

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВПО РГУПС)**  
**Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта**  
**(ТТЖТ – филиал РГУПС)**

Л.Н. Чайкина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ**  
**ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

**Материаловедение**

**для специальности**

**13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)**

Тихорецк

2015



**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по  
учебной работе:

« 01 » 09 2015г.

Н.Ю. Шитикова

Методические рекомендации по проведению лабораторных работ учебной дисциплины Материаловедение разработаны для студентов очной и заочной формы обучения на основе федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 28 июля 2014г № 827.

Организация-разработчик: Образовательное учреждение среднего профессионального образования Тихорецкий техникум железнодорожного транспорта- филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования « Ростовский государственный университет путей сообщения»

Разработчик:

Л.Н. Чайкина, преподаватель ТТЖТ- филиала РГУПС

Рецензенты:

О.Г. Будченко, преподаватель ТТЖТ филиала РГУПС

Е.И. Орлова, технолог ПТО станции Тихорецкая

Рекомендованы цикловой комиссией № 6 «Общепрофессиональные дисциплины». Протокол заседания № 1 от 01.09 2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Лабораторная работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Лабораторная работа 2 .ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

Лабораторная работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ  
УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Лабораторная работа 4. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ  
ЧУГУНА

Лабораторная работа 5 .ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ  
ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Лабораторная работа 6.ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ  
ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Лабораторная работа 7.ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩИХ  
ИНСТРУМЕНТОВ

Лабораторная работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Практическая работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМ ОТЖИГА,ЗАКАЛКИ  
И ОТПУСКА СТАЛИ

Практическая работа 2.ВЫБОР МАРКИ МАТЕРИАЛА СПОСОБА  
ЕГО ОБРАБОТКИ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ДЕТАЛЕЙ.

Практическая работа 3. ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ  
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящее методическое пособие по проведению лабораторных работ рассчитано на студентов специальности среднего профессионального образования для специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) изучающих дисциплину «материаловедение». Целью лабораторных работ является практическое ознакомление с методикой проведения и приобретение навыков испытаний

Перед выполнением работ в лаборатории студенты должны ознакомиться с правилами техники безопасности. К выполнению лабораторной работы допускаются только подготовленные студенты, предварительно изучившие теоретический материал по учебнику и настоящему пособию. По окончании лабораторной работы каждый студент индивидуально оформляет отчет о проделанной работе, который должен содержать исчерпывающие текстовые и графические ответы на поставленные вопросы.

Работа считается выполненной после защиты ее у преподавателя.

Лабораторная работа 1  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ  
ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Усвоить понятие твердости, изучить сущность ее определения различными методами. Научиться самостоятельно измерять твердость наиболее распространенными методами.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Приборы Бринелля и Роквелла, образцы из горячекатаной и термически упрочненной углеродистой стали и цветных сплавов, эталонные бруски известной твердости.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под твердостью материала понимают его способность сопротивляться пластической или упругой деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

Этот вид механических испытаний не связан с разрушением металла и, кроме того, в большинстве случаев не требует приготовления специальных образцов.

Все методы измерения твердости можно разделить на две группы в зависимости от вида движения индентора: статические методы и динамические. Наибольшее распространение получили статические методы определения твердости.

Статическим методом измерения твердости называется такой, при котором индентор медленно и непрерывно вдавливаются в испытуемый металл с определенным усилием. К статическим методам относят следующие: измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу (рис. 1).

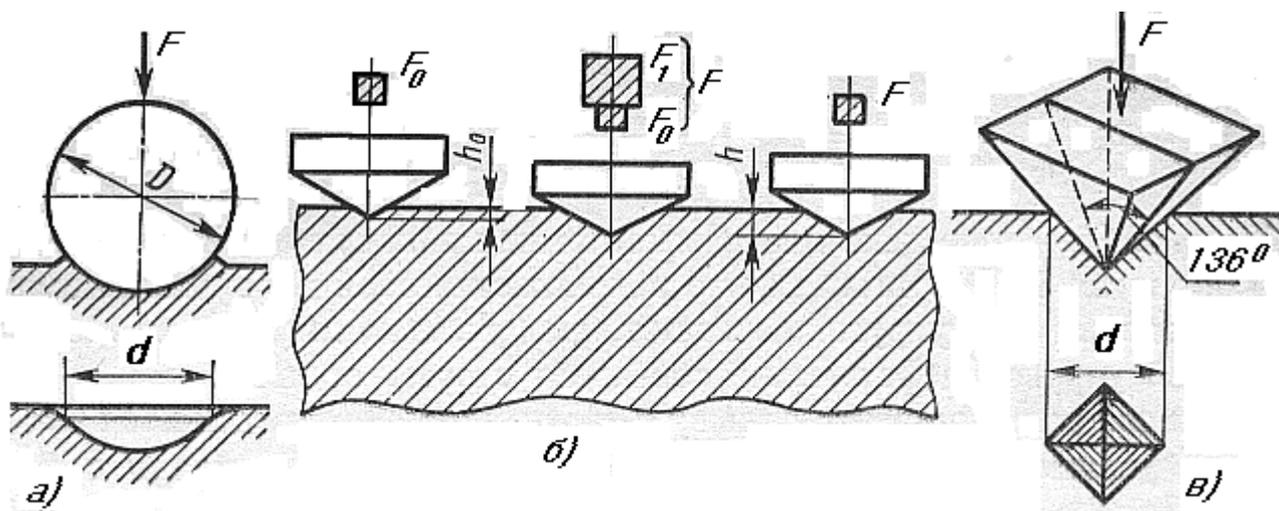


Рис. 1. Схема определения твердости:

а) по Бринеллю; б) по Роквеллу; в) по Виккерсу

При динамическом испытании контролируется величина отскока испытательного инструмента от поверхности испытываемого образца. К динамическим методам относят следующие: твердость по Шору, по Полюди.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ

Сущность метода заключается в том, что шарик (стальной или из твердого сплава) определенного диаметра под действием усилия, приложенного перпендикулярно поверхности образца, в течение определенного времени вдавливаются в испытуемый металл (рис. 1а). Величину твердости по Бринеллю определяют исходя из измерений диаметра отпечатка после снятия усилия.

При измерении твердости по Бринеллю применяются шарики (стальные или из твердого сплава) диаметром 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 мм.

При твердости металлов менее 450 единиц для измерения твердости применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава. При твердости металлов более 450 единиц - шарики из твердого сплава.

Величину твердости по Бринеллю рассчитывают как отношение усилия  $F$ , действующего на шарик, к площади поверхности сферического отпечатка  $A$ :

$$HB (HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

где НВ – твердость по Бринеллю при применении стального шарика;

(НВW твердость по Бринеллю при применении шарика из твердого сплава),  
МПа (кгс);

F – усилие, действующее на шарик, Н (кгс);

A – площадь поверхности сферического отпечатка, мм<sup>2</sup>;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Одинаковые результаты измерения твердости при различных размерах шариков получаются только в том случае, если отношения усилия к квадратам диаметров шариков остаются постоянными. Исходя из этого, усилие на шарик необходимо подбирать по следующей формуле:

$$F = K \cdot D^2 \quad (2)$$

Диаметр шарика D и соответствующее усилие F выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах:

$$0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D \quad (3)$$

Если отпечаток на образце получается меньше или больше допустимого значения d, то нужно увеличить или уменьшить усилие F и произвести испытание снова.

Коэффициент K имеет различное значение для металлов разных групп по твердости. Численное, же значение его должно быть таким, чтобы обеспечивалось выполнение требования, предъявляемого к размеру отпечатка (3).

Толщина образца должна не менее, чем в 8 раз превышать глубину отпечатка.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ

Подготовка образца, выбор условий испытания, получение отпечатка, измерение отпечатка и определение числа твердости производится в строгом соответствии ГОСТ 9012-59 (в редакции 1990 г.). Необходимые для замера

твердости значения выбираются из таблиц этого ГОСТа. Значение К выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 Испытание твердости по Бринеллю

Диаметр шарика D, мм	Прикладываемое усилие F, Н				
	$K=F/D^2$				
	30	10	5	2,5	1
10	29420	9807	4903	2452	980,7
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,5	153,2	61,3
1	294,2	98,1	49,0	24,5	9,81
Диапазон твердости НВ	55 – 650	35 – 200	<55	8 – 55	3 – 20
Измеряются	Сталь, чугун, медь и ее сплавы, легкие сплавы	Чугун, сплавы меди, легкие сплавы	Медь и ее сплавы, легкие сплавы	Легкие сплавы	Свинец, олово

Усилие, F в зависимости от значения К и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с табл. 1. Рекомендуемое время выдержки образца под нагрузкой для сталей составляет 10 с, для цветных сплавов 30 с (при К=10 и 30) или 60 с (при К=2.5). Данные замеров занести в протокол.

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Марка металла	D шарика, мм	F, Н (кгс)	Продол. выдержки, с	Диаметр отпечатка, мм		Среднее арифм., мм	НВ (НВW)
				d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>		

--	--	--	--	--	--	--	--

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

### ПО РОКВЕЛЛУ

Шкалу испытания (А, В или С) и соответствующие ей условия испытания (вид наконечника, общее усилие) выбирают в зависимости от предполагаемого интервала твердости испытуемого материала по табл. 2.

Таблица 2

Выбор нагрузки и наконечника для испытания твердости по Роквеллу

Примерная твердость по Виккерсу	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
60 – 240	В	Стальной шарик	100	HRB	25 – 100
240 – 900	С	Алмазный конус	150	HRC	20 – 67
390 – 900	А	То же	60	HRA	70 – 85

Измерение твердости по Роквеллу осуществляется в строгом соответствии ГОСТ 9013-59. Данные замеров занести в протокол.

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Марка металла	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Результаты измерения	Примечание

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.

3. Протокол испытаний твердости по методу Бринелля.
4. Протокол испытаний твердости по методу Роквелла.
5. Выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое твердость?
2. Классификация методов измерения твердости.
3. Сущность измерения твердости по Бринеллю.
4. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
5. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
6. Из каких условия выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Пример записи твердости по Бринеллю?
8. Сущность измерения твердости по Роквеллу?
9. При замере какой твердости снимается отсчет показаний по шкалам А, С, В?
10. Пример формы записи твердости по Роквеллу?

### Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой проведения испытания

### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Маятниковый копер, углеродистая конструкционная , углеродистая инструментальная сталь , измерительный инструмент

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ударная вязкость – механическая характеристика, определяемая как работа, затраченная на ударный излом образца с надрезом, отнесенная к площади поперечного сечения образца в месте надреза:

$$K_{CV} = A:S \text{ (Дж/м}^2\text{)} \quad (1)$$

Здесь  $A$  – работа, затраченная на излом образца (Дж);  $S$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза ( $\text{м}^2$ ).

Чем выше ударная вязкость материала, тем выше его способность сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. Для сталей, применяемых для изготовления деталей машин, работающих при динамических нагрузках, устанавливаются минимально допустимые значения ударной вязкости: не менее  $106 \text{ Дж/см}^2$ .

Ударная вязкость сильно зависит от формы и размеров образца, микроструктуры материала, формы надреза. Поэтому испытания на ударную вязкость необходимо проводить в строгом соответствии с требованиями ГОСТа.

Недостатком ударной вязкости, как характеристики прочности, является то, что ее нельзя использовать в расчетах на прочность.

Однако практическое значение этой характеристики достаточно велико. По температурной зависимости ударной вязкости оценивают склонность материала к хрупкому разрушению.

