микроструктуры
Микроструктура доэвтектоидной стали

Микроструктура доэвтектоидной стали (до 0,8% С) состоит из феррита и перлита.

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит — в виде полей полосчатого строения (рис. 13).

Количество перлита и феррита в доэвтектоидной стали зависит от содержания углерода

С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а количество перлита увеличивается.



Рис. 13. Доэвтектоидная сталь с 0,3 % углерода – феррит + перлит:
 а - микроструктура (x500) б - схема микроструктуры

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую ферритом и перлитом.

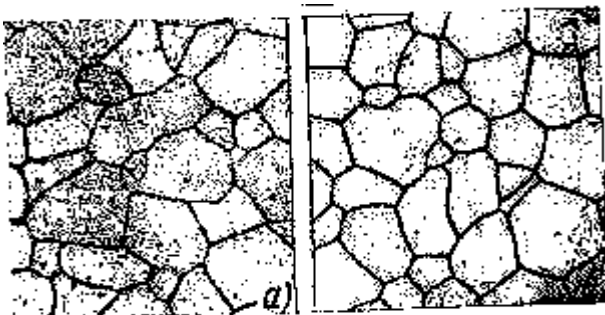


Рис 10. Техническое железо—феррит:
 а-микроструктура(x500);б-схема микроструктуры

Микроструктура эвтектоидной стали

Микроструктура эвтектоидной стали (0,8% С) состоит из одного перлита.

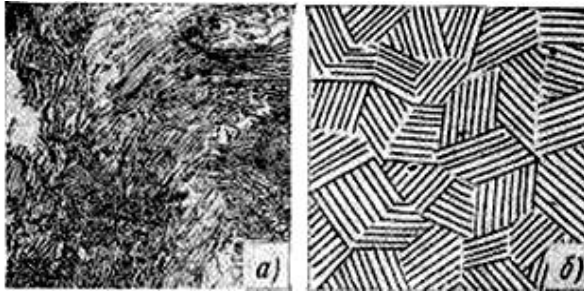


Рис.12. Эвтектоидная сталь с 0,8 % углерода – перлит.
а) микроструктура (X500) б) схема микроструктуры

Перлит — это эвтектоид — механическая смесь феррита и цементита, получающаяся в результате распада аустенита с 0,8% С.

На микроструктуре перлита общий светлый фон — феррит, выступающие пластины — цементит, темные места — тени. В зависимости от скорости охлаждения пластины цементита в перлите могут быть длиннее, короче, толще или тоньше.

Микроструктура заэвтектоидной стали

Сталь с содержанием углерода от 0,8 до 2,14% называется заэвтектоидной и имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита. Вторичный цементит выделяется из аустенита при охлаждении. При медленном охлаждении

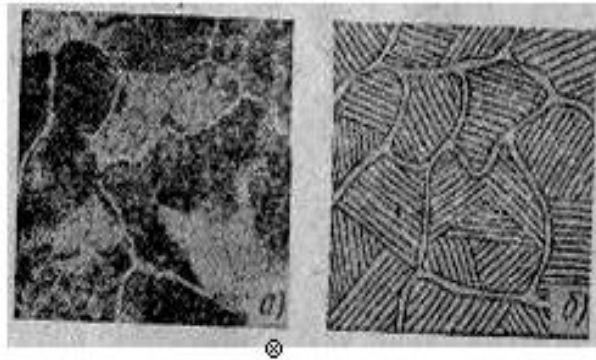


Рис. 14. Заэвтектоидная сталь с 1,2% углерода - перлит+цементит (в виде сетки):
а - микроструктура (x500); б - схема микроструктуры

цементит выделяется в виде сетки по границам зерен аустенита. При достижении температуры A_{r1} аустенит превращается в перлит. В результате медленного охлаждения заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита. Сетка – это вторичный цементит, а внутри сетки зерна пластинчатого строения – перлит.

Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более массивной (толстой) получается цементитная сетка.

5. Определение марки стали.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую ферритом и перлитом.

В связи с тем, что в феррите растворено очень небольшое количество углерода, практически можно считать, что в доэвтектоидной стали весь углерод находится в перлите. Тогда содержание углерода в стали можно определить по формуле: $C = S_n \cdot 0,8/100 (\%)$, где S_n — площадь, занимаемая перлитом, %

Предположим, например, что 30% всей площади занято ферритом, 70% - перлитом. Содержание углерода в такой стали будет $C = 70 \cdot 0,8/100 = 0,56 \%$.

Тогда 50 - марка стали.

Выводы:

1. Изменение химического состава приводит к изменению структуры стали и ее свойств. С увеличением содержания углерода изменяется микроструктура стали:

- Сталь, содержащая углерода меньше 0.8%, состоит из феррита и перлита (доэвтектоидная сталь)

- При содержании углерода, равном 0.8%, сталь состоит только из перлита (эвтектоидная сталь)

- При увеличении содержания углерода более 0.8% в стали кроме перлита появляется вторичный цементит (заэвтектоидная сталь). Цементит является хрупкой фазой в стали.

2. Увеличение содержания углерода приводит к повышению твердости и понижению пластичности и прочности стали при растяжении (влияние цементита) Для сохранения прочностных свойств стремятся получить не пластинчатый, а зернистый цементит после термической обработки.

Порядок выполнения работы

1. Изучить и описать устройство металлографического микроскопа серии ЕС МЕТАМ РВ-21

2. Указать основные требования к поверхности металла при микроисследовании.

3. Описать процесс приготовления микрошлифа и его травления

4. Нарисовать схему падения и отражения световых лучей от поверхности микрошлифа

5. Начертить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов Fe – Fe₃C - область стали. Указать области доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали

6. Изучить и нарисовать микроструктуру технического железа, доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали

7. Указать содержание феррита и перлита. Назвать марку стали (приложение Г)

8. Для микрошлифа стали определить примерное содержание углерода и по содержанию углерода определить марку стали и механические свойства.

9. Сделать вывод по работе: Как изменение химического состава стали влияет на ее структуру и механические свойства?

Контрольные вопросы

1. Какая сталь называется доэвтектоидной? Какова ее структура?

2. Какая сталь называется эвтектоидной? Какова ее структура?

3. Какая сталь называется заэвтектоидной? Какова ее структура?

4. Дать определение понятий: феррит, перлит, цементит, аустенит

5. Как изменение химического состава влияет на структуру и свойства стали?

6. Расшифруйте марки стали (приложение 5)

Исследование микроструктуры чугунов

Цели: изучить микроструктуру чугунов и выявить зависимость между структурой и механическими свойствами чугунов; приобрести навыки работы на металлографическом микроскопе.

Оборудование: металлографический микроскоп, набор микрошлифов чугунов

Теоретическая часть работы

Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода более 2,14 %, называются чугунами. Чугуны представляют собой тройные системы Fe-C-Si, со сравнительно небольшими температурами плавления (около 1200 - 1350 °С). Большое содержание кремния, а также медленная скорость охлаждения при кристаллизации способствуют выделению углерода в свободном виде - в виде графита. Этот процесс называется *графитизация*. Структура чугуна и его основные свойства зависят как от химического состава, так и от технологического процесса производства и режима термической обработки.

В зависимости от того, в каком состоянии находится углерод, чугуны подразделяют на две группы:

1) Чугуны, в которых *весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита или других карбидов.*

2) Чугуны, в которых *весь углерод или часть его находится в свободном состоянии в виде графита.*

К первой группе относится белый чугун. Ко второй — серый, высокопрочный и ковкий чугуны.

Белый чугун (ГОСТ 805-95)

Такое название сплав получил по виду излома, который имеет матово-белый цвет. В белых чугунах весь углерод находится в виде цементита (свободного или в составе ледебурита), поэтому они характеризуются высокой твердостью и хрупкостью, почти не поддаются механической обработке режущим инструментом. Белые чугуны не применяются для изготовления деталей машин и механизмов, их основная масса идет на переделку в сталь и только часть используется в виде отливок с последующей переделкой в ковкий чугун.

На практике используют три группы белых чугунов:

1) доэвтектические с содержанием 2,5-3,5% углерода, которые применяются для передела в сталь и ковкий чугун (поэтому их ещё называют переделными), также из него производят износостойкие (HB ≈ 4000...4500 МПа, δ = 0%) детали (шары для шаровых мельниц, катки и т. д.) и посуду: сковородки, котлы и т. д.;

2) эвтектический, с содержанием 4,3 % углерода, который вынужденно используется для производства стали, если не хватает доэвтектического; для других целей он практически неприменим, так как очень тверд (HB = 5500 МПа) и хрупок (δ = 0%);

3) заэвтектические, с содержанием углерода более 4,3 % (5-6% углерода), которые нашли применение для изготовления стационарных защит от радиации. Механические свойства этих чугунов (HB ≈ 6000...6500 МПа, δ = 0%) не позволяют использовать их для нагруженных деталей.

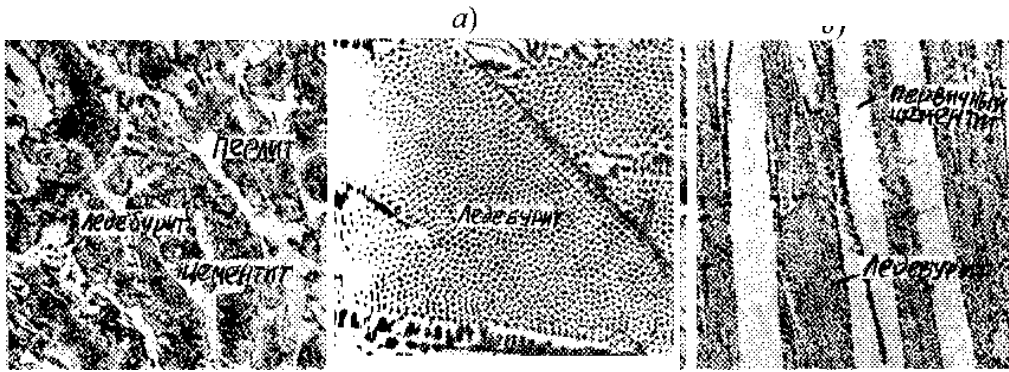


Рис. 22. Структуры белых чугунов:

а – доэвтектического (ледебурит + перлит + цементит вторичный); б – эвтектического (ледебурит); в – заэвтектического (ледебурит + первичный цементит)

Все чугуны в своей структуре содержат эвтектику — *ледебурит*, которая представляет собой механическую смесь двух составляющих: *перлита* и *цементита*.

Структура доэвтектических белых чугунов: ледебурит + перлит + цементит II (вторичный). Свободный перлит представлен в виде больших темных пятен, цементит — в виде крупных светлых участков, ледебурит на фоне светлого цементита имеет темные включения перлита.

Эвтектический белый чугун имеет структуру — ледебурит. Перлит в структуре виден в виде темных пятен; цементит — в виде светлого фона.

Структура заэвтектического белого чугуна состоит из первичного цементита и ледебурита. На микрошлифе крупные светлые полосы представляют собой первичный цементит, а участки с темными вкраплениями — ледебурит.

Серый чугун (ГОСТ 1412-85)

Такое название получил по виду излома, который имеет серый цвет. В серых чугунах весь углерод или большая его часть находится в свободном состоянии в виде графита..

В структуре серого чугуна графит имеет вид пластинчатой или вермикулярной формы (рис. 23). Графитовые включения можно рассматривать как внутренние надрезы, нарушающие целостность металлической основы, и поэтому серые чугуны обладают высокой хрупкостью. Полезное влияние графита состоит в том, что он придает чугуну хорошие литейные свойства (высокую жидкотекучесть и малую

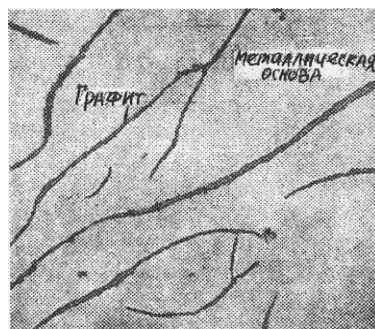


Рис. 23. Серый нетравленный чугун с графитом пластинчатой формы

усадку), хорошую обрабатываемость резанием и повышенные антифрикционные свойства, выполняя роль смазки при трении.

Такие свойства серых чугунов, как твердость и предел прочности при сжатии, зависят от структуры металлической основы. А такие свойства, как пластичность, предел прочности на разрыв, изгиб, кручение зависят от количества, формы и размеров графитных частиц.

По структуре металлической основы серые чугуны делятся на следующие группы:

- 1) Ферритные
- 2) Феррито-перлитные;
- 3) Перлитные



24. Структуры серого чугуна: а - ферритного; б - феррито-перлитного; в - перлитного

Основа ферритных серых чугунов состоит из феррита, а содержание связанного углерода практически равно нулю. Такой чугун обладает пониженными механическими свойствами, но легко обрабатывается резанием.

Металлическая основа феррито-перлитных серых чугунов состоит из феррита и перлита, а количество связанного углерода меньше эвтектоидной концентрации. Этот чугун обладает меньшей механической прочностью, но лучше обрабатывается резанием.

Металлическая основа перлитных чугунов состоит из перлита, а количество связанного углерода равно эвтектоидной концентрации. Такой чугун в отливке обладает наивысшей прочностью и достаточно хорошо обрабатывается резанием.

Таким образом, чем больше в металлической основе чугуна перлита, тем больше его твердость, прочность и износостойкость, но меньше пластичность.

Модифицированный серый чугун. Для измельчения графитовых включений и повышения механических свойств серого чугуна его модифицируют – вводят в расплавленный чугун кремний и кальций.