### 1. Маятниковый копер

Испытания на ударную вязкость (ударный изгиб) проводятся на маятниковых копрах (метод Шарпи). Общий вид копра показан на рис.3. Маятниковый копер состоит из станины с вертикальными стойками (1). В верхней части стоек на горизонтальной оси в шарикоподшипниках подвешен маятник. На конце маятника имеется груз в виде плоского стального диска с вырезом (2), служащим в качестве ударника (нож маятника). При помощи защелки маятник может быть установлен на определенной высоте. Высота подъема контролируется углом отклонения маятника от вертикальной оси, который измеряется

с помощью шкалы (3) со стрелкой. Внизу на уровне вертикально висящего маятника к стойкам станины прикреплены две стальные опоры, на которые помещают испытываемый образец (4). Под опорами между стойками проходит тормозной ремень (5), служащий для остановки качающегося маятника после испытаний. Тормозной ремень приводится в действие с помощью рычага (6)

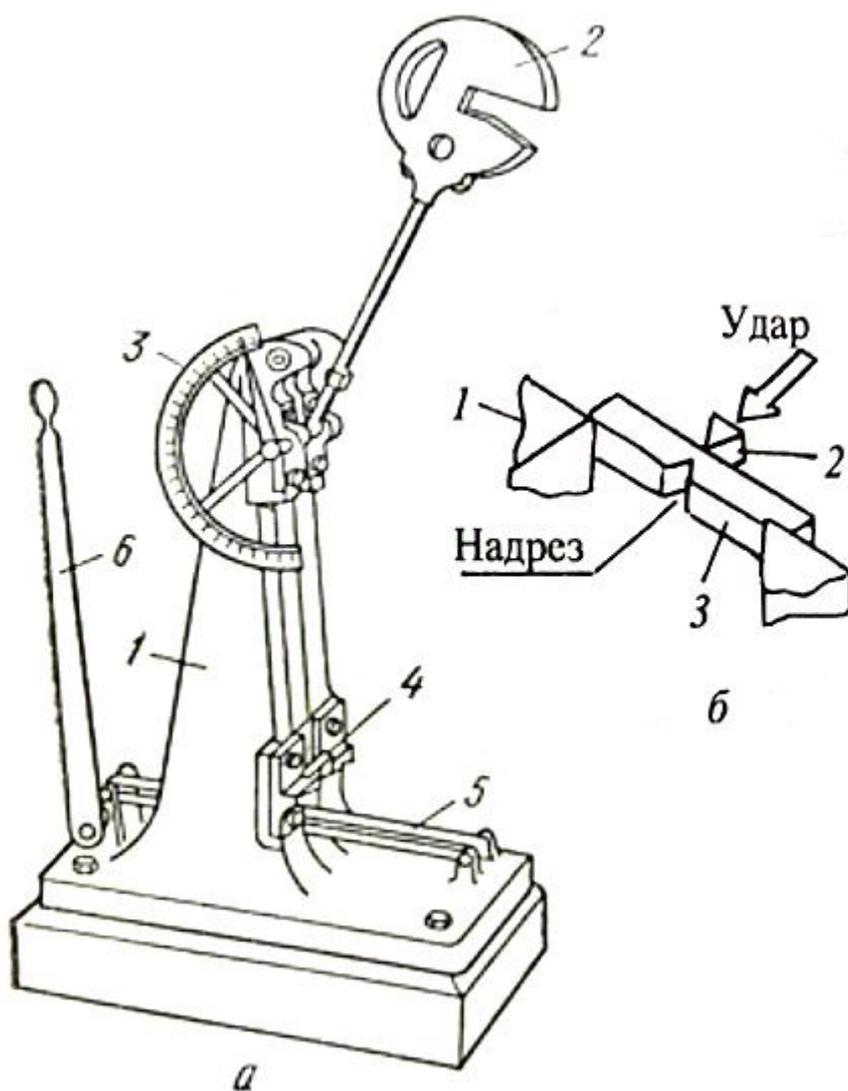


Рис. 3. Маятниковый копер

(а): 1– станина;

2– маятник;

3– шкала;

4– образец;

5– ремень ручного тормоза;

6 – рычаг ручного тормоза

схема установки образца;

схема установки образца

(б): 1–опоры;

2–нож маятника;

3 – образец с надрезом

#### Ход работы

Перед испытанием маятник поднимают вручную на определенную высоту, и фиксируют его в поднятом положении с помощью защелки. Угол подъема определяется по шкале со стрелкой, неподвижно закрепленной на оси маятника.

При освобождении защелки маятник свободно падает и, встречая на своем пути образец, разрушает его. Затем, пролетая дальше, маятник поднимается на некоторую высоту, определяемую углом взлета. Углы подъема и взлета определяют работу, затраченную на разрушение образца. Для измерения угла взлета служит вторая стрелка, насаженная на ось маятника свободно, но с некоторым трением.

Перед испытанием после подъема маятника на заданный угол обе стрелки совмещают. При взлете маятника вторая стрелка, достигнув максимального отклонения, остается неподвижной, фиксируя угол взлета. Остановка маятника при возвратных колебаниях производится тормозом 5 (рис. 2).

Образцы для испытаний на ударную вязкость. Согласно ГОСТ 9454–78 для определения ударной вязкости применяют стандартные образцы квадратного сечения 10.10 мм<sup>2</sup> длиной 55 мм с надрезами. Самыми распространенными являются образцы с U-образным и V-образным надрезами (рис. 2). Надрез играет роль концентратора напряжений; чем он острее, тем больше усиливается напряжение в месте надреза.

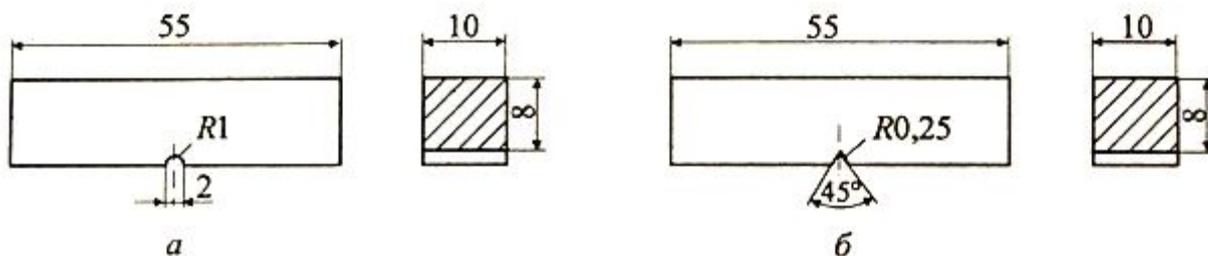


Рис. 3. Образцы для испытаний на ударную вязкость:

(а) – с U-образным надрезом; (б) – с V-образным надрезом

Испытываемый образец помещают на опоры симметрично относительно вертикальной оси таким образом, чтобы удар наносился со стороны, противоположной надрезу, в направлении, перпендикулярном оси образца (рис. 3б).

## 2. Вывод формулы для ударной вязкости

Для определения ударной вязкости необходимо найти работу  $A$ , затраченную на деформацию и разрушение образца [(см. формулу (1)]. Эта работа, без учета потерь на трение, будет равна разности потенциальных энергий маятника в исходном положении и после удара (рис. 3), т.е.

$$A_1 = mg (H_1 - H_2), \quad (2)$$

где  $mg$  – вес маятника;  $H_1$  и  $H_2$  – высота подъема маятника до удара и после удара, соответственно.

Выразим высоты  $H_1$  и  $H_2$  через длину маятника  $l$ , угол подъема  $\alpha$  и угол взлета  $\beta$

$$H_1 = l (1 - \cos\alpha) \text{ и } H_2 = l (1 - \cos\beta). \quad (3)$$

Подставляя значения  $H_1$  и  $H_2$  в выражение (2), получим

$$A_1 = mgl (\cos\beta - \cos\alpha). \quad (4)$$

Работа маятника, затраченная на трение в подшипниках и трение о воздух, будет равна

$$A_{тр} = mgl (\cos\beta_0 - \cos\alpha), \quad (6)$$

где угол  $\beta_0$  – угол взлета маятника при его свободном падении при отсутствии образца. За счет потерь на трение угол  $\beta_0$  должен быть несколько меньше начального угла  $\alpha$ .

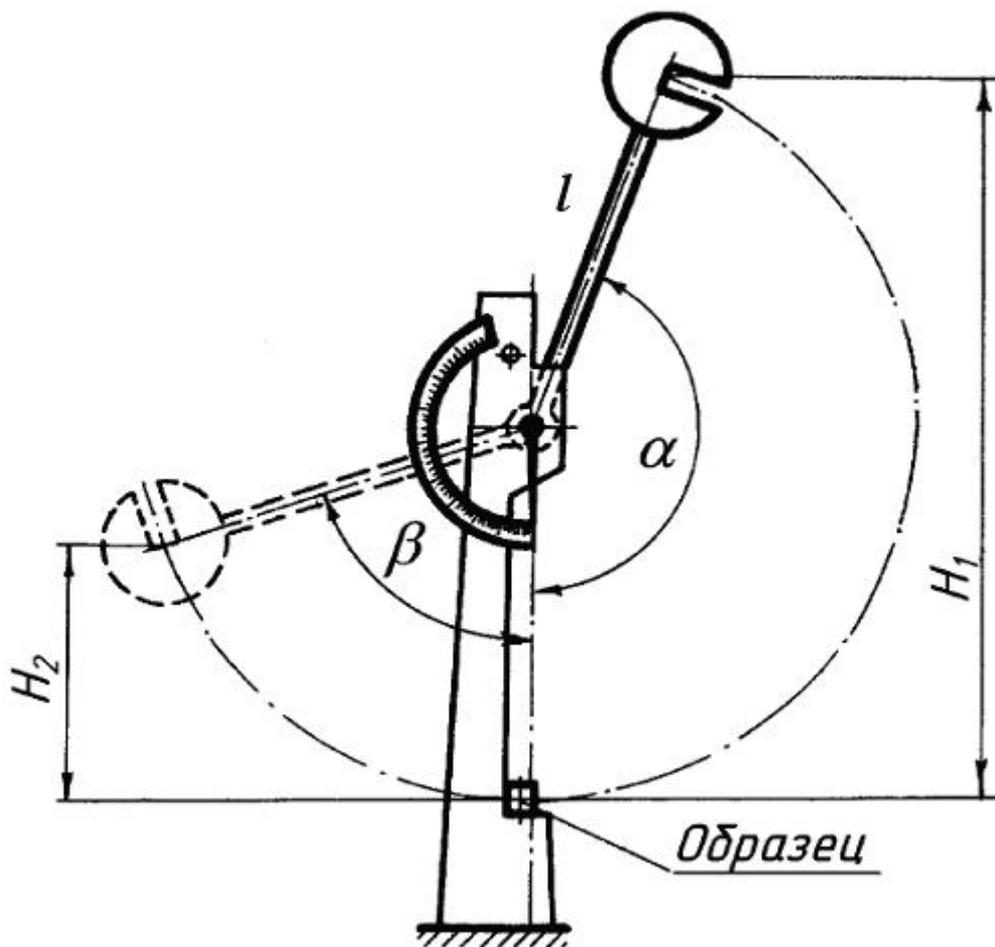


Рис. 4. Схема для определения ударной вязкости

В результате работа, затраченная только на излом образца, будет равна

$$A = A_1 - A_{тр} = mgl (\cos\beta - \cos\beta_0). \quad (7)$$

По определению, ударную вязкость равна работе, затраченной на ударный излом образца и отнесенной к площади поперечного сечения образца в месте надреза, т.е.  $(\cos \beta - \cos \alpha)$

$$KIC = \frac{mgl(\cos \beta - \cos \alpha)}{S} \quad (8)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Выражение (8) является рабочей формулой для расчета ударной вязкости материала. Размерность ударной вязкости: Дж/см<sup>2</sup> или Дж/м<sup>2</sup>.