Кремний и кальций взаимодействуют с кислородом, растворенным в чугуне, и дают мельчайшие твердые частицы SiO_2 и CaO , которые служат центрами принудительной кристаллизации графита. Благодаря огромному их количеству графит получается более мелкочешуйчатый, что положительно сказывается на увеличении прочности чугуна (рис. 25)

Применяют модифицированный чугун для ответственного литья деталей топок и двигателей внутреннего сгорания, например, изготавливают компрессионные и маслоъемные кольца дизелей.

Серый чугун маркируется буквами СЧ (серый чугун) и двумя цифрами, которые показывают минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение. Например, у чугуна СЧ25 $\sigma_B \approx 245 \text{ МПа}$ (25 кгс/мм^2).



Рис. 25. Нетравленный модифицированный серый чугун

На железнодорожном транспорте для изготовления различных деталей подвижного состава широко применяют серые чугуны марок СЧ15, СЧ18, СЧ21, СЧ24, СЧ25. Серые чугуны применяют для изготовления деталей цилиндровой группы тепловозных дизелей.

Ковкий чугун (ГОСТ 1215-79)

Ковкий чугун отличается от серого формой графита: в серых чугунах графит в виде тонких чешуек, а в ковких - в виде хлопьев, которые меньше подрезают металлическую основу (рис. 26). Поэтому прочность ковкого чугуна в 2,5-3 раза больше, чем у серого, а его пластичность может достигать 12% .

Применяется ковкий чугун на железнодорожном транспорте как дешёвый заменитель стали: из него изготавливают муфты, головки соединительных рукавов воздушной тормозной магистрали, крышки букс локомотивов и вагонов, чугуны марок КЧ37-12, КЧ35-10 используются для изготовления деталей, эксплуатирующихся при высоких динамических и статических нагрузках.

Из чугунов марок КЧ50-5, КЧ55-4 изготавливают детали, обладающие высокой

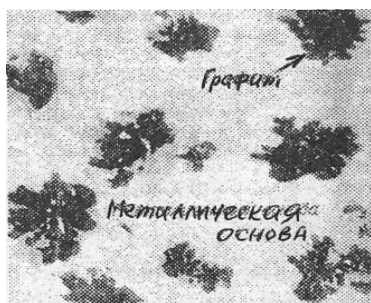


Рис. 26. Нетравленный ковкий чугун с графитом хлопьевидной формы

прочностью, умеренной пластичностью и хорошими антифрикционными свойствами.

Ковкий чугун маркируется следующим образом: КЧ означает ковкий чугун, затем ставят число, показывающее предел прочности, кгс/мм², и число, показывающее относительное удлинение, %. Например: КЧ 30-6; КЧ37-12.

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293-85)

Отличительной особенностью этих чугунов является шаровидная форма графита, которая была впервые получена в 1949 г. модифицированием магнием, который вводится в жидкий чугун перед его разливкой в количестве около 0,5 % от веса чугуна.

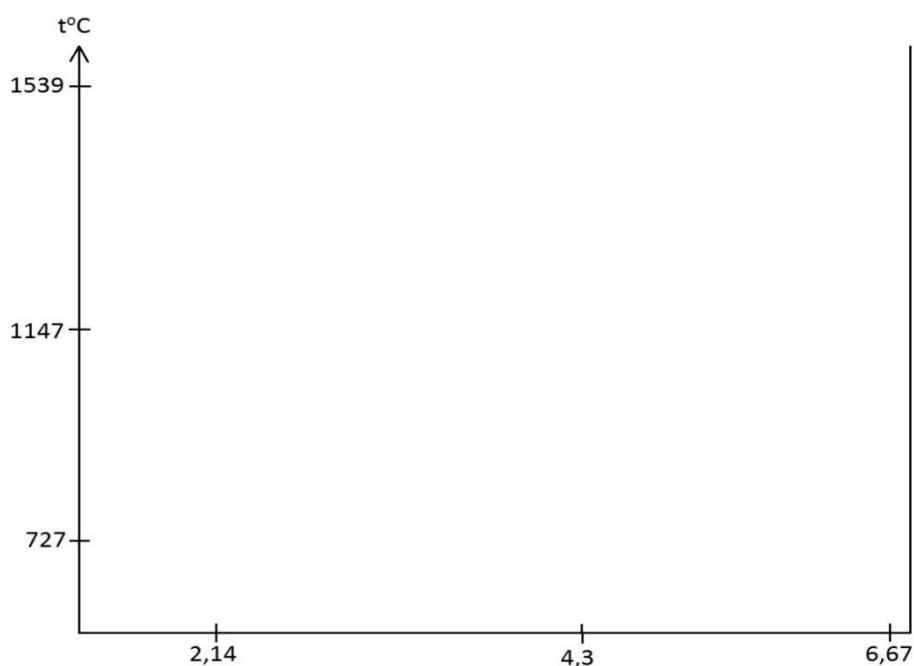
При этом графит выпадает в виде частиц округлой шаровидной формы, от чего повышается пластичность и прочность чугуна.

Шаровидные графитные включения почти не нарушают сплошность металлической основы, не создают в ней надрезов и концентраторов внутренних напряжений. Такой чугун применяют для изготовления ответственных деталей.

Высокая прочность и пластичность высокопрочных чугунов позволяют использовать их для изготовления коленчатых валов тепловозных дизелей и других деталей, работающих в узлах трения при повышенных нагрузках.

Порядок выполнения работы

1. Заполнить диаграмму состояния сплавов Fe-Fe₃C (область чугунов)



2. Нарисовать микроструктуры **белых чугунов**. Указать их свойства и области применения



Доэвтектических
C < %



Эвтектических
C = %



Заэвтектических
C > %

Свойства: HB >
δ =

HB <
δ =

HB =
δ =

Назовите области применения белых чугунов:

3. Нарисовать микроструктуру серого, ковкого и высокопрочного чугунов

Микроструктура серого чугуна



а) нетравленных
Свойства:



б) ферритных
 $HB=$

$\sigma_B=$

$\delta=$



в) феррито-перлитных
 $HB=$

$\sigma_B=$

$\delta=$

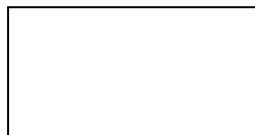


г) перлитных
 $HB=$

$\delta=$

Назовите области применения серых чугунов:

Ковкий чугун



а) нетравленный

Свойства:



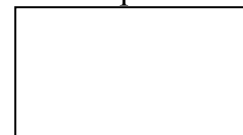
б) ферритный

$HB=$

$\sigma_B=$

$\delta=$

Высокопрочный чугун



перлитный

$HB=$

$\sigma_B=$

$\delta=$

4. Назовите области применения чугунов каждого вида чугунов:

5. Сделать вывод о влиянии структуры металлической основы и формы графитовых включений на механические свойства чугуна.

6. Расшифровать марки чугунов (приложение к работе 6).

7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность процесса графитизации чугунов

2. Как графит влияет на свойства чугунов? Назовите его положительное и отрицательное влияние.

3. Назовите форму графитовых включений, характерную для серого, ковкого и высокопрочного чугунов?

4. Чем отличается чугун от стали по технологическим свойствам?

5. Почему белый чугун называется «белым» и передельным чугуном?

6. Какие структурные составляющие характерны для белых чугунов:

- доэвтектических - _____

- эвтектических- _____

- заэвтектических- _____

7. Какая структурная составляющая характерна для всех белых чугунов?
8. В чем сущность процесса модифицирования чугунов?
9. Можно ли ковать ковкий чугун?
10. Почему ковкий чугун назван ковким?
11. На какие группы чугуны делятся по структуре металлической основы?

Лабораторная работа № 7

Исследование микроструктуры стали после термической обработки

Цели: изучить зависимость между видом и режимом термической обработки и структурой стали; приобрести навыки анализа микроструктуры стали.

Оборудование и раздаточный материал: металлографический микроскоп, комплект микрошлифов.

Теоретическая часть работы

Все превращения в сплавах, происходящие по диаграмме состояния железо-углерод, протекают при медленном охлаждении; они успевают полностью завершиться при температурах, указанных на диаграмме, вследствие чего получаются *равновесные структуры: феррит, аустенит, перлит, цементит.*

На практике большое значение имеет получение *метастабильных неустойчивых структур стали, обладающих большей прочностью и твердостью, но пониженной пластичностью.* На предприятиях железнодорожного транспорта для этой цели наиболее часто применяют *закалку*, а для регулирования свойств – *отпуск*.

Изменяя режимы нагрева и охлаждения стали, можно в широком диапазоне изменять ее фазовое строение, не меняя при этом химический состав.

Закалкой называется вид термической обработки, который предполагает нагрев стали до оптимальной температуры, выдержку и последующее охлаждение с определенной скоростью с целью получения неравновесной метастабильной структуры.

Структура закаленной стали зависит от ее химического состава и режима закалки: температуры нагрева и скорости охлаждения.

Скорость охлаждения при термической обработке сталей имеет большое значение, так как при быстром непрерывном охлаждении, аустенит распадается с образованием следующих структур: сорбита, троостита и мартенсита. Их называют метастабильные или неравновесные структуры.

В зависимости от скорости охлаждения могут наблюдаться процессы диффузионного распада аустенита или его бездиффузионного превращения.

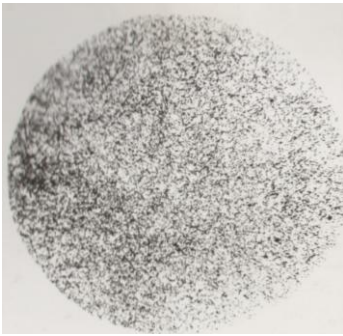
При медленном охлаждении со скоростью до $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустенит превращается в грубую феррито-цементитную смесь — перлит, твердость перлита составляет 180—250 НВ.

Диффузионный характер превращения аустенита.

Аустенит при быстром непрерывном охлаждении распадается с образованием следующих структур: сорбита, троостита и мартенсита.

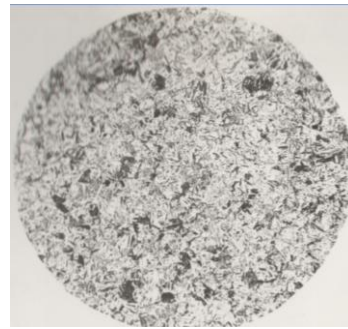
Сорбит образуется при распаде аустенита при скорости охлаждения до 50°C в 1 сек. Твердость сорбита НВ 250-300. Структура сорбита встречается в конструкционных сталях *после закалки с охлаждением в масле и после закалки и высокого отпуска.*

Троостит- структура, которая образуется при распаде аустенита при скорости охлаждения до $80 - 100^{\circ}\text{C}$ в 1 сек. Твердость троостита НВ 350-450. Структуру троостита могут иметь конструкционные стали, закаленные и охлажденные в масле и закаленные и отпущенные при температуре $350-450^{\circ}\text{C}$ (средний отпуск)



СОРБИТ

Скорость охлаждения 50°С/с



ТРООСТИТ с мартенситом

Скорость охлаждения 80 -100°С/с

Бездиффузионный характер превращения аустенита.

При скоростях охлаждения 150—180°С/с диффузионный распад аустенита становится невозможным, аустенит превращается в мартенсит - продукт бездиффузионного распада аустенита, т.е.распада с очень быстрой скоростью охлаждения

Мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе, характеризующийся игольчатым строением, большой хрупкостью и высокой твердостью НВ 500—650



МАРТЕНСИТ

Скорость охлаждения 150 - 180°С/с

Структура стали, получающаяся после закалки, зависит от скорости охлаждения и температуры нагрева. При полной закалке в доэвтектоидной стали образуется мартенсит, который при рассмотрении под микроскопом имеет игольчатое строение, причем иглы имеют небольшие размеры. Мартенсит закалки заэвтектоидной стали также имеет иглы небольших размеров, трудно различимые под микроскопом при малых и средних увеличениях. Перлит, сорбит и троостит, образующиеся при диффузионном распаде переохлажденного аустенита, являются феррито-цементитными структурами, имеющими пластинчатое строение и различающимися лишь степенью дисперсности. Сорбит и троостит, в отличие от перлита не являются равновесными структурами.

Отпуском называют процесс термической обработки, при котором осуществляется нагрев закаленной стали ниже критической точки A_{c1} , выдержка при этой температуре и последующее охлаждение. Происходящие при этом структурные изменения зависят от режима отпуска.

Различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск — нагрев закаленной стали осуществляется до температуры 150—300 °С. При таких температурах в структуре стали остается мартенсит, но с измененной решеткой — мартенсит отпуска.

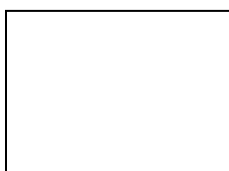
Средний отпуск — нагрев закаленной стали осуществляется в пределах 300—500 °С. Структура стали, отпущенной до этих температур, состоит в основном из троостита отпуска.

Высокий отпуск — нагрев закаленной стали осуществляется в интервале температур 500—700 °С. Структура стали после отпуска — сорбит отпуска.