Если испытываемый образец имеет U-образный или V-образный надрез (рис. 3), то ударная вязкость обозначается KCU или KCV, соответственно. В случае хрупких неметаллических материалов (например, органическое стекло, дерево) испытания проводят на образцах квадратного сечения без надреза, а ударная вязкость обозначается  $a$  (ГОСТ 4647-80 \_\_

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Протокол испытаний на ударную вязкость.
4. Чертеж и схема работы копра
5. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая цель лабораторной работы?
2. В каких случаях проводятся испытания на ударную вязкость?
3. Какие существуют методы определения работы удара?
4. Что такое удельная ударная вязкость?
5. В каких единицах измеряется удельная ударная вязкость?

6 В чем состоит принцип работы маятникового копра?

7 Какие материалы подвергаются испытаниям на ударную вязкость?

8 В чем сходство и различие статических и динамических испытаний?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение микроструктуры отожженных углеродистых сталей.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция шлифов сталей.
3. Альбом фотографий микроструктур углеродистых сталей.
4. Тренажер «Диграмма Fe – Fe<sub>3</sub>C».

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить содержание основных положений работы.
2. Разобраться с помощью тренажера со стальной частью диаграммы Fe – Fe<sub>3</sub>C.
3. Получить навыки определения под микроскопом элементов структуры стали:  
феррита, цементита, перлита, для чего:
  - а) рассмотреть фотографии микроструктур в альбоме;
  - б) рассмотреть под микроскопом подобранные шлифы для изучения структурных составляющих и зарисовать схемы рассмотренных структур.

4. Изучить микроструктуру трех-четырех образцов, относящихся к различным классам стали (доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные), определить к какому из названных классов относится каждый образец. Зарисовать схему микроструктуры рассмотренных образцов и обозначить на рисунках структурные составляющие.
5. В образце доэвтектоидной стали определить содержание углерода в %.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 5) сплавы, относящиеся к сталям, расположены в интервале концентраций углерода до 2,14 %, т.е. левее точки *E*. При температурах ниже 727 °С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз – феррита и цементита. **Феррит** – это твердый раствор углерода в железе с объемно-центрированной кубической решеткой ( $Fe_{\alpha}$ ). Максимальная растворимость углерода в  $Fe_{\alpha}$  составляет около 0,02 % (точка *P*). **Цементит** – это карбид железа  $Fe_3C$ , содержащий 6,67 % С.

При температурах выше линии *GSE* равновесной фазой является **аустенит** – твердый раствор углерода в железе с гранецентрированной кубической решеткой ( $Fe_{\gamma}$ ). Предельная растворимость углерода в  $Fe_{\gamma}$  – 2,14 % (точка *E*).

В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры: перлит, избыточный феррит, вторичный цементит и третичный цементит.

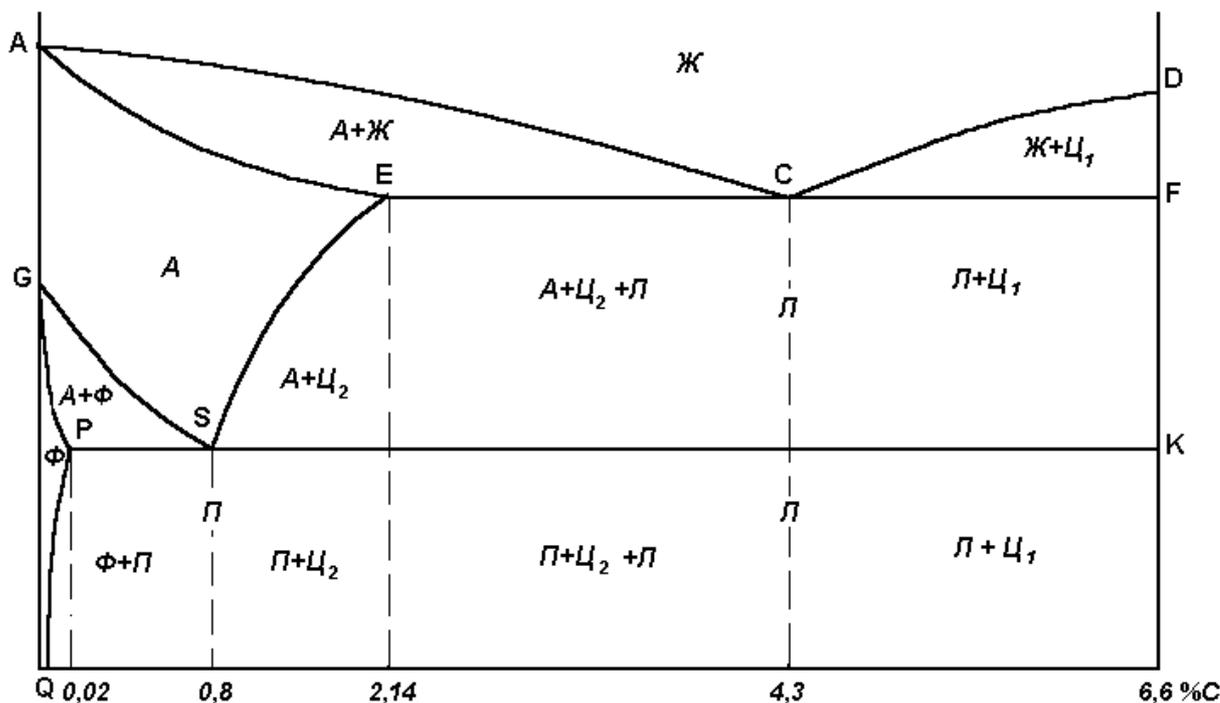


Рис. 5. Диаграмма Fe – Fe<sub>3</sub>C

На линии  $GS$  из аустенита начинает выделяться избыточный феррит, а на линии  $SE$  – вторичный цементит. На линии  $PQ$  из феррита выделяется третичный цементит. Во всех сплавах правее точки  $P$  при небольшом переохлаждении до температур ниже  $727^\circ\text{C}$  аустенит эвтектоидного состава ( $0,8\% \text{ C}$ ) распадается на эвтектоидную смесь феррита и цементита, называемую **перлитом**, причем цементит может быть в виде пластинок или зерен (Приложение, рис. 4).

Сталь, содержащую  $0,8\% \text{ C}$ , называют **эвтектоидной**. Стали, содержащие менее  $0,8\% \text{ C}$  называют **доэвтектоидными**, а более  $0,8\% \text{ C}$  – **заэвтектоидными**.

Металлографический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа, а наблюдаемая структура называется **микроструктурой**. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно

интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для металлографического анализа, называется *микрошлифом*. Для изготовления микрошлифа необходимо вырезать образец из исследуемого металла, получить на нем плоскую, блестящую поверхность, а затем шлиф травят. Существует несколько методов травления, из которых наиболее распространен метод избирательного растворения фаз. Метод основан на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа. Для травления микрошлиф погружают полированной поверхностью в раствор избранного состава и через некоторое время вынимают. Если полированная поверхность станет слегка матовой, травление считается законченным, шлиф сразу же промывают водой, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Микрошлифы сталей травят 3-4% раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте, после чего структурно свободные феррит и цементит по сравнению с темным (коричневатым) перлитом выглядят белыми.

При охлаждении доэвтектоидной стали из аустенита вначале выделяется феррит. Размер ферритных зерен в значительной степени зависит от скорости охлаждения аустенита. При рассмотрении в микроскоп феррит наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости (Приложение, рис. 1). По мере увеличения концентрации углерода в доэвтектоидной стали количество зерен феррита убывает (Приложение, рис. 2), а количество перлита увеличивается.

В сплавах, содержащих 0,5-0,75 % С зерна феррита располагаются по границам зерен другой структурной составляющей – перлита – в виде разорванной сетки (Приложение, рис. 3).

В доэвтектоидной стали перлит в большинстве случаев имеет пластинчатое строение. Темные пластинки, видимые в перлите, представляют

собой тени, отбрасываемые на участки феррита выступающими после травления участками цементита. Форма выделения перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига. Форма и размер частиц цементита в перлите существенно влияют на свойства стали. Так, например, зернистый перлит более пластичен и имеет меньшую твердость, чем пластинчатый. Твердость зернистого перлита 160-220 *HB*, а пластинчатого – 200-250 *HB*. С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Форма цементитных частиц влияет на обрабатываемость стали резанием. Доэвтектоидные стали хорошо обрабатываются резанием, если имеют структуру пластинчатого перлита, а эвтектоидные и заэвтектоидные – зернистого.

В заэвтектоидных сталях возможно выделение вторичного цементита в виде сетки по границам зерен перлита (Приложение, рис. 5). Это происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре и является значительным дефектом заэвтектоидной стали, ухудшает ее прочность и вязкость. Еще одной, но более редко встречающейся формой выделения цементита, также сильно ухудшающей механические свойства, является образование его в виде игл (вследствие значительного перегрева).

Итак, можно выделить четыре типа структур сталей.

Первый тип структуры – феррит и третичный цементит – наблюдается в низкоуглеродистых сталях, содержащих до 0,02 % С (т. *P*). Такие стали называются **техническим железом**.

Второй тип структуры – феррит и перлит – наблюдается в доэвтектоидных сталях, содержащих от 0,02 до 0,8 % С (т. *S*). Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ней перлита.

Третий тип структуры – перлит – наблюдается в эвтектоидной стали, содержащей 0,8 % С.

Четвертый тип структуры – вторичный цементит и перлит – наблюдается в заэвтектоидной стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % (т. *E*).

## Отличие доэвтектоидных сталей от заэвтектоидных по микроструктуре

В доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях имеется одна общая для обоих типов структур составляющая – перлит. Отличить при микроанализе до- и заэвтектоидные стали друг от друга можно только по избыточным выделениям: если в структуре находится избыточный феррит, то сталь доэвтектоидная, а если вторичный цементит, то сталь заэвтектоидная.

Имеются три металлографических способа отличить доэвтектоидные стали от заэвтектоидных.

а) При травлении раствором азотной кислоты избыточные феррит и цементит имеют светлый оттенок. Относительное весовое количество избыточного феррита в доэвтектоидных сталях может изменяться от 100 % (сталь состава точки *P*) до 0 % (сталь состава точки *S*). В то же время количество вторичного цементита в заэвтектоидных сталях может изменяться в узких пределах – от 0 % (сталь состава точки *S*) до 20 % (сталь состава точки *E*).

Таким образом, если в отожженной стали, наряду с темным перлитом, обнаруживается светлая составляющая, занимающая более 20 % всей площади поля шлифа, видимого в микроскоп, то эта составляющая является избыточным ферритом, и сталь, следовательно, доэвтектоидная.

б) Если относительное количество светлой составляющей меньше 20 %, или если при микроанализе трудно произвести количественную оценку, то эта светлая составляющая может оказаться как избыточным ферритом, так и вторичным цементитом. В этом случае следует использовать индикаторный травитель – горячий щелочной раствор пикрата натрия, который окрашивает цементит в темно-коричневый цвет, оставляя феррит светлым.

в) Если избыточная фаза занимает менее 20 % площади шлифа, протравленного азотной кислотой, то при наличии некоторого опыта можно

отличить вторичный цементит от избыточного феррита по форме и оттенку выделений.

Сетка избыточного феррита после отжига составлена из отдельных зерен, в то время как вторичный цементит на шлифе выявляется в виде почти непрерывной сетки. Сетка вторичного цементита выступает над перлитом в виде рельефа, так как твердый цементит после полировки слегка возвышается над более мягким и сильнее сползающимся перлитом. Вторичный цементит может выделяться из аустенита также в виде изолированных игл, как по границам, так и внутри колоний перлита. Наконец, цементит выглядит под микроскопом более светлым по сравнению с ферритом.

#### Металлографическое определение углерода в отожженных сталях

Если углеродистая сталь хорошо отожжена, т.е. приведена в равновесное состояние, то микроструктурным анализом можно определить содержание в ней углерода.

Такие определения фактически выполняют только для доэвтектоидных сталей, так как в заэвтектоидных сталях значительное изменение в содержании углерода мало и почти незаметно изменяет микроструктуру.