Порядок выполнения работы

1. Начертить диаграмму Fe – Fe₃C (область стали) с интервалом температур нагрева под закалку и отжиг. Указать вертикальными линиями стали марок 50 и У12А. Обозначить температура нагрева стали марок 50 (t_n^0) и У12А ($T_{нагр.}$)
2. Исследовать под микроскопом и описать микроструктуры образцов доэвтектоидной стали марки 50 и заэвтектоидной стали марки У12А, подвергнутых различным видам и режимам термообработки.
3. Нарисовать микроструктуры доэвтектоидной стали марки 50:

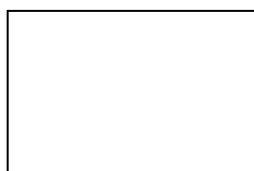
а) после отжига



НВ стали =

δ стали =

б) после полной закалки:



1. Температура нагрева нормальная (t_n)

$t_n^0 =$

НВ =

$\delta =$



2. Температура нагрева выше нормальной (t_1)

$t_1 >$

НВ =

$\delta =$

в) после неполной закалки

$Ac1 < t_2 < Ac3$



НВ феррита =

НВ мартенсита =

г) после полной закалки и отпуска:

1. $t_n^0 = 300^0$

средний отпуск



НВ =

$\delta \sim$

2. $t_n^0 = 500^0$

высокий отпуск

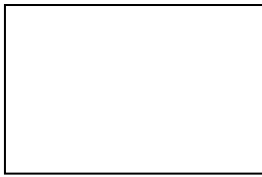


НВ =

$\delta \sim$

4. Исследовать и зарисовать микроструктуры заэвтектоидной стали марки У12А

а) после отжига
закалки
на зернистый цементит



НВ =

$\delta \sim$

б) после неполной закалки

$T_{\text{нагрева}} =$



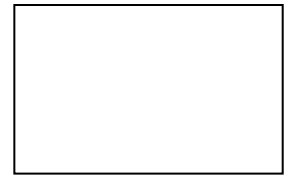
$T_{\text{нагр}} = A_{c1} + (30-50^\circ \text{C})$

НВ ~

$\delta \sim$

в) после полной

$T_1 =$



$T_1 > A_{cm}$

НВ <

$\delta \sim$

г) закалки в масло

$A_{c1} < T_2 < A_c$



НВ ~

$\delta \sim$

д) неполной закалки и отпуска:

1. $t_{\text{H}}^{\circ} = 300^{\circ}$

средний отпуск



НВ ~

$\delta \sim$

2. $t_{\text{H}}^{\circ} = 500^{\circ}$

высокий отпуск



НВ ~

$\delta \sim$

5. Сделать выводы, как влияет термообработка на структуру и свойства стали

6. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назовите равновесные структуры, образующиеся при медленном охлаждении
2. Назовите метастабильные структуры сплавов, образующиеся при быстром непрерывном охлаждении аустенита (диффузионный характер распада)
3. Назовите метастабильные структуры сплавов, образующиеся при быстром непрерывном охлаждении аустенита (бездиффузионный характер распада)
4. Охарактеризуйте структуры закалки ТРООСТИТ, СОРБИТ
5. Охарактеризуйте структуру закалки: МАРТЕНСИТ
6. Опишите структуры, образующиеся в результате отпуска стали

низкий отпуск _____

средний отпуск _____

высокий отпуск _____

7. Назовите цели закалки и отпуска стали

Лабораторная работа № 8

Исследование микроструктуры стали после химико-термической обработки.

Цели: изучить влияние химико-термической обработки на структуру и механические свойства стали.

Оборудование и расходный материал: металлографический микроскоп, набор микрошлифов.

Теоретическая часть работы

Химико-термической обработкой называют процесс, представляющий собой сочетание термического и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали.

При химико-термической обработке протекают следующие процессы: распад молекул во внешней среде и образование атомов диффундирующего элемента (диссоциация); поглощение атомов поверхностью стали (адсорбция); проникновение атомов вглубь стали (диффузия).

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки стали являются: цементация, азотирование, цианирование.

Цементацией называется процесс науглероживания поверхности слоя детали путем нагрева без доступа воздуха при температуре выше критической точки $A_{с3}$ в среде углерода или газов, содержащих углерод.

Цель цементации – получение высокой твердости поверхностного слоя при сохранении мягкой и вязкой середины, а также повышение износостойкости и предела усталости стальных деталей, что достигается обогащением поверхностного слоя углеродом в пределах 0,8 – 1,2 % и последующей термической обработкой.

Цементации подвергаются детали из углеродистой или легированной стали с содержанием углерода до 0,08 % . Для деталей, подверженных большим напряжениям, используют стали, содержащие до 0,3 % углерода.

В цементованной детали содержание углерода уменьшается от поверхности к центру, в связи с этим различают следующие структурные зоны:

- а) *заэвтектоидная* – глубиной до 0,6 мм, содержит 0,8–1,2 % углерода и состоит из перлита и цементита;
- б) *эвтектоидная* – глубиной до 1,0 мм, содержит 0,8 % углерода и состоит из перлита;

в) *доэвтектоидная* – глубиной более 1мм, содержит менее 0,8 % углерода и состоит из перлита и феррита.

Ближе к сердцевине детали содержание углерода будет снижаться и, следовательно, в структуре стали будет уменьшаться количество перлита и увеличиваться количество феррита.

Глубиной цементованного слоя следует считать сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и половину доэвтектоидной зон.

Обычно требуемая глубина цементации машиностроительных деталей находится в пределах 0,5–2 мм, измерительного инструмента-0,3-1 мм.

Поверхностный слой приобретает наилучшие свойства при содержании углерода в пределах 0,9–1 % . При более высоком содержании углерода поверхностный слой становится излишне хрупким; при меньшем его содержании невозможно получить высокую твердость после закалки.

Цементованные детали подвергаются термической обработке, наиболее часто – это закалке при температуре 820–850 °С, и низкому отпуску.

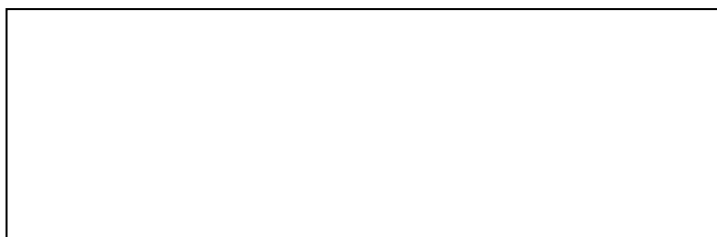
После термической обработки структура поверхностного слоя представляет собой мартенсит или мартенсит с небольшим количеством карбидов; твердость 58–63 HRC. Структура сердцевины деталей – феррит и перлит, а из легированных сталей – низкоуглеродистый мартенсит, троостит или сорбит (в зависимости от размера детали); твердость 20–40 HRC.

Цементации подвергают детали электровозов, тепловозов, моторвагонных секций: зубчатые колеса, поршневые кольца, червяки, крупногабаритные кольца, ролики подшипников, кулачки, детали, работающие в узлах трения и испытывающие ударные нагрузки.

Порядок выполнения

1. Изучить и нарисовать микроструктуру цементованной стали.
2. Изучить микроструктуру термически обработанной стали.
3. Сделать выводы, как химико-термическая обработка влияет на состав, структуру и свойства поверхностного слоя стали.
4. Ответить письменно на контрольные вопросы.

Структура стали после цементации



Цементованный слой имеет разную концентрацию углерода от поверхности к центру:

1-заэвтектоидная зона-

2- эвтектоидная зона-

3- доэвтектоидная зона-

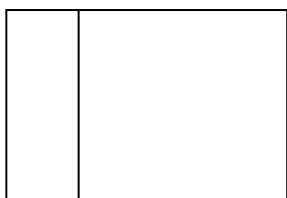
Свойства:

а) поверхности: НV~ δ~

б) сердцевины: НВ~ δ~

Назначение:

Структура стали после цементации, двойной закалки и низкого отпуска



Свойства:

а) поверхности: HRC~ δ~

б) сердцевины: HB ~ δ~

Назначение:

1. Вывод о влиянии химико-термической обработки на состав, структуру и свойства поверхностного слоя стали.
2. Письменные ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды химико-термической обработки.
2. Каково назначение химико-термической обработки?
3. Опишите, как осуществляется процесс цементации.
4. Каким должно быть содержание углерода в сталях подвергаемых цементации?
5. Какие различают структурные зоны, выделяемые в цементованных деталях?
6. Укажите различия в структурах и свойствах сердцевины и поверхностного слоя детали после химико-термической обработки.

Лабораторная работа № 9

Исследование микроструктуры легированных сталей

Цели: изучить микроструктуру легированных сталей и выявить зависимость между химическим составом стали, ее структурой и механическими свойствами.

Оборудование и раздаточный материал: металлографический микроскоп, набор микрошлифов легированных сталей, справочные материалы

Теоретическая часть работы

Легированными сталями называют сплавы на основе железа, в которые специально введены легирующие элементы для придания нужных свойств.

Легирующие элементы, присутствующие в стали, изменяют температуру фазовых превращений, оказывают различное влияние на процесс карбидообразования, рост зерна аустенита при нагреве стали. Оказывая влияние на положение критических точек A_{c1} , и A_{c3} , на превращения аустенита при охлаждении и положение мартенситной точки, легирующие элементы позволяют даже в условиях медленного охлаждения получать различные структуры от феррита до аустенита. Все легирующие элементы, кроме кобальта, замедляют распад аустенита и снижают критическую скорость закалки стали. Легирующие элементы, вводимые в сталь, изменяют ее механические, физические и химические свойства. Положительное влияние легирующих элементов наиболее полно выявляется только при термической обработке, поэтому целесообразно применять легированные стали, подвергнутые термообработке.

По структуре в нормализованном состоянии легированные стали разделяются на следующие классы: перлитный, мартенситный, аустенитный, карбидный и ферритный.

К перлитному классу относятся стали, содержащие небольшое количество легирующих элементов и обладающие структурой эвтектоидного типа: перлит, сорбит или троостит, наряду с которыми могут присутствовать феррит или вторичные карбиды, например стали 40X, 40XH, 30XГСА, 40XГТ и т.д. Конструкционная сталь 30XГСА обладает высокими механическими и технологическими свойствами и используется для изготовления тонкостенных сварных конструкций. В отожженном состоянии структура состоит из феррита и перлита высокой дисперсности, в улучшенном состоянии — из сорбита, ориентированного по мартенситу.

К мартенситному классу относятся стали с более высоким содержанием легирующих элементов, обладающие мартенситной структурой. Из сталей этого класса в машиностроении применяются хромо-никелевые и хромоникельвольфрамовые конструкционные стали с содержанием углерода до 0,3—0,4 % углерода, например 18X2H4BA, 25XH4BA и т.д. Структура стали 18X2H4BA в состоянии поставки состоит из сорбита, а после закалки и отпуска при низкой температуре — из малоуглеродистого мартенсита. После термической обработки эта сталь обладает высокой прочностью и вязкостью. Такое сочетание свойств обеспечивает надежность изделий в эксплуатации.

К аустенитному классу относятся стали с высоким содержанием таких легирующих элементов, как Ni, Mn, Cr, Ti. В структуре стали будет находиться

аустенит и небольшое количество карбидов. Стали этого класса жаропрочные и коррозионно-стойкие. После закалки при температуре 1000—1100 °С карбиды, находящиеся в стали, переводятся в твердый раствор, в результате чего повышаются коррозионная стойкость и пластичность, например, стали X18H9, X18H9T и т.д.

Структура хромоникелевой стали X18H9 после закалки при температуре 1150 °С в воде будет состоять из аустенита. Такая структура обеспечивает высокую вязкость, поэтому сталь хорошо штампуются и прокатывается в холодном состоянии.

К карбидному классу относятся стали X12M, P9, P18 и другие, содержащие большое количество углерода и карбидообразующих элементов Cr, W, V и др. Для этого класса характерным является именно наличие карбидов, структура основного фона может быть в зависимости от состава и температуры нагрева перлитной, мартенситной и аустенитной. Эти стали обладают высокой твердостью и износостойкостью. Применяются для изготовления режущего инструмента и штампов.

Легированные инструментальные стали марок X, ХГ, ХВГ, 9ХС, ХВ5, 3Х2В8Ф подвергают закалке и низкому отпуску с получением мартенсита отпуска. В результате термической обработки эти стали приобретают высокую твердость, прочность и износостойкость.

Структура отожженной стали марки X состоит из зернистого перлита, после закалки при температуре 800 °С и отпуска при температуре 150 °С структура будет представлена мартенситом и легированными карбидами.

Для изготовления режущего инструмента (разверток, фрез) используют сталь 9ХС, которая является заменителем дорогостоящей вольфрамовой стали. Стали марок ХГ, ХВГ, 9ХВГ незначительно изменяют свои размеры при термической обработке, поэтому их применяют для изготовления точных измерительных и режущих инструментов.

Структура литой быстрорежущей стали состоит из ледебуритной эвтектики (первичные карбиды) и продуктов распада аустенита — троостита или сорбита и нераспавшегося аустенита. Ледебуритная эвтектика, располагающаяся по границам зерен, придает стали хрупкость. Для устранения хрупкости литую сталь кууют или прокатывают, а затем отжигают. Структура ковальной и отожженной быстрорежущей стали марки P18 состоит из крупных первичных карбидов, более мелких вторичных карбидов и сорбита.

Быстрорежущие стали марок P9 и P18 обладают высокой твердостью, износостойкостью и красностойкостью при температурах до 600 °С. Они используются для изготовления режущего инструмента, работающего в тяжелых условиях и при больших скоростях резания.

Высокие режущие свойства быстрорежущая сталь приобретает после закалки при температурах 1260—1300 °С и многократного отпуска при 560 °С. После закалки структура быстрорежущей стали будет состоять из мартенсита, карбидов и остаточного аустенита (мартенсит обнаруживается очень плохо, поэтому структура кажется состоящей только из аустенита и карбидов). Структура стали после закалки и трехкратного отпуска будет состоять из мартенсита, карбидов и незначительного количества аустенита, невидимого в структуре.