Углерод в доэвтектоидной стали распределен между избыточным ферритом и перлитом. В феррите содержатся тысячные доли процента углерода, которыми можно пренебречь и считать, что практически весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. В перлите содержится 0,8 % С. В доэвтектоидной стали на перлит приходится только часть сплава, и содержание углерода в весовых процентах пропорционально площади шлифа, занимаемой перлитом. Эта пропорция вытекает из примерного равенства удельных весов феррита и перлита; в противном случае по микроструктуре можно было бы судить только об объемном соотношении.

Содержание углерода в доэвтектоидной стали:

$$\% C = 0,8 \cdot F_{\text{П}} / 100,$$

где  $F_{\text{П}}$  – площадь, занятая перлитом (в %) в поле зрения микроскопа.

$F_{\text{П}}$  чаще всего оценивают на глаз. Такой метод может показаться слишком грубым; в действительности же он дает хорошие результаты. Если абсолютная ошибка в оценке площади, занимаемой перлитом, составляет 10 %, то абсолютная ошибка в определении содержания углерода составляет всего 0,08 %.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен включать следующие разделы:

1. Цель работы.
2. Основные положения по теме работы (кратко).
3. Описание отдельных стадий выполнения работы с указанием используемого оборудования, с необходимыми пояснениями, цифровыми данными, зарисовками микроструктур и их описаниями.
4. Анализ полученных результатов, выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое содержание углерода в эвтектоидной стали?
2. Какую кристаллическую решетку имеют  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железо?
3. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит?
4. Укажите название областей на стальной части диаграммы.
5. Какие процессы протекают в стали при ее охлаждении в области 727 °С?
6. Какое максимальное содержание углерода в аустените?
7. Какое максимальное содержание углерода в феррите?
8. Как влияет содержание углерода на свойства стали?

## ПРИЛОЖЕНИЕ



Рис.1

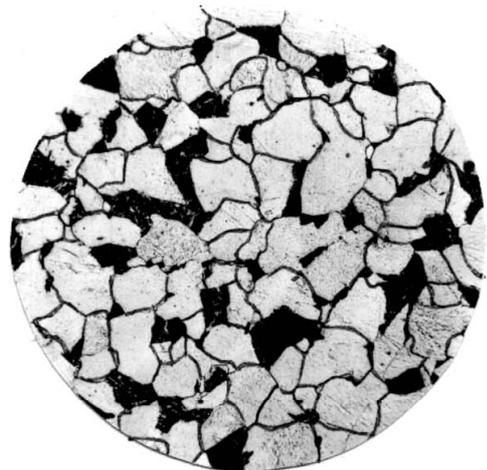


Рис.2

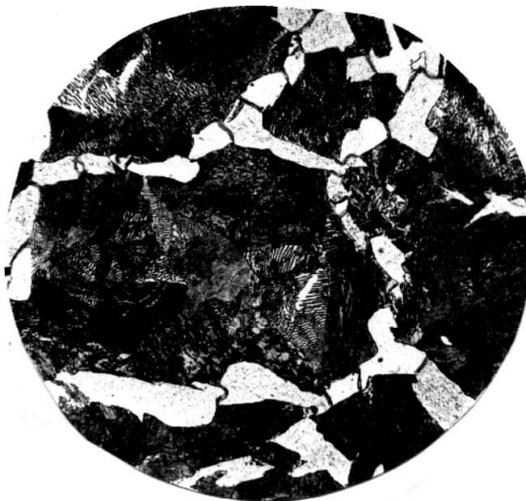


Рис.3



Рис.4



Рис.5

## Лабораторная работа 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить основные разновидности чугунов, их строение, свойства и маркировку.
2. Познакомиться с основами выбора марки чугуна для изготовления деталей машин, изделий.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Металлографические шлифы чугунов.
2. Металлографические микроскопы ММУ-3, МИМ-7 и т.п.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Прочитайте внимательно основные сведения по теме работы и разберитесь с классификацией чугунов, их строением, свойствами, областью применения каждой группы материалов.
2. Изучите чугунную часть диаграммы железо-углерод.
3. Изучите под микроскопом металлографические шлифы чугунов и зарисуйте их структуры. На рисунках обозначьте все структурные составляющие и определите, к какой группе относится каждый из изучаемых образцов чугуна.
4. Выполните 1-2 задания, данные преподавателем, по выбору материала для изготовления изделий.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Чугун** – это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода от 2,14 до 6 %. Кроме этих элементов, в чугуне содержится еще ряд примесей (кремний, марганец, сера, фосфор и др.). С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, такие как хром, никель, медь и др.

Чугун, по сравнению со сталью, имеет как преимущества, так и недостатки. Положительными свойствами этого материала являются: хорошие литейные свойства (более низкая, чем у стали, температура плавления, меньшая усадка, хорошая жидкотекучесть), хорошая обрабатываемость резанием (кроме одной разновидности – белого чугуна), достаточно высокая работоспособность в условиях трения, способность гасить вибрации, небольшая стоимость.

Недостатком чугуна являются его низкие пластические свойства и ударная вязкость, что препятствует использованию чугуна для изготовления деталей, работающих при значительных динамических, ударных нагрузках, и делает невозможным в большинстве случаев использование обработки давлением (ковки, штамповки, прокатки и т. д.) для изготовления чугунных изделий.

По структуре различают чугуны, в которых углерод находится в виде химического соединения с железом  $Fe_3C$  – цементита, и чугуны, в которых углерод, в основном, находится в свободном состоянии, в виде графита.

Первая разновидность называется **белым чугуном**. Структура белых чугунов описывается чугуновой частью диаграммы железо-углерод (рис. 6).

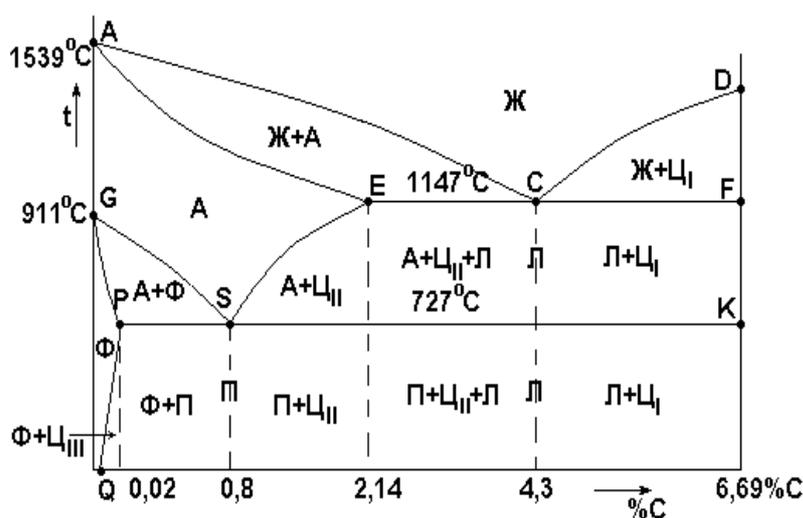


Рис. 6. Диаграмма железо-углерод:

Ж – жидкий раствор; А – аустенит (твердый раствор углерода в  $\gamma$ -Fe);

Ц – цементит ( $Fe_3C$ ); Ф – феррит (твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe);

П – перлит (эвтектоидная смесь феррита и цементита);

Л – ледебурит (эвтектическая смесь аустенита и цементита,  
ниже линии *PSK* – смесь перлита и цементита)

Согласно диаграмме, существует три разновидности белых чугунов: *дозэвтектический* со структурой перлит, ледебурит и вторичный цементит, *эвтектический* со структурой ледебурит и *заэвтектический* со структурой ледебурит и первичный цементит (рис. 7).

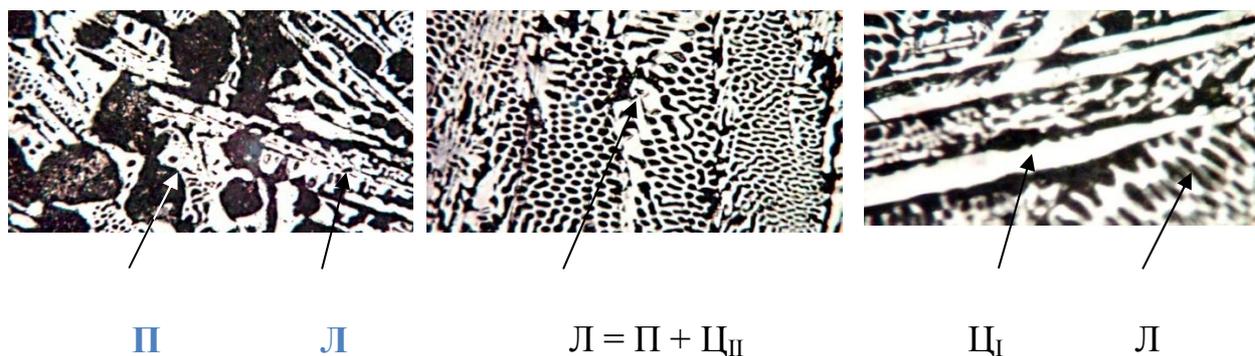


Рис. 7.

Получают белый чугун при ускоренном охлаждении в процессе отливки деталей, заготовок. Способствует также получению этой разновидности чугуна повышенное содержание в нем хрома, марганца. Структура белого чугуна определяет его механические свойства: это твердый хрупкий материал, имеющий предел прочности при растяжении  $\sigma_b = 100-400$  МПа (10-40 кг/мм<sup>2</sup>), твердость НВ 300-700 и относительное удлинение  $\delta = 0,1-0,2$  %. Вследствие низкой пластичности, белый чугун применяется очень редко, в основном, для изделий, работающих в условиях абразивного и гидроабразивного износа, когда его повышенная хрупкость не играет решающей роли.

В ряде случаев изготавливают детали с так называемой отбеленной поверхностью. Их поверхностный слой представляет собой белый чугун и имеет повышенную твердость и износостойкость, а сердцевина имеет структуру другой разновидности чугуна (с наличием графита), что

обеспечивает необходимый комплекс механических свойств. Примерами таких изделий с отбеленной поверхностью являются валки для холодной прокатки металла, шары для шаровых мельниц.

Чугуны, в которых углерод находится в свободном виде, классифицируют по форме графитовых включений:

**Серый чугун.** В нем содержится графит в виде пластинчатых включений.

1. **Ковкий чугун** с хлопьевидными включениями графита.
2. **Высокопрочный чугун**, в котором графит имеет шаровидную форму.

Металлическая основа этих чугунов может быть *перлитной*, *ферритной* или *феррито-перлитной*. рассматриваемых чугунов показаны на рис. 8.

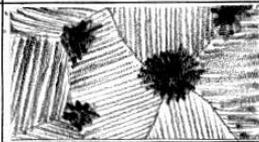
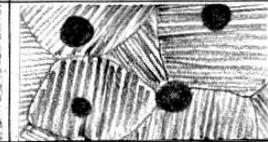
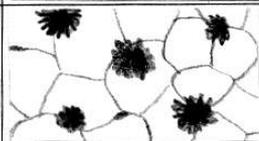
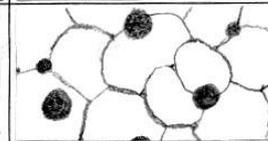
Структура металлической основы (твердость)	Тип чугуна и форма графита		
	Серый с пластинчатым графитом	Ковкий с хлопьевидным графитом	Высокопрочный с шаровидным графитом
Перлит (250 НВ)			
Перлит и феррит (200 НВ)			
Феррит (150 НВ)			
$\delta, \%$	0,2-0,5	5-10	10-15

Рис. 8.

Поскольку графитовые включения отрицательно сказываются на механических свойствах металла, особенно на пластичности, то чем менее разветвленную форму они имеют, тем меньше их отрицательное влияние. Самая неудачная, с точки зрения механических свойств, форма графита – пластинчатая (пластичность при этом самая низкая), а наиболее благоприятная – шаровидная форма включений, обеспечивающая максимальную пластичность

(рис. 3). Это связано с тем, что графитовые включения играют роль трещин, пустот в чугуне и являются концентраторами напряжений. Чем более компактную форму имеют эти включения, тем более «мягкий» получается концентратор напряжений и тем меньше снижение механических свойств металла за счет графита.

**Серый чугун** получают при медленном охлаждении металла при литье изделий, а также при повышенном содержании кремния, углерода. Обозначается он буквами СЧ, после которых ставится цифра, показывающая предел прочности при растяжении  $\sigma_B$  в кг/мм<sup>2</sup> (ГОСТ 1412-85). Например, СЧ12 ( $\sigma_B = 12$  кг/мм<sup>2</sup>). Применяется серый чугун для изготовления слабонагруженных деталей, работающих в легких условиях. *Например, корпуса редукторов, насосов, электродвигателей, различные крышки, отопительные батареи и т.п.*

**Ковкий чугун** получают из белого чугуна путем специального отжига. Это длительная термическая обработка, при которой белый чугун медленно нагревается до температур 950-1000 °С и после определенной выдержки медленно охлаждается. При таком отжиге происходит графитизация цементита белого чугуна с образованием хлопьевидных включений графита. Обозначается ковкий чугун буквами КЧ, после которых следуют цифры, показывающие предел прочности при растяжении  $\sigma_B$  в кг/мм<sup>2</sup> – первая цифра, и относительное удлинение  $\delta$  в % – вторая цифра (ГОСТ 1215 в редакции 1992 г.). Например, КЧ30-6 ( $\sigma_B = 30$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\delta = 6$  %). Применяется этот чугун для изготовления деталей, работающих в более тяжелых условиях по сравнению с деталями из серого чугуна - при повышенных нагрузках, при знакопеременных и небольших ударных нагрузках. *Например, картеры редукторов, коробок передач автомобилей, кронштейны рессор, различные крюки, фланцы и т.п.*

**Высокопрочный чугун** получают путем модифицирования его при выплавке магнием или церием в количестве 0,05 %. Модификаторы способствуют формированию шаровидных включений графита. Обозначаются высокопрочные чугуны буквами ВЧ и цифрой, показывающей предел прочности при растяжении  $\sigma_B$  (ГОСТ 7293-85). Например, ВЧ 40 ( $\delta_B = 40$

кг/мм<sup>2</sup>). Применяется высокопрочный чугун для изготовления ответственных деталей, работающих в довольно сложных условиях при повышенном нагружении. Например, коленчатые и распределительные валы легковых автомобилей, прокатные валки, корпуса турбин, детали кузнечно-прессового оборудования и др.

Представляет интерес использование чугунов для деталей, работающих в специфических условиях (агрессивные среды, высокие температуры и др.). Для этого в чугуны вводят легирующие элементы, способствующие повышению необходимых свойств. Такие чугуны называют **легируемыми** или чугунами специального назначения. Они дешевле легированных сталей и вследствие лучших литейных свойств оказываются предпочтительнее для получения отливок.

Таблица 3

Марки и механические свойства чугунов

Марка чугуна	$\sigma_B$ , МПа (кг/мм <sup>2</sup> )	$\delta$ , %	НВ
СЧ10	100 (10)	—	190
СЧ15	150 (15)	—	210
СЧ20	200 (20)	—	230
СЧ35	350 (35)	—	275
КЧ 30-6	300 (30)	6	100-163
КЧ 35-10	350 (35)	10	100-163
КЧ 45-7	450 (45)	7	150-207
КЧ 60-3	600 (60)	3	200-269
ВЧ 35	350 (35)	22	140-170
ВЧ 40	400 (40)	15	140-202
ВЧ 50	500 (50)	7	153-245
ВЧ 70	700 (70)	2	228-302

*Примечание:* Для серых чугунов толщина стенки отливки 15 мм, для ковких чугунов размер отливки 16 мм.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель работы.
2. Краткая характеристика основных видов чугунов, особенности их строения и свойств.
3. Диаграмма железо-углерод с подробным рассмотрением ее чугуновой части.
4. Рисунки структур чугунов, изученных под микроскопом, с подробными пояснениями структурных составляющих и типа чугуна.
5. Выбор материала для изделий по заданиям, данным преподавателем, с подробными пояснениями, анализом.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В какой последовательности проводится рассмотрение микрошлифа и изучение микроструктуры?
  2. Из каких химических элементов (компонентов) состоят чугуны?
  3. Что представляют собой феррит, цементит, перлит, ледебурит?
  4. Какие структурные классы имеют чугуны?
  5. Какую геометрическую форму имеют включения графита в чугунах ЧПГ, ВЧШГ, ЧХГ, ЧВГ?
9. Применение и механические свойства чугунов.

## Лабораторная работа 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться самостоятельно анализировать структуры и по виду определить структурные составляющие легированных сталей

#### ОБОРУДОВАНИЕ , МАТЕРИАЛЫ.

1. Фотография микроструктур изучаемых сталей.
2. Циркуль и линейка.
3. Металлографический микроскоп

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Легированные стали классифицируются по назначению, составу, количеству легирующих элементов и структуре.

В зависимости от назначения легированные стали делятся на:

- Конструкционные стали (цементируемые, улучшаемые, пружинно рессорные и др.), применяемые для изготовления деталей машин;
- Инструментальные стали, применяемые для изготовления режущего, измерительного и штампового инструмента;
- Стали с особыми свойствами, например, нержавеющие, жаропрочные жаростойкие и т.д.

Низкоуглеродистые стали (цементитные)

К низкоуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода до 0,25%, например, марок 15Г; 20Х; 18хГТ; 20х2Н4А и др.

Легированные низкоуглеродистые стали после отжига имеют структуру феррит + перлит, а так же после закалки малоуглеродистый мартенсит.

Установлено, что добавки азота вместе с нитридообразующими элементами способствует значительному измельчению зерна и повышению температуры начала роста зерна аустенита. Нитриды влияют на свойства стали также путём воздействия на кинетику превращения аустенита и на дисперсное твердение.

Высокая пластичность, мелкое зерно и особенно высокая температура его роста способствуют получению качественных сварных соединений листов толщиной от 20 мм - сталь с нитридами алюминия и до 100 мм (сталь с нитридами ванадия). Низколегированная сталь с нитридным упрочнением удовлетворительно деформируется в холодном и горячем состояниях. Сталь такого типа характеризуется высоким сопротивлением хрупкому разрушению и достаточно низким порогом хладно ломкости.

В настоящее время для изготовления различного рода сварных конструкций деталей и узлов используется большое число марок малоуглеродистых и

среднелегированных сталей, соответствующих ГОСТ 380-7.1; 5521-67; 6713-75; 1050-75; 19282-73, а также техническим условиям и отраслевым стандартам.

Согласно ГОСТ 19282-73, предусматривается выпуск 28 марок низколегированной стали, применяемой для сварных конструкций в промышленном и гражданском строительстве и машиностроении.

**Химический состав (%) некоторых цементуемых (низколегированных) сталей (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)**

Марка стали	Элементы				Другие элементы
	C	Mn	Cr	Ni	
20X	0,17-0,23	0,5-0,8	0,7-1,0	≤0,25	—
15XФ	0,12-0,18	0,4-0,7	0,8-1,1	≤0,25	0,06-0,12 V
12ХН2	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	1,5-1,9	—
12ХН3А	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	—
20X2H4A	0,16-0,22	0,3-0,6	1,25-1,65	3,25-3,65	—
18ХГТ	0,17-0,23	0,8-1,1	1,0-1,3	≤0,25	0,03-0,09 Ti
25ХГТ	0,22-0,29	0,8-1,1	1,0-1,3	≤0,25	0,03-0,09 Ti
18X2H4MA	0,14-0,20	0,25-0,55	1,35-1,65	4,0-4,4	0,3-0,4 Mo
20ХГНР	0,16-0,23	0,7-1,0	0,7-1,0	0,8-1,1	0,001-0,005B

*Цементуемые легированные стали* целесообразно применять для тяжело нагруженных деталей и в том числе для деталей, в которых необходимо иметь высокую твёрдость и вязкость поверхностного слоя и достаточно прочную сердцевину. В легированных цементуемых сталях, несмотря на небольшое содержание углерода, благодаря значительному количеству легирующих примесей, гораздо легче получить при термической обработке более высокую прочность и вязкость сердцевины из-за образования в ней структур бейнита или низкоуглеродистого мартенсита. Поэтому из них изготавливают ответственные детали.

*Стали хромистые (20Х), хромованадиевые (15ХФ), хромоникелевые (12ХН2).*

Их применяют для изготовления деталей небольших и средних размеров, работающих на износ при повышенных нагрузках (втулки, валики, оси, некоторые зубчатые колёса, кулачковые муфты, поршневые пальцы и др.).

*Стали хромоникелевые (12ХН3А, 20Х2Н4А), хромомарганцетитановые (18ХГТ, 25ХГТ), хромоникельмолибденовые (18Х2Н4МА).* Их применяют для деталей средних и больших размеров, работающих на износ при высоких нагрузках (зубчатые колёса, поршневые пальцы, оси, ролики и др.).

Хромоникелевые стали мало чувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются, но их применяют ограниченно из-за дефицитности никеля. Поэтому во всех случаях, когда нет крайней необходимости, хромоникелевые стали заменяют сталями без никеля.

Цементуемые хромомарганцетитановые стали (18ХГТ, 25ХГТ) являются заменителями хромоникелевых сталей. Преимуществом сталей 18ХГТ и 25ХГТ является их наследственная мелкозернистость (размер зерна №6-8). Это технологическое свойство позволяет значительно сократить общий технологический цикл обработки и закалывать детали из этих сталей непосредственно из цементационной (газовой) печи с предварительным подстуживанием.

Борсодержащие стали (20ХГНР). В конструкционные стали бор вводят в количестве от 0,001 до 0,005% (так называемое микролегирование). Бор повышает плотность слитка, устраняет дендритную структуру. Стали с бором легче обрабатываются при горячей пластической деформации, хорошо обрабатываются резанием.

### **Улучшаемые (среднелегированные) стали**

Эти стали называют улучшаемыми потому, что их часто подвергают улучшению—термической обработке, заключающейся в закалке и отпуске при высоких температурах. Улучшаемые стали должны иметь высокую прочность, пластичность, высокий предел выносливости, малую чувствительность к

отпускной хрупкости, должны хорошо прокаливаться. Химический состав некоторых улучшаемых сталей приведён в таблице:

**Химический состав (%) некоторых улучшаемых среднелегированных сталей (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)**

Марка стали	Элементы				Другие элементы
	C	Mn	Cr	Ni	
45X	0,41-0,49	0,5-0,8	0,8-1,1	≤0,25	—
30ХРА	0,27-0,33	0,5-0,8	1,0-1,3	≤0,25	0,001-0,005В
30ХГСА	0,28-0,34	0,8-1,1	0,8-1,1	≤0,25	0,9-1,2Si
45ХН	0,41-0,49	0,5-0,8	0,45-0,75	1,0-1,4	—
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,6-0,9	1,25-1,65	0,15-0,25Mo

**Хромистые стали (40X,45X).** Благодаря высокой прочности и достаточно хорошей прокаливаемости эти стали применяют для изготовления коленчатых валов, зубчатых колес, осей валиков, рычагов, втулок, болтов, гаек. Детали из этих сталей закаливают в масле с температуры 820-850<sup>0</sup>С. В зависимости от предъявляемых требований отпуск деталей проводят при различных температурах.