К ферритному классу относятся стали, содержащие значительное количество легирующих элементов, замыкающих область существования у — твердого раствора (хром, кремний и др.) и малое количество углерода. Эти стали обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошими механическими и технологическими свойствами.

Структура хромистой стали 3Х13 после закалки при температуре 1050 °С в масле и отпуска состоит из мартенсита и небольшого количества карбидов. Сталь обладает высокой прочностью и используется для изготовления деталей, работающих при повышенных нагрузках.

Деление на указанные классы характерно только для сталей, охлажденных на воздухе. Изменение скорости охлаждения изменяет структуру и, следовательно, класс стали. Так, если сталь перлитного класса охладить с большей скоростью, то можно получить мартенситную структуру, при охлаждении стали мартенситного класса с меньшей скоростью в структуре можно получить перлит, а обработав аустенитную сталь холодом, можно получить мартенситную структуру.

Легированные стали широко применяются для изготовления деталей, работающих на железнодорожном транспорте. Сталь 40ХНВА применяют для изготовления коленчатых валов дизеля 1Д2. Стали 40ХФА, 45ХФ — для изготовления шатунов и кулачковых валов. Из сталей 45ХН и 30ХНЗА изготавливают шестерни тяговых зубчатых передач тепловозов, электровозов и моторвагонных секций. Пружины и рессоры тележек вагонов и локомотивов изготавливают из сталей марок 55С2, 60С2, 60С2А, 60С2ХФА, рамы и детали кузовов вагонов, тепловозов, электровозов и моторвагонных секций — из сталей марок 09Г2С, 09Г2Д, 10Г2БД, 10ХНДП.

Порядок выполнения работы

1. Изучить с помощью микроскопа и зарисовать структуры предложенных легированных сталей.
2. Дать классификацию сталей при охлаждении на воздухе и указать их структуру


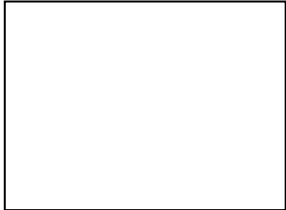

<i>Перлитный</i>	<i>Мартенситный</i>	<i>Аустенитный</i>
Структура:	Структура:	Структура:

3. Указать структуру классов легированных сталей в нормализованном состоянии:


<i>Перлитный</i>	<i>Мартенситный</i>	<i>Аустенитный</i>
Структура:	Структура:	Структура:




4. Нарисовать диаграммы изотермического распада аустенита указанных классов сталей

5. Нарисовать схемы микроструктур конструкционной легированной стали и сделать описание стали по плану: 1) Полное наименование стали. 2) Химический состав. 3) Структура стали (исходная). 4) Термическая обработка, структура после термообработки. 5) Механические свойства (после ТО). 6) Применение стали

Схема микроструктуры	Краткое описание структуры
<p>Перлитный класс</p>  <p>Марка стали: 40 X</p>	
<p>Мартенситный класс</p>  <p>Марка стали: ШХ 15</p>	
<p>Аустенитный класс</p>  <p>Марка стали: 12X 18Н 10Т</p>	

5. Структура и свойства инструментальной стали **P18** следующего химического состава: (указать)

Схема микроструктуры	Краткое описание структуры
<p>в литом состоянии:</p>  <p>Марка стали: P18</p>	

<p>В кованном и отожженном состоянии</p> 	
<p>в закаленном состоянии:</p> 	
<p>в закаленном и отпущенном состоянии</p> 	

6. Сделайте выводы, как химический состав влияет на структуру и механические свойства стали.

7. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Представьте классификацию легированных сталей.
2. Охарактеризуйте классы сталей по структуре в нормализованном состоянии.
3. Опишите принципы маркировки легированных сталей.
4. Приведите примеры изготовленных из легированных сталей деталей, работающих на железнодорожном транспорте, укажите их марки.

Лабораторная работа № 10

Исследование микроструктуры цветных металлов и их сплавов

Цели: - изучить микроструктуру и свойства сплавов на основе меди, алюминия, баббитов; - установить связь между структурой и свойствами изучаемых сплавов

Оборудование и раздаточный материал: металлографический микроскоп, набор микрошлифов.

Краткие теоретические сведения

Сплавы на основе меди.

Температура плавления меди 1083 °С, температура кипения 2360 °С. Предел прочности чистой меди невысок и составляет 220 МПа. Кристаллическая решетка — кубическая гранцентрированная. Плотность меди — 8,93 г/см³.

Медь характеризуется высокой электропроводностью, теплопроводностью и пластичностью, а также коррозионной стойкостью и способностью образовывать технологичные сплавы, которые хорошо обрабатываются и обладают хорошими механическими свойствами. В технике используются две группы сплавов на основе меди: латуни и бронзы.

Латуни. Сплавы меди с цинком и небольшим количеством других элементов называются латунями. Сплавы, состоящие только из меди и цинка, называются простыми латунями, а легированные алюминием, железом, свинцом, никелем и другими элементами — сложными или специальными латунями.

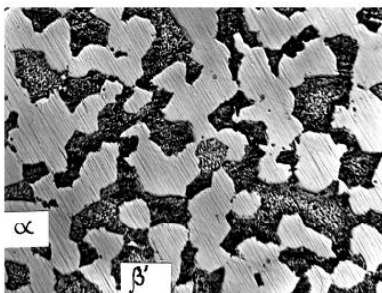
По структурному признаку практически применяемые латуни могут быть разделены на два типа:

- 1) однофазные α -латуни, содержащие до 39 % Zn;
- 2) двухфазные $\alpha + \beta$ -латуни, содержащие от 39 до 45 % Zn.

Однофазные α -латуни обладают наибольшей пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состояниях, коррозионно-стойки. К α -латуням относятся латуни марок Л 96, Л90, Л80, Л68. Структура их состоит из зерен α -раствора.

Двухфазные латуни обладают пониженной пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, если они переведены в однофазное β -состояние. К двухфазным относятся латуни марок Л62 и Л59. Их структура при комнатной температуре состоит из светлых зерен α -раствора и темных включений β -фазы. Для повышения механических, коррозионных и других свойств в латуни вводят легирующие элементы: кремний, марганец и алюминий, которые не образуют новых фаз, так как они находятся в растворе в α и β -фазах. Для улучшения обрабатываемости резанием в двухфазные латуни вводят свинец. Однофазные α -латуни, содержащие до 39 % Zn, не имеют фазовых превращений, поэтому они не подвергаются термической обработке. Латуни применяются для изготовления труб, лент, полос, фольги, втулок, зубчатых колес, арматуры.

Микроструктура латуни ЛС 59-1



Бронзы. Сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами называются бронзами.

Оловянистые бронзы более прочные и коррозионно-стойкие по сравнению с медью, обладают высокими литейными качествами. Малый коэффициент трения и устойчивость к износу делает их незаменимыми при изготовлении вкладышей подшипников, червячных колес и арматуры, работающей в воде или паре.

Цинк, фосфор и никель, вводимые в оловянистую бронзу, улучшают ее свойства и увеличивают количество эвтектоида, но не образуют новых фаз, так как эти элементы находятся в твердом растворе. Свинец, вводимый в оловянистую бронзу и нерастворимый в меди, улучшает обрабатываемость бронзы резанием. Свинец присутствует в структуре в виде отдельных включений округлой формы.

Бронзы, содержащие до 9,8 % алюминия при медленном охлаждении образуют α -фазу — однородный твердый раствор алюминия в меди и являются однофазными.

Высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью обладают кремнистые бронзы.

Сплавы, содержащие 9,8—15,2 % алюминия состоят из зерен α -раствора и участков эвтектоида $\alpha + \delta$ и являются двухфазными сплавами.

Двухфазные алюминиевые бронзы подвергаются термической обработке, закалке и отпуску. После закалки сплав приобретает структуру типа мартенсита, состоящую из игольчатых кристаллов β -фазы. После отпуска структура сплава будет состоять из тонкой механической смеси фаз.

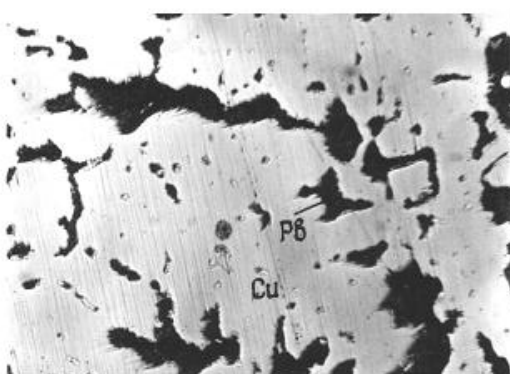
Двухфазные алюминиевые бронзы обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью по сравнению с однофазными и применяются для тяжело нагруженных изделий.

Высокой прочностью и упругостью обладают бериллиевые бронзы, их применяют для изготовления пружин, пружинящих контактов ответственных приборов.

Микроструктура бронзы Бр О10



Микроструктура свинцовой бронзы Бр С30



Сплавы на основе алюминия.

Температура плавления алюминия 660 °С, температура кипения около 2500 °С. Предел прочности при разрыве составляет 90—180 МПа, имеет высокую пластичность, что дает возможность прокатывать его в очень тонкие листы. Кристаллическая решетка — кубическая гранецентрированная, плотность составляет 2,7 г/см³, что определяет его широкое применение.

Алюминий обладает хорошей электрической проводимостью, имеет высокую теплопроводность и теплоемкость, химически стоек против органических кислот. Он очень быстро окисляется на воздухе, покрываясь тонкой пленкой окиси, которая препятствует проникновению кислорода в толщу металла. Алюминий трудно обрабатывается резанием и имеет значительную литейную усадку (1,8 %). Для улучшения этих свойств в алюминий вводят медь, магний, цинк, кремний и другие элементы.

Технические сплавы на основе алюминия делят на две группы: деформируемые и литейные.

К деформируемым относятся сплавы, состоящие в равновесном состоянии из твердого раствора с небольшим количеством других фаз или из одного твердого раствора и обладающие повышенной пластичностью.

Сплавы на основе Al—Si представляют наиболее многочисленную группу и получили самое широкое распространение. В этой системе, в свою очередь, различают сплавы деформируемые и литейные. Из деформируемых нашли применение сплавы марок АК2, АК4, АК6, АК8 и *дуралюмины* марок Д1, Д6, Д16, Д18, обладающие высокой прочностью и достаточно высокой пластичностью.

В состав *дуралюмина* входят следующие элементы: медь, магний, марганец и кремний, которые с алюминием и между собой образуют химические соединения, обладающие переменной растворимостью в алюминии.

Дуралюмины подвергают отжигу, закалке и старению.

Термическая обработка дуралюмина состоит в закалке и естественном или искусственном старении.

Быстрое охлаждение в воде позволяет зафиксировать пересыщенный однофазный твердый раствор. В закаленном состоянии дуралюмин мягок, пластичен и легко деформируется.

Сплавы типа дуралюмина широко применяются в промышленности, особенно в авиационной и ракетной.

Литейные алюминиевые сплавы принято маркировать буквами АЛ и делить на пять групп:

I - сплавы на основе системы алюминий—кремний (АЛ2, АЛ4, АЛ9);

II - сплавы на основе системы алюминий—кремний—медь (АЛ3, АЛ11, АЛ6, АЛ32);

III - сплавы на основе системы алюминий—медь (АЛ7, АЛ19);

IV - сплавы на основе системы алюминий—магний (АЛ8, АЛ10, АЛ22), обладают низкой плотностью, высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью; применяют для изготовления легких отливок различного оборудования для транспортных машин;

V - сплавы на основе алюминия и других компонентов: медь, никель, магний, кремний, цинк, титан (АЛ1, АЛ11, АЛ24).

Литейные алюминиевые сплавы для повышения механических свойств подвергают термической обработке.

Силумины. Сплавы на основе Al—Si называют силуминами. Они содержат от 5 до 14 % кремния, применяются влитом виде.

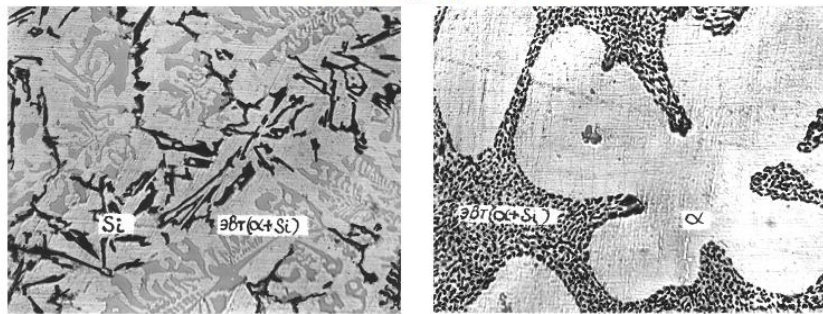
Силумины, содержащие менее 10—12 % кремния, обладают пониженными литейными свойствами и меньшей прочностью, поэтому их упрочняют введением меди и магния.

Типичный силумин АЛ 2 содержит 10—13% кремния, обладает высокой жидкотекучестью, малой усадкой, устойчив против коррозии и относительно

легкоплавков. Удовлетворительные механические свойства и структуру силумин приобретает только после модифицирования.

Немодифицированный силумин имеет грубую игольчатую структуру и очень хрупок; после модифицирования эвтектика становится мелкозернистой, в результате чего сплав приобретает пластичность.

Микроструктура силумина



а - до модифицирования (заэвтектический сплав);
б - после модифицирования (доэвтектический сплав).

Антифрикционные сплавы-баббиты. Баббитами называются легкоплавкие сплавы, применяемые для изготовления вкладышей подшипников скольжения. В зависимости от элемента, составляющего основу сплава, различают оловянные, свинцовые, алюминиевые и цинковые баббиты. Высокие антифрикционные свойства этих сплавов обеспечиваются их структурой, которая состоит из пластичной основы и твердых включений.