**Хромистые стали с 0,001-0,005% бора (30ХРА, 40ХР).** Они имеют повышенную прочность и прокаливаемость.

**Хромокремнемарганцевые стали (30ХГСА, 35ХГСА).** Эти стали, называемые хромансиль. Не содержат дефицитных легирующих элементов. Имеют высокие механические свойства. Хорошо свариваются и заменяют хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

**Хромоникелевые стали (40ХН, 45 ХН).** Они имеют после термической обработки высокую прочность и пластичность и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Прочность стали придает хром, а пластичность – никель. Хромоникелевые стали прокаливаются на очень большую глубину по

сравнению не только с углеродистыми, но и другими легированными сталями. Указанные стали применяют для изготовления ответственных сильно нагруженных деталей – для шестерен, валов и т.п.

**Хромоникельмбденовая сталь (40ХН2МА).** Эта сталь в улучшенном состоянии имеет высокую прочность при хорошей вязкости, высокую усталостную прочность, глубоко прокаливается; ее применяют для изготовления сильно нагруженных деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок. Улучшение проводят по режиму: закалка с  $850^{\circ}\text{C}$  в масле, отпуск при  $620^{\circ}\text{C}$ .

### **Пружинно–рессорные стали**

Пружинно-рессорные стали должны иметь особые свойства в связи с условиями работы пружин(цилиндрических, плоских) и рессор. Пружины и рессоры служат для смягчения толчков и ударов, действующих на конструкции в процессе работы, и поэтому основным требованием, предъявляемым к пружинно-рессорным сталям, является высокий предел упругости и выносливости. Этим условиям удовлетворяют углеродистые стали и стали, легированные такими элементами, которые повышают предел упругости. Такими элементами являются Si, Mn, Cr, V, W. Специфическим в термической обработке рессорных листов и пружин является применение после закалки отпуска при температуре  $400-500^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от стали). Это необходимо для получения наиболее высокого предела упругости, величина которого при более низкой или более высокой температуре отпуска получается недостаточной. Отпуск при температуре  $400-500^{\circ}\text{C}$  дает отношение  $\sigma_{\text{уп}}/\sigma_{\text{в}}$  приблизительно равное 0,8.

### **Химический состав (%) некоторых пружинно-рессорных сталей (ГОСТ 14959 – 69)**

Марка	Элементы	Другие
-------	----------	--------

стали	C	Si	Mn	элементы
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	$\leq 0,25\text{Cr}$
60С2	0,57-0,65	1,50-2,00	0,60-0,90	$\leq 0,30\text{Cr}$
50ХГ	0,46-0,54	0,17-0,37	0,70-1,00	0,90-1,20Cr
50ХФА	0,46-0,54	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10Cr 0,10-0,20V
65С2ВА	0,61-0,69	1,50-2,00	0,70-1,00	$\leq 0,30\text{Cr}$ 0,80-1,20W
60С2Н2А	0,56-0,64	1,40-1,80	0,40-0,70	$\leq 0,30\text{Cr}$ 1,40-1,70Ni
70С2ХА	0,65-0,75	1,40-1,70	0,40-0,60	0,20-0,40Cr

### **Шарикоподшипниковые стали**

Основной шарикоподшипниковой сталью является сталь ШХ15(0,95-1–1,05% С; 1,3–1,65 %Cr). Заэвтектоидное содержание в ней углерода и хром обеспечивают получение после закалки высокой равномерной твердости, устойчивости против истирания, необходимой прокаливаемости и достаточной вязкости.

На качество стали и срок службы подшипника вредно влияют карбидные ликвация, полосчатость и сетка. На физическую однородность стали вредно влияют неметаллические (сульфидные и оксидные) и газовые включения, макро- и микропористость.

Термическая обработка подшипниковой стали включает операции отжига, закалки и отпуска. Цель отжига—снизить твердость и получить структуру мелкозернистого перлита. Температура закалки 830-860<sup>0</sup>С, охлаждение в масле. Отпуск 150-160<sup>0</sup>С. Твердость после закалки и отпуска HRC62-65; структура—бесструктурный (скрытокристаллический) мартенсит с равномерно распределёнными мелкими избыточными карбидами.

Для изготовления деталей, крупногабаритных подшипников (диаметром более 400 мм.), работающих в тяжёлых условиях при больших ударных нагрузках, применяют цементуемую сталь 20Х2Н4А. Детали крупногабаритных подшипников (кольца, ролики), изготавливаемые из стали 20Х2Н4А, подвергают цементации при температуре 930-950<sup>0</sup>С в течение 50-170 часов с получением слоя глубиной 5-10мм.

### **Автоматные стали**

Автоматные стали отличаются от обыкновенных углеродистых конструкционных сталей повышенным содержанием серы и фосфора.

### **Химический состав (%) некоторых автоматных сталей (ГОСТ 1414-54)**

Марка стали Элементы

	С	Mn	Si	S	P
A12	0,08-0,16	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,20	0,08-0,15
A20	0,15-0,25	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,15	≤0,06
A30	0,25-0,35	0,70-1,00	0,15-0,35	0,08-0,15	≤0,06
A40Г	0,35-0,45	1,20-1,55	0,15-0,35	0,18-0,30	≤0,06

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием на металлорежущих станках. Это объясняется повышенным содержанием серы, которая образует большое количество включений сернистого марганца MnS, нарушающих сплошность металла, а также тем, что фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах. Поверхность обработанных деталей получается чистой и ровной. Стойкость режущего инструмента при обработке автоматных сталей повышается, а скорость резания допускается больше, чем при обработке обыкновенных углеродистых сталей.

Недостаток автоматных сталей—пониженная пластичность, особенно в поперечном направлении. Это связано с тем, что большое количество сернистых включений образует полосчатую структуру. Поэтому автоматные стали применяют для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств (крепежные детали, пальцы, втулки и т.п.).

Обрабатываемость улучшают также присадкой к стали небольшого количества свинца.

### **Высокомарганцовистая износостойкая сталь Г13Л**

Эта сталь, содержащая 1-1,4% С и 11–14 % Мп и относящаяся к аустенитному классу, имеет высокое сопротивление износу. Характерным для нее является то, что высокая износостойкость сочетается с высокой прочностью и низкой твердостью [ $\sigma \sim 1000 \text{ МН/м}^2 (100 \text{ кгс/мм}^2)$ , НВ~210] в противоположность закаленным инструментальным сталям, в которых сопротивление износу обусловлено высокой твердостью. Высокая износостойкость стали Г13Л объясняется упрочнением (наклепом) аустенита при пластической деформации в процессе работы, в результате которого он в поверхностном слое превращается в мартенсит. По мере износа этого слоя, мартенсит образуется в следующем слое и т.д. При повышенных давлениях, например при абразивном износе, эта сталь не имеет достаточно высокой износостойкости. Сталь Г13Л применяют для трамвайных стрелок, щек камнедробилок, козырьков ковшей, черпаков и т.п.

### **Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы**

*К жаростойким (окалиностойким)* относят стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550°C и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

При высокой температуре в условиях эксплуатации в среде нагретого воздуха, в продуктах сгорания топлива происходит окисление стали (газовая коррозия). На поверхности стали образуется сначала тонкая пленка окислов, которая с течением времени увеличивается и образуется окалина.

Способность стали сопротивляться окислению при высокой температуре называется жаростойкостью (окалиностойкость).

Жаростойкость принято характеризовать температурой начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде.

На интенсивность окисления влияет состав и строение окисной пленки. Если она пористая, окисление происходит интенсивно. Если плотная—окисление замедляется или даже совершенно прекращается.

Для получения плотной (защитной) окисной пленки сталь легируют хромом, также кремнием или алюминием. Степень жаростойкости зависит от количества находящегося в стали легирующего элемента. Так, например, сталь 15х5 с содержанием 4,5-6,0% хрома жаростойка до температуры 700°C, сталь 12х17 (17% Cr)—до 900°C, сталь 15х28 (28% Cr)—до 1100-1150°C (стали 12х17 и 15х28 являются также и нержавеющей). Еще более высокой жаростойкостью (1200°C) обладают сплавы на никелевой основе с хромом и алюминием, например, сплав ХН70Ю (26-29 % хрома; 2,8-3,5% алюминия). Структура стали на жаростойкость не влияет.

К жаропрочным относят стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

В отличие от прочности при нормальной (комнатной) температуре, прочность при высоких температурах, т.е. сопротивлении механическим нагрузкам при высоких температурах, называют жаропрочностью.

Характерным является, не только уменьшение прочности стали при высоких температурах, но и влияние на прочность стали при высоких температурах длительности действия приложенной нагрузки. В последнем случае под действием постоянной нагрузки сталь «ползет», поэтому данное явление

названо ползучестью. Итак, ползучесть—это деформация, непрерывно увеличивающаяся и завершающаяся разрушением под действием постоянной нагрузки при длительном воздействии температуры. Для углеродистых и легированных конструкционных сталей ползучесть наблюдается при температурах выше 350°C.

Ползучесть характеризуется пределом ползучести. Предел ползучести—это напряжение, вызывающее деформацию заданной величины (обычно от 0,1 до 1%) за определенный промежуток времени (100, 300, 500, 1000ч.) при заданной температуре.

Предел ползучести обозначает  $\sigma$  с тремя числовыми индексами: двумя нижними и одним верхним. Первый нижний индекс означает заданное удлинение в процентах, второй нижний индекс—заданное время испытания в часах, верхний индекс—температуру в С°. Например  $\sigma_{0,2}^{600}$ —предел ползучести при допуске на деформацию 0,2% за 300 ч испытания при температуре 600° С.

Кроме того, жаропрочность характеризуют пределом длительной прочности  $\sigma$ -напряжением, вызывающим разрушение при данной температуре за данный интервал времени. Например,  $\sigma_{100}^{700}$ —предел длительной прочности при сточасовом нагружении при 700°C.

Факторами, способствующими жаропрочности, являются: высокая температура плавления основного металла; наличие в сплаве твердого раствора и мелкодисперстных частиц упрочняющей фазы; пластическая деформация, вызывающая наклеп; высокая температура рекристаллизации; рациональное легирование; термическая и термомеханическая обработка; введение в жаропрочные стали таких элементов, как бор, церий, ниобий, церковний, в десятых, сотых и даже тысячных долях процента.

Жаропрочные стали и сплавы классифицируют по основному признаку—температуре эксплуатации. В таблице приведен химический состав некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Для работы при температурах до 350-400°C применяют обычные конструкционные стали (углеродистые и малолегированные )

Для работы при температуре 400-550°C применяют стали перлитного класса 15ХМ1МФ. Для этих сталей основной характеристикой является предел ползучести, так они предназначены главным образом для изготовления деталей котлов и турбин (например, трубы паропроводов и пароперегревателей), нагруженных сравнительно мало, но работающих длительное время (до 100000ч).

Детали из сталей перлитного класса подвергают нормализации с температуры 950-1050°C и от пуска при 650-750°C с получением структуры сорбита с пластической формой карбидов.

Эти стали содержат мало хрома и потому обладают невысокой жаростойкостью (до 550-600°C).

Для работы при температуре 500-600°C применяют стали мартенситного класса: высокохромистые, например 15Х11МФ для лопаток паровых турбин: хромокремнистые (называемые сильхромами), например 40Х9С2 для клапанов моторов: сложнолегированные, например 20Х12ВНМФ для дисков, роторов, валов.

Для получения оптимальной жаропрочности детали из этих сталей подвергают закалке в масле с температуры 100-150°C и от пуска при 700-800°C (в зависимости от стали). Сталь 40Х9С2 после закали имеет структуру мартенсита и твердость HRC~60, а после отпуска—структуру сорбита, твердость HRC~30. Жаростойкость сталей мартенситного класса до температуры 750-850°C.

Для работы при температуре 600-750°C применяют стали аустенитного класса, разделяемые на неупрочняемые (нестареющие) и упрочняемые (стареющие). Нестареющие стали—это, например, сталь 09Х14Н16Б, предназначенная для труб пароперегревателей и трубопроводов установок сверхвысокого давления и применяемая после закалки с 1100-1150°C (охлаждение в воде или на воздухе). Стареющие стали—это сложнолегированные стали, например 45Х4Н14В2М, применяемая для клапанов моторов, деталей трубопроводов, сталь 40Х15Н7Г7Ф2МС—для лопаток газовых турбин.

### Химический состав (%) некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Марка и класс стали	Элементы					Прочие элементы
	C	Cr	Ni	Mo	V	
15ХМ	0,11-	0,8-1,1	—	0,4-	—	—
Перлитный	0,18			0,55		
12Х1МФ	0,08-	0,9-1,2	—	0,25-	0,15-	—
	0,15			0,35	0,3	
15Х11МФ	0,12-	10-11,5	—	0,6-0,8	0,25-	—
Мартенситный	0,19				0,4	
40Х9С2	0,35-	8-10	—	—	—	2-3 Si
	0,45					
20Х12ВНМФ	0,17-	10,5-	0,5-	0,5-0,7	0,15-	0,5-0,9 Mn
	0,23	12,5	0,9		0,3	0,7-1,1 W
09Х14Н16Б	0,07-	13-15	14-17	—	—	1-2 Mn
Аустенитный	0,12					0,9-1,3 Nb
45Х14Р14В2М	0,4-0,5	13-15	13-15	0,25-	—	2-2,8% W
				0,4		
40Х15Н7Г7Ф2МС	0,38-	14-16	6-8	0,65-	1,5-1,9	0,9-1,4 Si
	0,47			0,95		6-8 Mn
ХН77ТЮР	≤0,07	19-22	Осн.	—	—	2,4-2,8 Ti
Сплав						0,6-1 Al
						≤0.01B
ХН55ВМТФКЮ	≤0,12	9-12	>	4-6,	0,2-0,8	1,4-2 Ti
						12-16 Co 4.5-6.5 W
						3.6-4.5 Al
						≤0.02 B

Детали из стареющих сталей подвергают закалке в воде, масле или на воздухе с температуры 1050-1200°C с последующим длительным (8-24ч) старением при температуре 600-800°C. При нагреве под закалку происходит растворение в твёрдом растворе (аустените) карбидов и других фаз, а после охлаждения получается однородный, пересыщенный твёрдый раствор (аустенит). При старении из пересыщенного твёрдого раствора (аустенита) выделяются высокодисперсные частицы карбидов и других фаз, упрочняющие сталь. Жаростойкость сталей аустенитного класса 800-850°C.

Для работы при 800-1100°C применяют жаропрочные сплавы на никелевой основе, например ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбин. Эти сплавы стареющие и подвергаются такой же термической обработке (закалке и старению), как и стареющие стали аустенитного класса. Жаростойкость сплавов на никелевой основе до 1200°C.

## ХОД РАБОТЫ

Ознакомились с целью, заданием и методическими указаниями к лабораторной работе. Установить нужное увеличение для стальных образцов. Пользуясь фотографиями микроструктур и схемами зарисовок проанализировать структурные составляющие легированных конструкционных сталей. Сделать их зарисовки.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Характеристику структур исследуемых сталей.
3. Зарисовки структур сталей.
4. Протокол с приложением структурных составляющих исследуемых образцов.
5. Выводы о работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется легированной сталью?
2. Какие требования предъявляются к конструкционным сталям?
3. Перечислите стали которые входят в разряд конструкционных?
4. Где применяются хромистые стали?
5. Какие стали называют быстрорежущими? Определите область их применения.
6. Расшифруйте следующие марки сталей: ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ, 40Х9С2, 30ХГСА.

### Лабораторная работа 6

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить классификацию, микроструктуру, свойства и назначение типовых цветных сплавов машиностроения

### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Металлографический микроскоп и коллекции микрошлифов.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К цветным относится обширная группа металлов следующих классов:

- *легкие* металлы являются основой сплавов для машиностроения, судостроения, самолетостроения. Это преимущественно алюминий и титан, реже магний;

- *легкоплавкие* металлы преимущественно используются для изготовления антифрикционных сплавов: это свинец, олово, цинк. Такие сплавы часто в виде тонкого слоя наносятся на рабочую поверхность стальной основы подшипников скольжения машин и механизмов;

- *редкоземельные* металлы применяются в качестве добавок к различным сплавам (сталям и др.) с целью улучшения их свойств;
- *благородные* металлы (золото, серебро, платина и др.) используются в электротехнике, электронике, радиотехнике;
- *урановые* металлы получили применение в атомной энергетике;
- *тугоплавкие* металлы (ниобий, тантал, молибден, вольфрам) применяются для изготовления изделий, работающих при особо высоких температурах до 1500...2000 °С.

Из цветных металлов наибольшее использование имеет *алюминий*, содержание которого в земной коре равно 8,8 %. Алюминиевые сплавы применяют для кузовов, рам, элементов дверей, радиаторов, колес автомобилей, блоков цилиндров, головок блоков, поршней двигателей внутреннего сгорания и других деталей машин.

Алюминиевые сплавы остаются одним из основных конструкционных материалов в производстве летательных аппаратов. Из них изготавливают элементы конструкций самолетов, воспринимающие действие механических сил: шпангоуты, лонжероны, нервюры и др. Сплавы в виде листов применяют для обшивки корпусов ракет и самолетов, изготовления топливных и масляных баков (сплав алюминий-магний, дуралюмин, алюминий - литиевые сплавы и др.). Поковки и штамповки получают из ковочных сплавов марок 1360 (АК6) и 1380 (АК8). В серийном производстве освоены новые алюминиевые сплавы, имеющие в два раза меньшее содержание вредных примесей и повышенное сопротивление к образованию трещин. Из этих сплавов промышленность производит листы длиной до 9 метров и плиты длиной до 25 метров.

Расширяется применение титановых сплавов преимущественно в судостроении и авиационной технике. Сплавы обычно получают способом вакуумно-дуговой плавки с расходуемым электродом. Выплавляемые титановые слитки имеют диаметр 500...800 мм, массу 5...8 тонн и далее подвергаются обработке давлением: ковке на молотах, прокатке на станах и др.

Основными видами деформируемых титановых полуфабрикатов являются поковки, штамповки, прутки, профили, трубы.

На основе алюминия, меди, магния, титана и некоторых других цветных металлов разработаны сплавы, перечень основных видов которых по государственным стандартам приведен в табл. 4

Таблица 4. Перечень основных разновидностей промышленных цветных материалов по государственным стандартам

№ ГОСТа	Наименование стандарта
493-79	Бронзы безоловянные литейные. Марки
613-79	Бронзы оловянные литейные. Марки
1320-74	Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия
1583-89Е	Сплавы алюминиевые литейные. Марки
2856-79	Сплавы магниевые литейные. Марки
4784-74	Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки
5017-74	Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки
14957-76	Сплавы магниевые деформируемые. Марки
15527-70	Сплавы медноцинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки
17711-80	Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки
18175-78	Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки
19807-91	Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки
28873-90	Сплавы на основе тяжелых цветных металлов, обрабатываемые давлением. Унифицированные марки.

Описание микроструктур цветных сплавов лабораторной коллекции шлифов дано в табл. 1, а схемы микроструктур приведены на рис. 14. Применяемые в современной технике цветные материалы на основе алюминия, меди, титана и других металлов подразделяются на деформируемые и литейные. Из *деформируемых сплавов* получают различными способами горячей и холодной обработки давлением кованные и штампованные заготовки,

прутки, листы и прочие полуфабрикаты. Основу их структуры составляют твердые растворы.

Детали из *литейных сплавов* не обрабатываются давлением и ставятся в конструкцию машин в литом состоянии в виде фасонных отливок. Для изготовления из них отливок они должны обладать хорошими литейными технологическими свойствами: высокой способностью жидких сплавов к заполнению полостей литейной формы (жидкотекучестью), малой усадкой, небольшой склонностью к образованию трещин и др.

Таблица 5. Перечень лабораторной коллекции микрошлифов цветных сплавов

№ шлифа	Наименование	Марка	ГОСТ	Химический состав, %	Обработка сплава	Структурные составляющие
42	Дуралюмин	1160	4784-74	Al-основа; 3,8...4,8Cu; 1,2...1,8Mg; 0,3...0,9Mn.	Отжиг	α-раствор и частицы интерметаллидов
43	Медно-цинковый сплав (латунь)	Л68	15527-70	Cu – основа 30-33 Zn	Холодная деформация и отжиг	Зерна α-раствора с двойнико-выми кристаллами (светлые и темные)
44	Титановый сплав	BT3-1	19807-91	Ti-основа; 5,5...7Al; 2...3Mo;1; 2...5Cr; 0,15...0,4 Si; 0,2...0,7 Fe.	Отжиг	α-раствор (светлый) и β-раствор (темный)

45	Силумин	АК12	1583-89Е	Al-основа; 10...13 Si	Литьё без модифицирования	Эвтектика ( $\alpha$ +Si) и крупные кристаллы Si.
46	Силумин	АК12	1583-89Е	Al-основа; 10...13 Si	Литьё с модифицированием	Дисперсная эвтектика ( $\alpha$ +Si) и $\alpha$ -раствора (светлый)
47	Магниевый сплав	МЛ5	2856-79	Mg – основа 7,5...9 Al; 0,2...0,8 Zn; 0,15...0,5 Mn.	Литьё и закалка	Перенасыщенный $\alpha$ -раствор и $Mg_4Al_3$
48	Бронза оловянная	БрО10 Ф1	-	Cu – основа 9...11 Sn; 0,8...1,2 P	Литьё	Дендриты $\alpha$ -раствора (темные), эвтектоид (светлый) и $Cu_3P$
49	Баббит	Б83	1320-74	Sn – основа; 10...12 Sb; 5,5...6,5 Cu	Литьё	$\alpha$ -раствор, светлые крупные кристаллы $\beta$ и мелкие $Cu_3Sn$