Наиболее качественным является баббит марки Б83, содержащий 83 % олова, 11 % сурьмы и 6 % меди. Вследствие большой концентрации олова, данный баббит является самым дорогим и применяется для заливки подшипников валов, работающих при больших скоростях вращения.

Баббит Б16 является более дешевым баббитом, содержит 16 % сурьмы, 2 % меди, 16 % олова и 76 % свинца, по качеству уступает баббиту марки Б83. В баббите Б16 мягкой основой является раствор сурьмы и олова в свинце, а твердыми включениями — химические соединения $SbSn$ и Cu_3Sn . Баббит марки Б16 применяется для заливки подшипников тракторных и автомобильных двигателей.

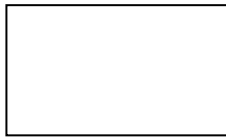
В баббите марки БС мягкой основой является эвтектика $\alpha + \beta$, обладающая недостаточной пластичностью, а твердыми кристаллами являются β - раствор и химическое соединение Cu_2Sn . Баббит марки БС имеет наихудшие свойства по сравнению с другими баббитами, но дешев и может быть использован для подшипников двигателей и механизмов с небольшой скоростью вращения валов.

Медь и сплавы на ее основе применяются для изготовления электрических машин различного назначения, приборов, топливной аппаратуры, вкладышей подшипников скольжения, втулок, пружинящих контактов. Например, в узлах трения тепловозов применяются подшипники из бронзы БрОЗЦ12С5 с заливкой баббитом БК2, БрОЮСЮ, Бр04Ц4С17, Бр05Ц5С5, Бр08С12, биметаллические вкладыши со слоем алюминиевого сплава. Алюминий и его сплавы АК12, АК5М, АМг5 и другие используются для изготовления оборудования рефрижераторных вагонов. На железнодорожном транспорте кальциевые баббиты используют в подшипниках вагонов, коленчатого вала тепловозных дизелей.

Порядок выполнения работы

1. Описать структуру и механические свойства сплавов на основе меди.

Медь



М2 (Си < 99,7%)

Хим. состав:

Механические свойства:

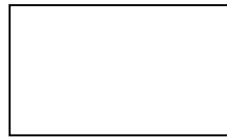
$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

Назначение:

Латуни - сплавы меди с цинком



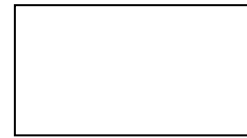
а) однофазная марки Л63

Хим. состав:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$



б) двухфазная марки ЛС59-1

Хим. состав:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

Бронзы - сплавы меди с оловом, алюминием, свинцом, марганцем, бериллием

а) Оловянная



а) однофазная
марки
BrO3Ц12С5

Хим. Состав:

Свойства:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

Назначение:



б) двухфазная
марки
BrO6Ц6С3

Хим. Состав:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

б) Алюминиевая



б) однофазная
марки
BrA5

Хим. Состав:

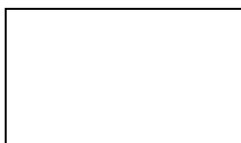
$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

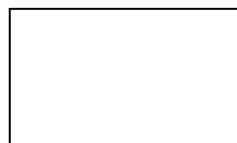
2. Описать структуру и механические свойства сплавов на основе алюминия

Алюминий

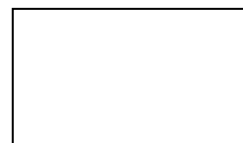


Алюминий марки Д1

Дюралюминий – деформируемые сплавы Al



Дюралюминий
отожженный
марки Д1



Дюралюминий
закаленный и естественно
состарившийся (Д16)

Свойства:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

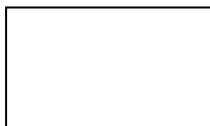
$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

Назначение:

Силумины – литейные сплавы алюминия



а) Силумин не модифицированный



б) Силумин модифицированный

Свойства:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

$\sigma_B =$

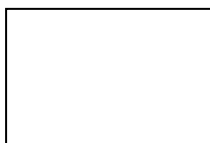
НВ =

$\delta =$

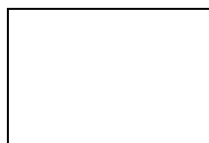
Назначение:

3. Описать микроструктуру, назначение и свойства баббитов–антифрикционных сплавов

а) Баббит марки Б16



б) Баббит марки БКА



Состав:

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

$\sigma_B =$

НВ =

$\delta =$

Свойства:

Назначение:

4. Сделайте вывод: благодаря каким свойствам и где применяются сплавы на основе меди, алюминия и баббиты

5. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику сплавов на основе меди.
2. Перечислите маркировки латуней.
3. Назовите маркировки бронз.
4. Дайте характеристику сплавов на основе алюминия.
5. Назовите маркировки дуралюминов.

6. Назовите маркировки литейных алюминиевых сплавов.
7. Охарактеризуйте антифрикционные цветные металлы.
8. Приведите примеры деталей, работающих на железнодорожном транспорте, изготовленных из цветных металлов и их сплавов

Лабораторная работа № 11

Определение допусковых размеров сопряженных поверхностей деталей

Цель: научиться определять систему, в которой выполнена посадка, вид посадки, величины допусков, зазоров и натягов.

Оборудование и раздаточный материал: варианты заданий, справочные таблицы (ГОСТ 25347-89 Предпочтительные поля допусков (выборка))

Теоретическая часть работы

Единая система допусков и посадок (ЕСДП) разработана в соответствии с комплексной программой и рекомендациями международных стандартов. Она распространяется на сопрягаемые гладкие цилиндрические элементы и элементы, ограниченные параллельными плоскостями.

Все детали, из которых состоят соединения, узлы, агрегаты и машины, характеризуются геометрическими размерами. Размеры выражают числовое значение линейных величин (диаметр, длину, ширину и т.д.) и делятся на номинальные, действительные и предельные. В машиностроении размеры указывают в миллиметрах.

Основные термины и определения установлены ГОСТ 25346-89.

Номинальный размер – размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры. Обозначается номинальный размер отверстия – D_n (D), вала – d_n (d) (рис.1).

Номинальный размер – это размер, полученный путем расчетов деталей на прочность, износостойкость, жесткость и т.д. и на основании конкретных конструктивных и эксплуатационных соображений. Он является основным размером детали или их соединений (в соединении участвуют две детали – отверстие и вал). Номинальный размер вала и отверстия равны.

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Этот термин введен, потому что на практике трудно изготовить деталь с абсолютно точными требуемыми размерами и измерить их без внесения погрешности. Действительный размер обозначается для отверстия D_o , а для вала – d_o .

Предельные размеры детали – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали. Границы предельных размеров, т.е. диапазон рассеивания действительных размеров, определяются наименьшим предельным размером (D_{min} , d_{min}) и наибольшим предельным размером (D_{max} , d_{max}), (см. рис.1). Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о годности деталей. Для упрощения чертежей введены предельные отклонения от номинального размера. Предельное отклонение размера – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельное отклонение, применяя при этом краткие термины – верхнее и нижнее отклонение.

Верхнее отклонение (ES – для отверстия, es – для вала) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES = D_{max} - D_n, es = d_{max} - d_n.$$

Нижнее отклонение (EI – для отверстия, ei – для вала) – алгебраическая разность между наименьшим предельным размером и номинальным размерами:

$$EI = D_{min} - D_n, ei = d_{min} - d_n.$$

Допуском на размер называется разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между

верхним и нижним отклонениями. Допуск обозначается буквой T, тогда для отверстия – TD, для вала – Td: ($TD = D_{\max} - D_{\min}$, $Td = d_{\max} - d_{\min}$).

Допуск всегда положительная величина. Он определяет допусковое поле рассеивания действительных размеров годных деталей в партии, т.е. заданную точность изготовления. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, при этом стоимость изготовления увеличивается.

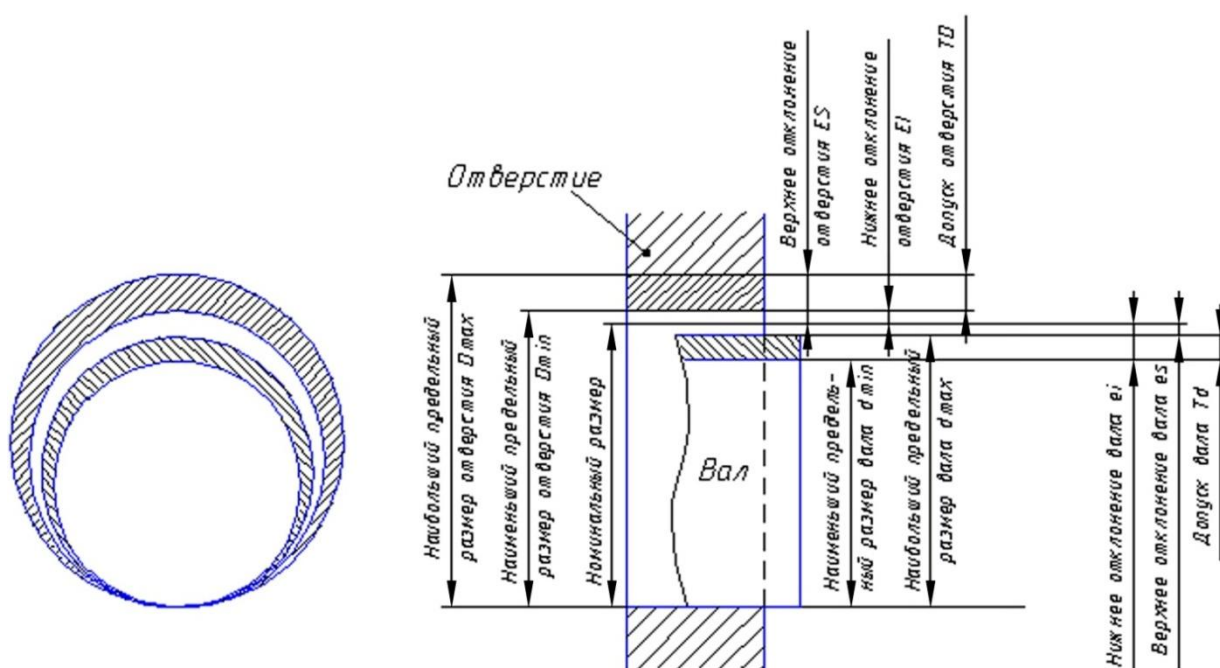
Для упрощения допуски изображают графически в виде полей допусков.

Поле допуска – интервал, ограниченный верхним и нижним отклонениями. Поля допуска определяются значением допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладывают отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок.

Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладывают вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Рис.1 Поля допусков вала и отверстия (посадка с зазором)



Условиями годности и исправления брака являются следующие:

для отверстия: $D_{\min} \leq D_{\partial} \leq D_{\max}$.

Если $D_{\partial} < D_{\min}$, то брак исправим, если $D_{\partial} > D_{\max}$, то брак не исправим

для вала: $d_{\min} \leq d_{\partial} \leq d_{\max}$

Если $d_{\partial} < d_{\min}$, то брак не исправим, если $d_{\partial} > d_{\max}$, то брак исправим

Две или несколько подвижно или неподвижно соединяемых деталей называют *сопрягаемыми*, а поверхности соединяемых элементов называют *сопрягаемыми поверхностями*. По геометрической форме сопрягаемых поверхностей соединения подразделяются на гладкие цилиндрические, плоские и др.

В зависимости от эксплуатационных требований сборку соединений осуществляют с различными посадками.

Посадкой называют характер соединения деталей, определяемый разностью между размерами отверстия и вала. Различают следующие основные виды посадок: с зазором, с натягом и переходные посадки.

Схемы полей допусков для разных посадок

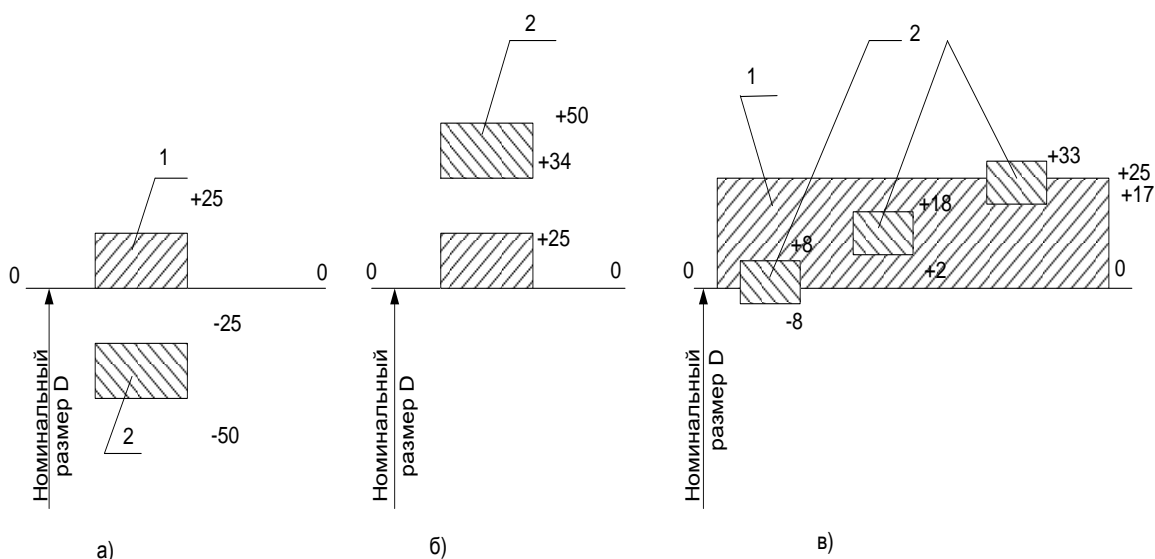


Рис.2 Поля допусков: отверстия-1 вала- 2.

а) Зазор б) Натяг в) переходная посадка

Виды посадок:

1. **Зазор.** Зазор обозначается буквой S. Разность между размерами отверстия и вала называется зазором. *Зазор равен:* $S = D - d$.

Зазор возможен при условии, что размер отверстия больше, чем размер вала, то есть $D > d$. Посадка с зазором обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижнее отклонение отверстия совпадает с верхним отклонением вала, т.е. $S_{\min} = 0$. При посадке с зазором поле допуска отверстия находится над полем допуска вала (см. рис. 2а)

2. **Натяг.** Натяг обозначается буквой N. Разность между размерами вала и отверстия называется натягом. *Натяг равен:* $N = d - D$.

Натяг возможен при условии, что размер отверстия должен быть меньше размера вала, то есть $D < d$. Посадка с натягом обеспечивает взаимную неподвижность сопрягаемых деталей после их сборки. При натяге поле допуска отверстия находится под полем допуска вала (см. рис.2б)

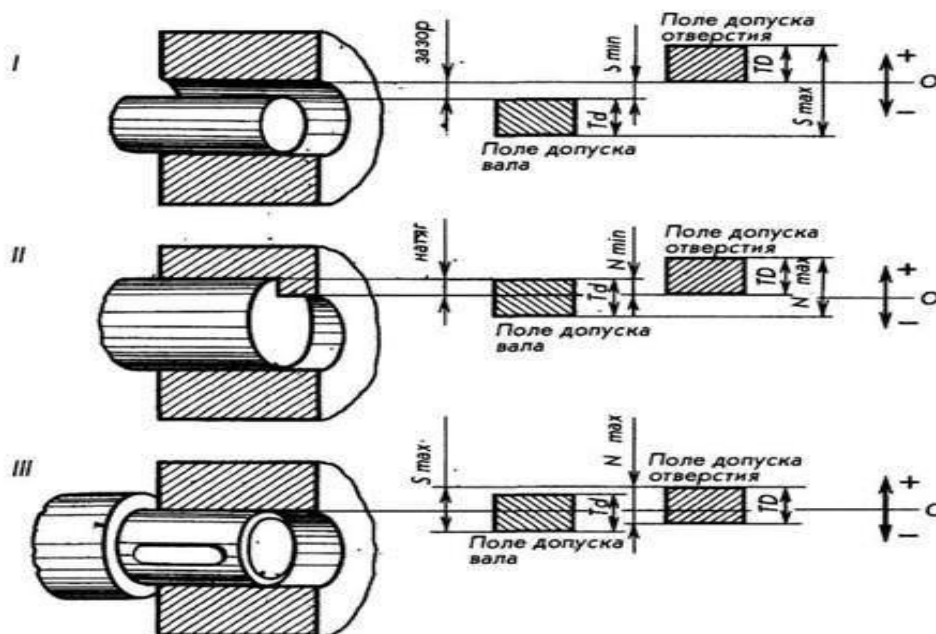
3. **Переходная посадка** – посадка, при которой возможно получение, как зазора, так и натяга. Она характеризуется наибольшим зазором и натягом. В переходной посадке поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью (см.рис. 2в)

Изображение полей допусков сопрягаемых деталей различных посадок

I - посадка с зазором. Поле допуска отверстия находится **над** полем допуска вала

II- посадка с натягом. Поле допуска отверстия находится **под** полем допуска вала

III – переходная посадка. Поля допусков отверстия и вала перекрываются. Возможен как зазор, так и натяг.



Основные отклонения отверстий и валов.

Положение поля допуска относительно нулевой линии (номинального размера) определяется основным отклонением. Основное отклонение – это расстояние от ближайшей границы поля допуска до нулевой линии.

Стандартом установлено 28 основных отклонений, обозначаемых буквами латинского алфавита. Основные отклонения отверстий обозначают прописными буквами латинского алфавита, валов – строчными (рисунок 3)

Основное отклонение отверстия обозначают буквой - H, основной вал - h.

Отклонения A – H (a–h) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазором; отклонения JS, ..., N (js, ..., n) – в переходных посадках, отклонения P, ..., ZC (p, ..., zc) – в посадках с натягом.

Степень точности при изготовлении деталей характеризует качество.

Каждый квалитет содержит ряд допусков, соответствующих одинаковой точности для всех номинальных размеров. При этом весь диапазон размеров разделён на интервалы, в пределах которых предельные отклонения принимаются одинаковыми (1...3 мм; 3...6 мм; 6...10 мм; 10...18 мм и т.д. до 500 мм). **Стандартом установлено 19 квалитетов:** 01; 0; 1; ...17 – в порядке уменьшения точности.

Предельные отклонения деталей на чертеже обозначают:

1. Числовыми значениями. Например, $18^{+0,018}$; $12^{-0,032}$
2. Буквенными обозначениями. Например, 18H7; 12e8
3. Буквенными обозначениями полей допусков с указанием в скобках справа числовых значений предельных отклонений: 18H7 ($^{+0,018}$); 12e8 ($^{-0,032}_{-0,059}$)

Обозначения посадок:

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают **дробью**: в числителе – поле допуска отверстия, в знаменателе – аналогичное обозначение поле допуска вала.

Например,

обозначение посадки **45 H7/f7** дает следующую информацию:

номинальный размер отверстия и вала равен 18 мм, отклонение отверстия Н (является основным), 7- квалитет для отверстия, f- отклонение вала, 7- квалитет для вала.

Характер посадки можно определить, используя следующую таблицу:

Отверстия	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	Za	Zb	Zc
Вал	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Группы посадок	Посадки с зазором. Увеличение зазора ←											Переходные посадки			Посадки с натягом. Увеличение натяга →													

Порядок выполнения работы

Работу выполнять по вариантам. Номер варианта определяется по списку в журнале. Если цифра «0», то номер варианта -10.

Задание 1. Определить годность деталей: вала и отверстия.

Для этого:

а) На основании исходных данных по вариантам (смотри приложение 1 к занятию 5) найти номинальный размер деталей, определить наибольший и наименьший предельные размеры деталей, определить и графически изобразить поле допуска деталей.

б) Сравнить действительный размер детали с её наибольшим и наименьшим предельными размерами и сделать вывод о её годности, об исправимости брака.

в) Результаты работы оформить в виде таблицы 1. (Смотри Образец выполнения задания 1. Таблица 1)

Задание 2. Определить характер соединения сопрягаемых деталей (вид посадки).

Для этого:

а) На основании исходных данных по вариантам (приложение 2) и используя ГОСТ 25347-89 (приложения 3 и 4) найти верхнее и нижнее предельное отклонение для отверстия и для вала

б) Произвести перевод единиц измерения предельных отклонений из микрометров в миллиметры ($1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$)

в) Графически изобразить поля допусков сопрягаемых деталей - отверстия и вала

г) Определить вид посадки и характер соединения

г) Результаты работы оформить в виде таблицы 2. (Смотри образец выполнения задания 2. Таблица 2)

Таблица 1. Исходные данные и вывод о годности вала и отверстия.


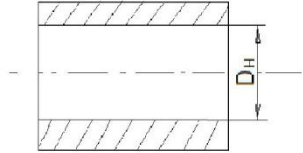
Контрольные вопросы		Исходные данные, вариант № _X_					
		 вал			 отверстие		
Размер на чертеже, мм (из приложения 1 по вариантам)							
Анализ размеров чертежа	Номинальный размер, мм						
	Верхнее предельное отклонение, мм						
	Нижнее предельное отклонение, мм						
	Наибольший предельный размер, мм						
	Наименьший предельный размер, мм						
	Допуск размера, мм						
	Графическое изображение допуска						
Тип элемента детали		Вал (1)	Вал (2)	Вал (3)	Отверстие (4)	Отверстие (5)	Отверстие (6)
Заключение о годности детали (сравнение с действительными размерами)	Величина действительных размеров детали, мм (Из приложения 1)						

Таблица 2. Определение характера соединения по чертежу сборочной единицы

Контрольные вопросы		Исходные данные, вариант № ____			
					
Анализ размеров сборочного чертежа	Обозначение посадки	(из приложения 2)		(из приложения 2)	
	Система посадки				
	Номинальный размер сопряжений, мм				
	Обозначения сопрягаемого размера на чертеже	Деталь 1 (отверстие)	Деталь 2 (вал)	Деталь 1 (отверстие)	Деталь 2 (вал)
	Квалитет				
	Условное обозначение поля допуска				
	Верхнее предельное отклонение, мм	(из приложения 4)	(из приложения 3)	(из приложения 4)	(из приложения 3)
	Нижнее предельное отклонение, мм	(из приложения 4)	из приложения 3)	(из приложения 4)	из приложения 3)
	Наибольший предельный размер				
Наименьший					

	предельный размер				
	Графическое изображение поля допуска посадки				
	Группа посадки (характер соединения)				

Сделать вывод (по целям работы):

Контрольные вопросы

1. Какой размер называется номинальным? Почему на практике нельзя точно выполнить номинальный размер деталей?

2. Какой размер называется действительным?

2. Какие размеры называются предельными? Для чего на чертеже задаются два предельных размера?

4. Дать определение понятию «допуск», чему он равен?

1. Назовите условия годности для отверстия и для вала, приведите формулы

2. Что называется посадкой? Назовите виды посадок.

3. В задании 1(по таблице 1) определите, какая из шести деталей (вал или отверстие) будет самой сложной и потребует наибольших затрат при её изготовлении. Ответ аргументируйте.

8. Определите условия годности вала и отверстия при следующих значениях:

- для вала: - номинальный размер $14 \pm \begin{matrix} 0,3 \\ 0,1 \end{matrix}$
- действительный размер 15,0
- для отверстия: - номинальный размер $14 \pm \begin{matrix} 0,4 \\ 0,2 \end{matrix}$
- действительный размер 14,5

Содержание отчета

1. Заполненная таблица 1. Исходные данные и вывод о годности вала и отверстия.

2. Заполненная таблица 2. Определение характера соединения по чертежу сборочной единицы

3. Ответы на контрольные вопросы.

4. Общий вывод по работе (согласно целям работы).

Лабораторная работа № 12

Определение температуры каплепадения пластичных смазок

Цель: ознакомиться с методом определения температуры каплепадения пластичной смазки и практически определить температуру каплепадения пластичной смазки (солидола)

Оборудование: проба консистентной смазки, прибор-термометр для определения каплепадения, пробирка диаметром 40-45 мм и длиной 180-200 мм, колба коническая емкостью 0,5 л, штатив с зажимом и кольцом, электроплитка, шпатель, 500 мл глицерина или дистиллированной воды.

Краткий теоретический материал

Пластичные смазки представляют собой мазе- или пастообразные смазочные материалы, получаемые введением твердых загустителей в жидкие нефтяные или синтетические масла и их смеси. Одной из основных характеристик пластичных смазок, по которой можно произвести сравнительную оценку качества и определить область возможного использования смазки, является температура каплепадения.

Температура, при которой происходит падение первой капли смазки, нагреваемой в специальном приборе в строго определенных условиях, называется температурой каплепадения.

По температуре каплепадения приближенно можно судить о верхней температурной границе применения смазки. Считается, что смазки можно применять при температурах на 15 – 20 градусов ниже температуры каплепадения.

На температуру каплепадения в наибольшей степени влияет род загустителей. Так, температура каплепадения углеводородных смазок находится в пределах 60 – 80 °С, кальциевых – 60 – 110 °С, натриевых – 100 – 200 °С и выше.

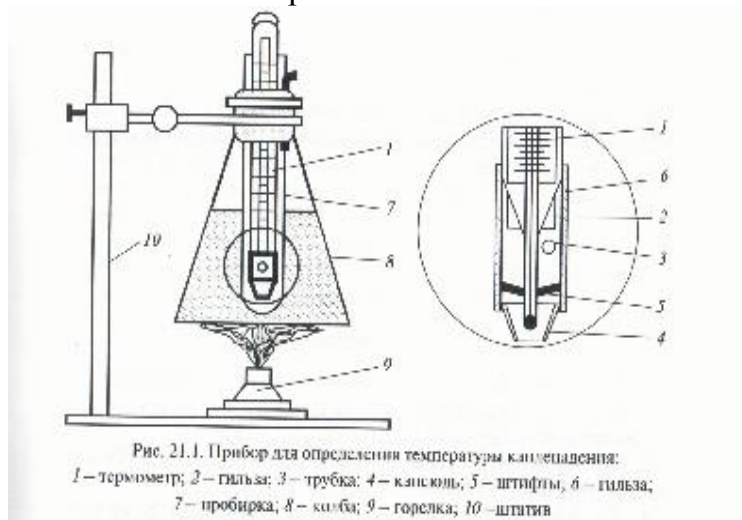
Свойства пластичных смазок определяют их преимущества перед жидкими смазочными материалами: малый удельный расход (иногда в сотни раз меньший); возможность создания более простых конструкций машин и механизмов; большой их «межсмазочный» период эксплуатации и более низкие затраты на обслуживание.

Порядок выполнения работы

1. Испытуемую смазку поместить в стеклянный капсюль 4 прибора для определения температуры каплепадения пластичной смазки, уплотнив металлическим шпателем так, чтобы не образовалось пузырьков воздуха. Тщательно вытереть чашечку, срезать излишек продукта с верхней ее части.
2. Поместить капсюль-чашечку 4 в металлическую гильзу 6 термометра до соприкосновения с буртиком. Нижний конец термометра при этом выдавит внизу часть смазки, которую необходимо гладко срезать.
3. Термометр 1 вставить при помощи прокладок в пробирку 7, которая будет служить воздушной баней. От дна пробирки капсюль должен находиться не ближе чем на 25 мм.

4. Собранный прибор закрепить в штативе 10 и опустить в строго вертикальном положении в колбу 8 так, чтобы расстояние до дна пробирки составило 10-20 мм. Налить в колбу дистиллированную воду (при анализе смазки с температурой каплепадения ниже 80° С) или глицерин (при анализе смазки с более высокой температурой каплепадения) до высоты 120-150 мм от дна колбы

5. Воду или масло в колбе нагревать.



6. Замерить температуру, при которой размягченная мазь начнет выступать из отверстия чашечки. Эта температура называется температурой каплеобразования. Продолжая нагрев, замерить температуру, при которой упадет первая капля смазки. Это температура каплепадения.

Содержание отчета

1. Запись названия испытуемой смазки.
2. Запись значений температуры каплеобразования и температуры каплепадения, полученных опытным путем.

Результаты испытаний:

Тип смазки	T ⁰ Каплепадения	T ⁰ Каплепадения по ГОСТу

3. Сравнить значения температуры каплеобразования и температуры каплепадения, полученных опытным путем, со значениями по ГОСТу для испытуемой марки смазки.
4. Сделать вывод о соответствии каплепадения нефтепродукта ГОСТу, о пригодности смазки к эксплуатации.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какая температура называется температурой каплепадения?
2. О каких характеристиках пластичных смазок дает представление температура каплепадения?
3. Приведите классификацию пластичных смазок в зависимости от температуры каплепадения.
4. Какое влияние на величину температуры каплепадения пластичных смазок оказывает их состав?

Приложения

Приложения к работе 1.

Приложение 1.1 Данные для определения твердости стали методом Бринелля

Вариант	Ст3		ОС		У8	
	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 1	Измерение 2
1	6,1	5,9	4,7	4,8	3,7	3,8
2	6,0	6,1	4,3	4,4	3,6	3,7
3	5,9	6,2	4,8	4,9	4,2	4,5
4	5,9	6,1	4,7	4,8	4,1	4,2
5	5,7	5,6	4,4	4,3	4,0	3,9
6	5,6	5,5	5,0	4,9	3,7	3,5
7	5,4	5,5	4,5	4,7	3,4	3,6
8	5,3	5,4	4,7	4,9	3,6	3,8
9	5,1	5,4	4,1	3,9	3,8	3,7
10	4,2	3,8	4,0	4,1	3,6	3,8
11	3,8	3,9	3,6	3,7	3,3	3,2
12	5,5	5,6	3,5	3,6	3,4	3,1
13	5,7	5,6	4,0	4,1	3,7	3,8
14	5,8	5,6	4,8	4,9	3,8	3,9
15	5,9	5,7	3,9	4,0	3,6	3,7
16	6,0	6,1	4,6	4,8	4,0	4,1
17	6,1	6,0	4,7	4,9	4,2	4,3
18	6,2	6,3	4,8	4,5	4,1	4,2
19	6,1	6,2	4,5	4,7	4,3	4,1
20	6,3	6,1	4,6	4,8	4,2	4,3

Приложение 1.2 Таблица твёрдости по Бринеллю - НВ

Диаметр лунки, мм	Твёрдость НВ, МПа	Диаметр лунки, мм	Твёрдость НВ, МПа
3,05	4010	4,85	1520
3,10	3880	4,90	1490
3,15	3750	4,95	1460
3,20	3630	5,00	1430
3,25	3520	5,05	1400
3,30	3410	5,10	1370
3,35	3310	5,15	1340
3,40	3210	5,20	1310
3,45	3110	5,25	1280
3,50	3020	5,30	1230
3,60	2850	5,35	1210
3,65	2770	5,40	1180
3,70	2690	5,45	1160
3,75	2620	5,55	1140
3,80	2550	5,60	1110
3,85	2480	5,65	1090
3,90	2410	5,70	1070
3,95	2350	5,75	1050
4,00	2290	5,80	1030
4,05	2230	5,85	1010
4,10	2170	5,90	992
4,15	2120	5,95	973
4,20	2070	6,00	955
4,25	2010	6,05	937
4,30	1970	6,10	920
4,35	1920	6,15	903
4,40	1870	6,20	887
4,45	1830	6,25	871
4,50	1790	6,30	855
4,55	1740	6,35	840
4,60	1700	6,40	825
4,65	1670	6,45	810
4,70	1630	6,50	796
4,75	1590		

Приложение к работе 2.

Данные испытаний твердости по Роквеллу

Металл	Содержание углерода в %	Индентор	Нагрузка, <i>H</i>	Твердость по Роквеллу, <i>HRC</i>		
				Измерение <i>HRC</i> ₁	Измерение <i>HRC</i> ₂	Измерение <i>HRC</i> ₃
Ст 35	См. приложение Г	Алмазный конус	1500	8	8,2	8,1
Ст 40	См. приложение Г	Алмазный конус	1500	12	11,9	12,1
Ст 45	См. приложение Г	Алмазный конус	1500	17	17,2	17,1

Приложение Б

Таблица сопоставления единиц твердости (выборка)

<i>HV</i>	<i>HB</i>	<i>HRA</i>	<i>HRB</i>	<i>HRC</i>
2263	-	90	-	-
2044	-	89	-	-
1839	-	88	-	-
1648	-	87	-	-
1486	-	86	-	-
1346	-	86	-	-
1224	7800*	84	-	72*
1116	7450*	83	-	70*
1022	7120*	82	-	68*
941	6820*	81	-	66
868	6530*	80	-	64
804	6270*	79	-	62

746	6010*	78	-	60
694	5780*	78	-	58
650	5550*	77	-	56
606	5340*	76	-	54
587	5140*	75	-	52
551	4950*	74	-	50
534	4770*	74	-	49
502	4610*	73	-	48
474	4440*	73	-	46
460	4290*	72	-	45
435	4150	72	-	43
423	4010	71	-	42
401	3880	71	-	41
390	3750	70	-	40
380	3630	70	-	39
361	3520	69*	-	38
344	3410	68*	-	36
334	3310	67*	-	35
322	3210	67*	-	33
311	3110	66*	-	32
302	3020	66*	-	31
293	2930	65*	-	30
285	2850	65*	-	29
277	2770	64*	-	28
269	2690	64*	-	27

Приложение В

Исходные данные к контрольному заданию

Номер варианта	Сталь		Содержание углерода в белом чугуна	Номер варианта	Сталь		Содержание углерода в белом чугуна
	марка	ГОСТ			марка	ГОСТ	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ст0	380-2005	2,25	37	У8ГА	1435-99	3,65
2	Ст1кп	То же	2,30	38	У9А	То же	3,70
3	Ст1пс	- « -	2,35	39	У10А	- « -	3,75
4	Ст1сп	- « -	2,40	40	У12А	- « -	3,80
5	Ст2кп	- « -	2,45	41	05кп	1050-88	3,85
6	Ст2пс	- « -	2,50	42	08кп	То же	3,90
7	Ст2сп	- « -	2,55	43	08пс	- « -	3,95
8	Ст3кп	- « -	2,60	44	08	- « -	4,00
9	Ст3пс	- « -	2,65	45	10кп	- « -	4,05
10	Ст3сп	- « -	2,70	46	10пс	- « -	4,10
11	Ст3Гпс	- « -	2,75	47	10	- « -	4,15
12	Ст3Гсп	- « -	2,80	48	11кп	- « -	4,20
13	Ст4кп	- « -	2,85	49	15кп	- « -	4,25
14	Ст4пс	- « -	2,90	50	15пс	- « -	4,30
15	Ст4сп	- « -	2,95	51	15	- « -	4,35
16	Ст5пс	- « -	3,00	52	18кп	- « -	4,40
17	Ст5сп	- « -	3,05	53	20кп	- « -	4,45
18	Ст5Гпс	- « -	3,10	54	20пс	- « -	4,50
19	Ст6пс	- « -	3,15	55	20	- « -	4,55
20	Ст6сп	- « -	3,20	56	25	- « -	4,60
21	У7	1435-99	3,25	57	30	- « -	4,65
22	У8	То же	3,30	58	35	- « -	4,70
23	У8Г	- « -	3,35	59	40	- « -	4,75

24	У9	- « -	3,40	60	45	- « -	4,80
25	У10	- « -	3,45	61	50	- « -	4,85
26	У12	- « -	3,50	62	55	- « -	4,90
27	У7А	- « -	3,55	63	58 (55mm)	- « -	4,95
28	У8А	- « -	3,60	64	60	- « -	5,00
29	15Г	4543-71	5,05	65	15Л	977-88	5,80
30	20Г	То же	5,10	66	20Л	То же	5,85
31	25Г	- « -	5,15	67	25Л	- « -	5,90
32	30Г	- « -	5,20	68	30Л	- « -	5,95
33	35Г	- « -	5,25	69	35Л	- « -	6,00
34	40Г	- « -	5,30	70	40Л	- « -	6,05
35	45Г	- « -	5,35	71	45Л	- « -	6,10
36	50Г	- « -	5,40	72	50Л	- « -	6,15

Приложение Г

Химический состав и примерное назначение некоторых марок сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %		Примерное назначение
	углерода	марганца	
1	2	3	4
Сталь углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050 – 88)			
0,5кп	≤ 0,06	≤ 0,40	Тонкие листы для штамповки в холодном состоянии, детали кузовов и кабин, кожухи системы охлаждения, капоты, змеевики, прокладки, шайбы, глушители, гайки, шурупы и др.
0,8кп	0,05-0,12	0,25-0,50	
08пс	0,05-0,11	0,35-0,65	
08	0,05-0,12	0,35-0,65	
10кп	0,07-0,14	0,25-0,50	
10пс, 10	0,07-0,14	0,35-0,65	

11кп	0,05-0,12	0,30-0,50	
15кп	0,12-0,19	0,25-0,50	Корпусы букс для подшипников скольжения и роликовых, предохранитель замка и валик подъёмника автосцепки, корпус автосцепки, тормозные башмаки, трубы карданных передач, вилки переключения передач, поршневые пальцы и др.
15пс,15	0,12-0,19	0,35-0,65	
20кп	0,17-0,24	0,25-0,50	
20пс, 20	0,17-0,24	0,35-0,65	
25	0,22-0,30	0,50-0,80	Колёсные центры, головки шатунов, центры зубчатых колёс, корпуса букс, остовы электродвигателей, муфты, валики, упорные и установочные кольца, вкладыши подшипников и др.
30	0,27-0,35	0,50-0,80	Полуоси задних мостов, фланцы и вилки карданные, оси, болты, шпильки, шестерни, серьги, цилиндры прессов, поршневые и золотниковые штоки, тяги и др.
35	0,32-0,40	0,50-0,80	
40	0,37-0,45	0,50-0,80	Коленчатые валы, распределительные валы двигателей и компрессоров, штоки, шатуны и головки шатунов, колёса зубчатых передач, шестерни, роторы, оси, поршневые пальцы, ведомые диски сцепления, опорные катки, пальцы звеньев гусениц и др.
45	0,42-0,50	0,50-0,80	
50	0,47-0,55	0,50-0,80	
55	0,52-0,60	0,50-0,80	Цилиндрические и конические пружины, пружинные кольца и шайбы, фрикционные диски, амортизаторы, цанги, тормозные барабаны и ленты, лопатки вентиляторов и др.
58(55пп)	0,55-0,63	≤ 0,20	
60	0,57-0,65	0,50-0,80	
Сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380-20050)			
Ст0	≤ 0,023	-	Шайбы, прокладки, заклёпки, гвозди и др.
Ст1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	

Ст1пс	0,06-0,12	0,25-0,50	
Ст1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	

Продолжение прил. Г

1	2	3	4
Ст2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	Трубы, заклёпки, стяжки, цементируемые и цианируемые детали и др.
Ст2пс	0,09-0,15	0,25-0,50	
Ст2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	
Ст3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	Рамы и кузова локомотивов, вагонов, путевых и дорожных строительных машин, подъёмно-транспортных механизмов, тормозные рычаги и тяги, цементируемые и цианируемые детали и др.
Ст3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	
Ст3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	
Ст3Гпс	0,14-0,22	0,80-1,10	
Ст3Гсп	0,14-0,20	0,80-1,10	
Ст4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	Валики, пальцы гусеничных траков, соединительные муфты и др.
Ст4пс	0,18-0,27	0,40-0,70	
Ст4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	
Ст5пс	0,28-0,37	0,50-0,80	Оси, валы электродвигателей и редукторов, цилиндры прессов, валики под листовые рессоры, шатуны, шестерни, коллекторные болты, серьги, люлочные подвески и др.
Ст5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	
Ст5Гпс	0,22-0,30	0,80-1,20	
Ст6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	Шатуны, шестерни, штоки.
Ст6сп	0,38-0,49	0,50-0,80	
Сталь инструментальная нелегированная (ГОСТ 1435-99)			
У7	0,65-0,74	0,17-0,33	Стамески, долота, топоры, зубила, обжимки, бойки, кузнечные штампы, слесарно-монтажные инструмент и др.
У7А	0,65-0,74	0,17-0,28	

У8	0,75-0,84	0,17-0,33	Инструмент для обработки дерева: фрезы, зенковки, продольные и дисковые пилы, стамески, долота; накатные ролики, обжимки для заклёпок, бородки, клейма, пассатижи и др.
У8А	0,75-0,84	0,17-0,28	
У8Г, У8ГА	0,80-0,90	0,33-0,58	
У9	0,85-0,94	0,17-0,33	Инструмент для обработки дерева, слесарно-монтажный инструмент, калибры простой формы и др.
У9А	0,85-0,94	0,17-0,28	
У10	0,95-1,09	0,17-0,33	Инструмент для обработки дерева: пилы ручные и машинные, свёрла спиральные; штампы для холодной штамповки, калибры, накатные ролики, шаберы и др.
У10А	0,95-1,09	0,17-0,28	
У12	1,10-1,29	0,17-0,33	Метчики ручные, напильники, шаберы, штампы, калибры, хирургический или гравированный инструмент, бритвенные ножи и лезвия и др.
У12А	1,10-1,29	0,17-0,28	

Приложение к работе 5.

Расшифруйте марки углеродистых сталей

№ варианта	Марки сталей
1	БСт1кп, 30Г, У8А
2	Ст1кп, У8А, 45Г
3	ВСт5сп, 08пс, У12А
4	05кп, БСт3кп, У7
5	10кп, БСт2, У8ГА
6	Ст2пс, У12А, 45Г
7	15пс, Ст5Гпс, У12А
8	БСт4, 08кп, Ст5Гпс
9	ВСт3, У12Г, Ст3Гпс
10	65Г, Ст3кп, У10А

11	ВСт3, 45Г, У8ГА
12	Ст1кп, У7А, 45Г
13	БСт4сп, 08сп, У8А
14	05сп, Ст3пс, У12Г
15	У7А, Ст2сп, 20Г
16	Ст3кп, 08кп, У9А
17	Ст5Гпс, У8А, 20кп
18	15кп, Ст6пс, У8ГА
19	Ст6пс, 55сп, У9А
20	У7, Ст1кп, 20пс
21	Ст1сп, 08кп, У8ГА
22	У10А, Ст1пс, 10пс
23	Ст3пс, 20пс, У8Г
24	10кп, БСт2пс, У12А

Приложение к работе 6

Расшифруйте марки чугунов

№ варианта	Марки чугунов	№ варианта	Марки чугунов
1.	КЧ34-12; СЧ35; ВЧ 35-6	11.	КЧ70-2; СЧ18; Вч42-12
2.	Вч42-12; СЧ25, КЧ 30-6	12.	ВЧ42-12; КЧ70-2; СЧ24
3.	СЧ20; КЧ 30-6, Вч42-12	13.	ВЧ45-6; СЧ25;КЧ 30-6
4.	СЧ15; КЧ 37-12, ВЧ 35-6	14.	ВЧ 35-6; СЧ35; КЧ 30-6
5.	ВЧ45-6; СЧ18, КЧ 50-5	15.	КЧ34-12; СЧ35; ВЧ 35-6
6.	СЧ35; КЧ70-2, ВЧ45-6	16.	Вч42-12; КЧ70-2; СЧ18
7.	КЧ 30-6; СЧ15, ВЧ 35-6	17.	Вч45-6; СЧ25; КЧ 55-4
8.	КЧ 37-12; СЧ 18, ВЧ 35-6	18.	СЧ35; КЧ70-2; ВЧ45-6

9.	СЧ25; ВЧ 35-6; КЧ 30-6	19.	СЧ25; ВЧ 35-6; КЧ 37-12
10.	ВЧ42-12; СЧ25; КЧ70-2	20.	КЧ 37-12; СЧ 18; ВЧ42-12

Приложение к работе 9

Расшифруйте марки легированных сталей:

№ варианта	Марки сталей
1.	20ХГР, 40ХФА
2.	60С2ХФА, 09Г2С
3.	38ХН3БА, 10Г2БД
4.	12Х18Н10Т, Р9
5.	Р9Ф5, 50ХСА.
6.	Х12М, 30ХН3
7.	Р18, Ст5Гпс, Х19Н9
8.	20Х2Н4А, Р6М3
9.	Р14Ф4, 60С2ХФА
10.	35ХН3МА, Р18
11.	Р18, 25ХН4ВА
12.	60С2ХФА, Р9К5
13.	70С2ХА, Р18
15.	30Х13, 3Х2В8Ф
16.	18Х2Н4ВА, Р18
17.	38ХН3ВА, Р6М3
18.	5ХНМ, 60С2ХФА
19.	40Х10С2М, Р9
20.	45Х22Н4М3, Р18
21.	31Х19Н9МВБТ, Р9К5

22.	ШХ15, 30ХН3А
23.	30ХН2МА, Р9
24.	14Г2АФ, Р18
25.	30ХГСА, Р9Ф5

Приложения к работе 11.

Приложение 1. Исходные данные к заданию 1.

Варианты	Размеры к чертежу, мм	Действительные размеры, мм
1	$30_{-0,1}^{+0,5}$; $30_{-0,3}^{+0,4}$; $30_{-0,3}^{+0,3}$; $30 \pm 0,1$; $30_{+0,2}^{+0,3}$; $30_{-0,5}^{-0,3}$	30,6; 30,5; 30,0; 29,8; 29,5; 29,4
2	$25_{-0,3}^{+0,4}$; $25_{-0,4}^{+0,3}$; $25 \pm 0,2$; $25_{+0,1}^{+0,2}$; $25_{-0,5}^{-0,4}$	24,5; 24,7; 24,8; 25,0; 25,4; 25,5
3	$20_{-0,2}^{+0,5}$; $20_{-0,2}^{+0,1}$; $20 \pm 0,3$; $20_{+0,2}^{+0,4}$; $20_{-0,5}^{-0,4}$	19,4; 19,5; 19,7; 20,0; 20,5; 20,7
4	$15_{-0,2}^{+0,3}$; $15_{-0,1}^{+0,2}$; $15 \pm 0,4$; $15_{+0,3}^{+0,5}$; $15_{-0,3}^{-0,1}$	15,6; 15,5; 15,3; 15,0; 14,7; 14,5
5	$10 \pm 0,2$; $10_{-0,3}^{-0,1}$; $10_{-0,1}^{+0,2}$; $10_{-0,1}^{+0,4}$; $10_{+0,2}^{+0,1}$	10,1; 10,5; 9,7; 10,0; 10,3; 9,9
6	$10_{-0,2}^{+0,1}$; $10_{-0,2}^{+0,2}$; $10_{-0,1}^{+0,4}$; $10 \pm 0,2$; $10_{-0,2}^{-0,1}$; $10_{-0,3}^{-0,1}$	9,9; 10,0; 9,7; 10,1; 10,3; 10,5
7	$14_{-0,3}^{+0,4}$; $14_{-0,5}^{+0,5}$; $14 \pm 0,5$; $14_{+0,2}^{+0,4}$; $14_{-0,5}^{-0,3}$	14,6; 14,5; 14,3; 14,0; 13,5; 13,3
8	$12_{-0,2}^{+0,3}$; $12_{-0,3}^{+0,3}$; $12 \pm 0,3$; $12_{-0,2}^{+0,3}$; $12_{-0,3}^{-0,2}$	11,6; 11,7; 12,0; 12,1; 12,3; 12,4
	$40_{-0,04}^{-0,03}$; $40_{-0,05}^{+0,02}$; $40_{+0,01}^{+0,07}$; $40_{-0,02}^{+0,05}$; $40 \pm 0,03$; 40	39,95; 39,98; 40,0; 40,06; 40,04; 40,02
10	$30_{+0,2}^{+0,3}$; $30_{-0,5}^{-0,3}$; $30_{-0,1}^{+0,5}$; $30_{+0,4}^{+0,5}$; $30_{-0,3}^{+0,4}$; $30_{-0,1}^{+0,1}$	29,5; 29,4; 30,6; 30,5; 30,0; 29,8

Приложение 2. Исходные данные к заданию 2.

Варианты	Размер к чертежу соединения деталей		Варианты	Размер к чертежу соединения деталей	
	1	25H8/d7		18N7/k6	6
2	15H7/g6	10 JS7/n6	7	90H7/f7	50 P7/s6
3	70 F8/h7	4P7/s6	8	15H8/d9	10K7/n6
4	90H8/d9	45K7/n6	9	35H9/e8	30N7/j6
5	5H7/e8	25P7/r7	10	25H8/g6	8P7/r6

Приложение 3. Предпочтительные поля допусков **отверстий для размеров от 1 до 180 мм (выборка из ГОСТ 25347–89)**

Интервалы номинальных размеров, мм	Квалитет 7				Квалитет 8		Квалитет 9		Квалитет 11	
	Поля допусков									
	H7	J _s 7	K7	N7	P7	F8	H8	E9	H9	H11
	Предельные отклонения, мкм									
От 1 до 3	+ 10	+ 5	0	- 4	- 6	+ 20	+ 14	+ 34	+ 25	+ 60
	0	- 5	- 10	- 14	- 16	+ 6	0	+ 19	0	0
Св. 3 до 6	+ 12	+ 6	+ 3	- 4	- 8	+ 28	+ 18	+ 50	+ 30	+ 75
	0	- 6	- 9	- 16	- 20	+ 10	0	+ 20	0	0
Св. 6 до 10	+ 15	+ 7	+ 5	- 4	- 9	+ 35	+ 22	+ 61	+ 36	+ 90
	0	- 7	- 10	- 19	- 24	+ 13	0	+ 25	0	0
Св. 10 до 18	+ 18	+ 9	+ 6	- 5	- 11	+ 43	+ 27	+ 75	+ 43	+ 110
	0	- 9	- 12	- 23	- 29	+ 16	0	+ 32	0	0

Св. 18 до 30	+ 21 0	+ 10 - 10	+ 6 - 15	- 7 - 28	- 14 - 35	+ 53 + 20	+ 33 0	+ 92 + 40	+ 52 0	+ 130 0
Св. 30 до 50	+ 25 0	+ 12 - 12	+ 7 - 18	- 8 - 33	- 17 - 42	+ 64 + 25	+ 39 0	+ 112 + 50	+ 62 0	+ 60 0
Св. 50 до 80	+ 30 0	+ 15 - 15	+ 9 - 21	- 9 - 39	- 21 - 51	+ 76 + 30	+ 46 0	+ 134 + 60	+ 74 0	+ 190 0
Св. 80 до 120	+ 35 0	+ 17 - 17	+ 10 - 25	- 10 - 45	- 24 - 59	+ 90 + 36	+ 54 0	+ 159 + 72	+ 87 0	+ 220 0
Св. 120 до 180	+ 40 0	+ 20 - 20	+ 12 - 28	- 12 - 52	- 28 - 68	+ 106 + 43	+ 63 0	+ 185 + 85	+ 100 0	+ 250 0

Приложение 4. Предпочтительные поля допусков **валов** для размеров от 1 до 315 мм (выборка из ГОСТ 25347-89)

Интервалы номинальных размеров, мм	Квалитет 6							Квалитет 7	Квалитет 8	Квалитет 9	Квалитет 11					
	Поля допусков															
	g6	h6	j6	k6	n6	p6	r6	s6	f7	h7	e8	h8	d9	h9	d11	h11
	Предельные отклонения, мкм															
От 1 до 3	-2	0	+3	+6	+10	+12	+16	+20	-6	0	-14	0	-20	0	-20	0
	-8	-6	-3	0	+4	+6	+10	+14	-16	-10	-28	-14	-45	-25	-80	-60
Св. 3 до 6	-4	0	+4	+9	+16	+20	+23	+27	-10	0	-20	0	-30	0	-30	0
	-12	-8	-4	+1	+8	+12	+15	+19	-22	-12	-38	-18	-60	-30	-105	-75
Св. 6 до 10	-5	0	+4,5	+10	+19	+24	+28	+32	-13	0	-25	0	-40	0	-40	0
	-14	-9	-4,5	+1	+10	+15	+19	+23	-28	-15	-47	-22	-76	-36	-130	-90
Св. 10 до 14	-6	0	+5,5	+12	+23	+29	+34	+39	-16	0	-32	0	-50	0	-50	0
	Св. 14 до 18	-17	-11	-5,5	+1	+12	+18	+23	+28	-34	-18	-59	-27	-93	-43	-160
Св. 18 до 24	-7	0	+6,5	+15	+28	+35	+41	+48	-20	0	-40	0	-65	0	-65	0
	Св. 24 до 30	-20	-13	-6,5	+2	+15	+22	+28	+35	-41	-21	-73	-33	-117	-52	-195
Св. 30 до 40	-9	0	+8	+18	+33	+42	+50	+59	-25	0	-50	0	-80	0	-80	0
	Св. 40 до 50	-25	-16	-8	+2	+17	+26	+34	+43	-50	-25	-89	-39	-142	-62	-240
Св. 50 до 65	-10	0	+9,5	+21	+39	+51	+60	+72	-30	0	-60	0	-100	0	-100	0
Св. 65 до 80							+41	+53								
Св. 65 до 80	-29	-19	-9,5	+2	+30	+32	+62	+78	-60	-30	-106	-46	-174	-74	-290	-190
Св. 80 до 100	-12	0	+11	+25	+45	+59	+73	+93	-36	0	-72	0	-120	0	-120	0
							Св. 100 до 120	+51								
Св. 100 до 120	-34	-22	-11	+3	+23	+37	+76	+101	-71	-35	-126	-54	-207	-87	-340	-220
Св. 120 до 140	-14	0	+12,5	+28	+52	+68	+88	+117	-43	0	-85	0	-145	0	-145	0
			Св. 140 до 160	+63	+92											
Св. 140 до 160	-39	-25	-12,5	+3	+27	+43	+63	+92	-83	-40	-148	-63	-245	-100	-395	-250

Св. 160 до 180								+90	+125								
								+65	+100								
Св. 280 до 315								+93	+133								
								+68	+108								