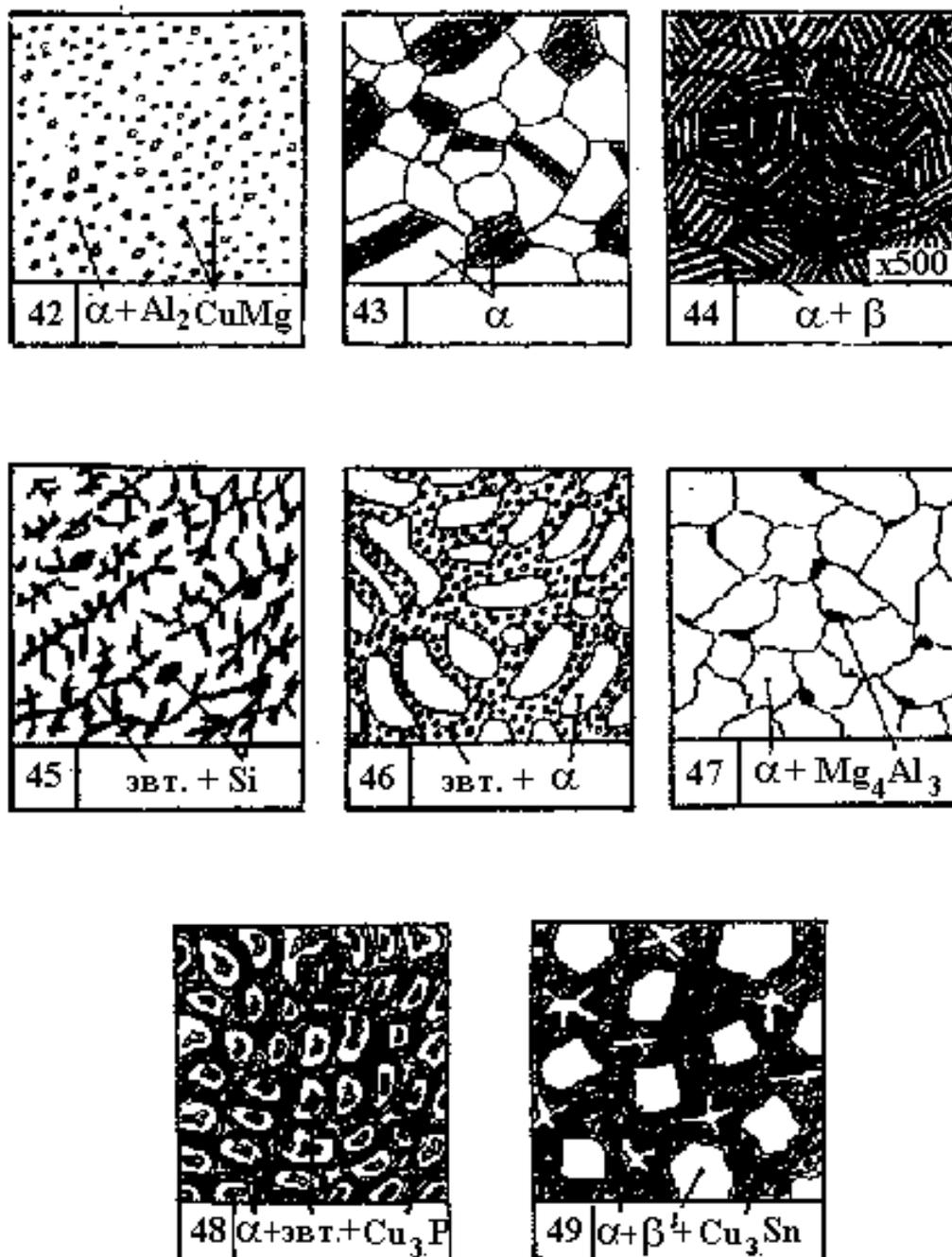


Рис. 9. Схемы микроструктур цветных сплавов.

Широкое использование получили материалы алюминий – медь – магний, дополнительно легированные марганцем (*дуралюмины*). В отожженном состоянии при содержании 3,8...4,8 % меди микроструктура дуралюминов состоит из  $\alpha$  - твердого раствора меди в алюминии и вторичных дисперсных включений интерметаллических соединений  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  (S-фазы).

Наиболее распространенными деформируемыми медными сплавами являются *медно-цинковые сплавы* (латуни). Двухкомпонентные сплавы медь-цинк при содержании до 39 % цинка имеют микроструктуру из одного  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди (латунь Л68). Микроструктура образца, подвергнутого холодной деформации и рекристаллизационному отжигу, состоит из равновесных зерен твердого раствора  $\alpha$ , имеющих вследствие анизотропии (зависимости свойств от направления) различный цвет от светлого до разных оттенков темного. Эти латуни применяются для получения ленты, трубок.

У латуней с содержанием 39...46 % цинка микроструктура состоит из зерен  $\alpha$  - твердого раствора и фазы  $\beta'$  (упорядоченный твердый раствор на основе соединения CuZn). Такие двухфазные латуни имеют повышенную прочность при пониженной пластичности и изготавливаются в виде прутков и других полуфабрикатов.

Большинство деформируемых промышленных *титановых сплавов* получают после отжига микроструктуры из  $\alpha$  - раствора или  $\alpha+\beta$  - растворов на основе титана. Твердый раствор  $\alpha$  на основе Ti $\alpha$  имеет гексагональную кристаллическую решетку,  $\beta$ - раствор на основе Ti $\beta$  - решетку объемно-центрированного куба. Титановые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, хорошей сопротивляемостью коррозии.

Широкое применение имеют литейные сплавы алюминий-кремний (*силумины*). У заэвтектического сплава микроструктура состоит из эвтектики и первичных более крупных кристаллов кремния, например, у силумина АК12. Эвтектика представляет собой смесь  $\alpha$  - твердого раствора кремния в алюминии и грубых игольчатых кристаллов кремния, играющих роль внутренних надрезов (концентраторов напряжения). При модифицировании жидкого силумина натрием в количестве 0,05...0,08 % эвтектика измельчается и состоит из  $\alpha$  раствора и мелких зерен кремния. Микроструктура модифицированного доэвтектического силумина имеет первичные светлые

дендриты твёрдого раствора  $\alpha$  и мелкозернистую эвтектику. Измельчение эвтектики и отсутствие в микроструктуре грубых кристаллов первичного хрупкого кремния позволяет несколько повысить прочность и пластичность силумина. Силумины применяют для изготовления фасонных отливок сложной формы.

Из литейных сплавов меди используются наиболее широко *бронзы*. Литая оловянная бронза с содержанием олова до 5...6 % имеет структуру  $\alpha$  - твёрдого раствора олова в меди с развитой дендритной ликвацией. Микроструктура литой бронзы, содержащей более 6 % олова, состоит из дендритов твёрдого раствора  $\alpha$  и извилистых светлых включений хрупкого эвтектоида (дисперсной смеси двух фаз:  $\alpha$  - раствора и  $\text{Cu}_3\text{Sn}_8$  ( $\delta$ -фазы)).

Оловянная бронза, раскисленная фосфором, дополнительно имеет в микроструктуре небольшие включения химического соединения  $\text{Cu}_3\text{P}$  светлого голубого цвета, например, бронза марки БрО10Ф1. Оловянные бронзы применяются для изготовления сложных по форме отливок, подшипников скольжения, арматуры.

Из *магниевых* литейных сплавов наиболее широко используются сплавы магний – алюминий – цинк, например, марки МЛ5. В литом состоянии микроструктура сплава МЛ5 состоит из  $\alpha$  -твёрдого раствора алюминия и цинка в магнии и включений хрупкого химического соединения  $\text{Mg}_4\text{Al}_3$ . Применение длительного нагрева отливок при 400 °С приводит к растворению части включений химического соединения в твёрдом растворе, что позволяет повысить пластические свойства. Охлаждение в воде даёт перенасыщенный  $\alpha$  -раствор с частицами  $\text{Mg}_4\text{Al}_3$  (закалка). Магниевые сплавы характеризуются небольшой плотностью (1,7 г/см<sup>3</sup>).

Для заливки вкладышей подшипников скольжения широкое применение получили сплавы олово – сурьма – медь, например, *оловянный баббит* Б83. Микроструктура баббита состоит из мягкого  $\alpha$  -твёрдого раствора сурьмы в олове и крупных светлых кристаллов упорядоченной  $\beta'$ -фазы на

основе химического соединения SnSb с высокой твердостью. Введение небольшого количества меди обеспечивает кристаллизацию в жидком растворе олова с сурьмой разветвленных дендритов ранее затвердевающего химического соединения  $Cu_{31}Sn_8$ , которые препятствуют ликвации в сплаве по плотности ("всплыванию") кристаллов  $\beta'$ - фазы.

Наличие в микроструктуре баббита мягкой, пластичной основы из раствора  $\alpha$  и включений кристаллов химических соединений с высокой твердостью обеспечивает сочетание прирабатываемости подшипника к валу с износостойкостью и небольшой коэффициент трения между валом и подшипником при наличии жидкостного трения.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Практическая часть работы заключается в изучении микроструктуры типовых цветных сплавов машиностроения: алюминиевых, медных, титановых, магниевых, баббита. Микроанализ проводится, как правило, при увеличении микроскопа  $\times 100$ . Студентам предоставляется лабораторная коллекция микрошлифов, подготовленных для анализа.

При изучении микроструктуры с помощью описания в табл. 5 и схем микроструктур (рис. 9) устанавливают, какие структурные составляющие имеет каждый образец, наименование и марку сплава, химический состав и обработку.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Итоги проведенной работы оформляют в отчете, который должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.
2. Оборудование, приборы и материалы, использованные при выполнении работы.

3. Теоретические положения: перечень классов цветных металлов; краткие сведения о типовых литейных и деформируемых цветных сплавах машиностроения.

4. Методика проведения работы и полученные результаты. Зарисовка схем микроструктур всех цветных сплавов коллекции шлифов; наименование сплава, марка, химический состав, обработка, структурные составляющие.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются цветные металлы?
2. Где применяются редкоземельные, благородные, урановые, тугоплавкие, легкие, легкоплавкие металлы?
3. Какие типичные цветные металлы используются в качестве основы для создания конструкционных материалов машиностроения?
4. Какие цветные металлы применяются в качестве основы для антифрикционных сплавов подшипников скольжения?
5. Какое применение находит алюминий и его сплавы в машиностроении?
6. Какие требования предъявляются к микроструктуре деформируемых и литейных цветных сплавов?
7. Какую микроструктуру должны иметь антифрикционные сплавы?
8. Что представляет собой твердый раствор  $\alpha$  в дуралюминах?

### Лабораторная работа 7

### ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с основными типами, назначением и элементами токарных резцов, научиться пользоваться приборами для измерения геометрических параметров резцов.

## ЗАДАНИЕ

1. Произвести измерение геометрических параметров предоставленных резцов.
2. Расшифровать марки материалов режущих пластин.
3. Определить области применения данных резцов.

### 1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка металлов резанием – это процесс снятия режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения необходимой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности детали.

В процессе обработки на заготовке различают: обрабатываемую поверхность, с которой срезается слой металла; обработанную поверхность, с которой слой металла срезан и превращён в стружку; поверхность резания, образованную главной режущей кромкой инструмента и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями (рис. 10).

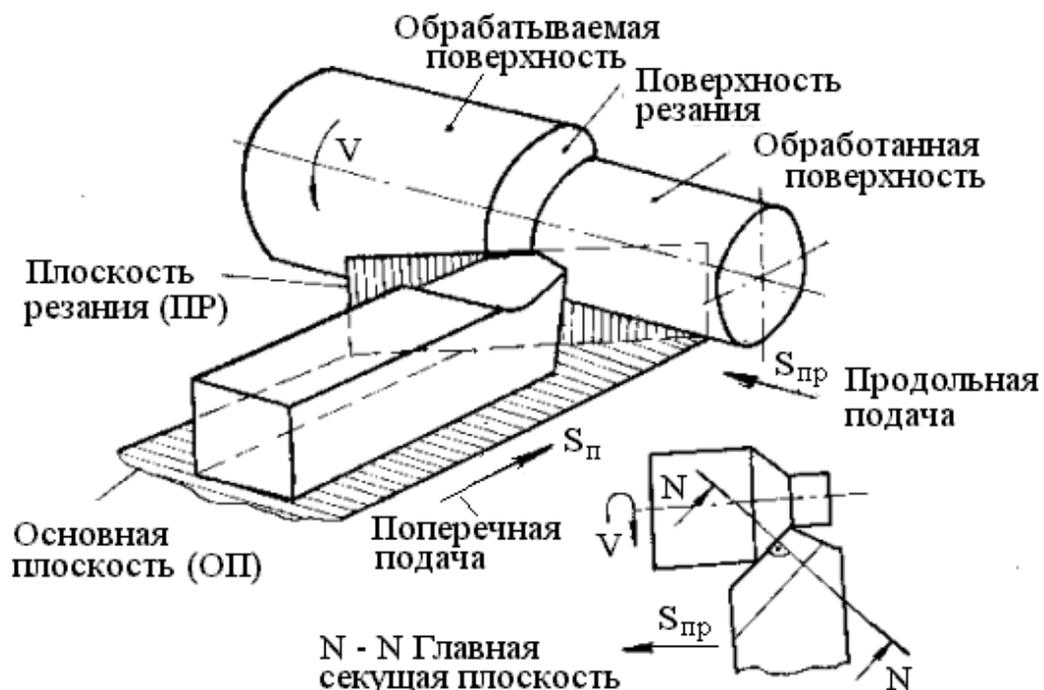


Рис. 10. Поверхности и координатные плоскости

При работе на токарных станках наиболее часто используют проходные прямые, проходные отогнутые, проходные упорные и отрезные резцы (рис. 2).

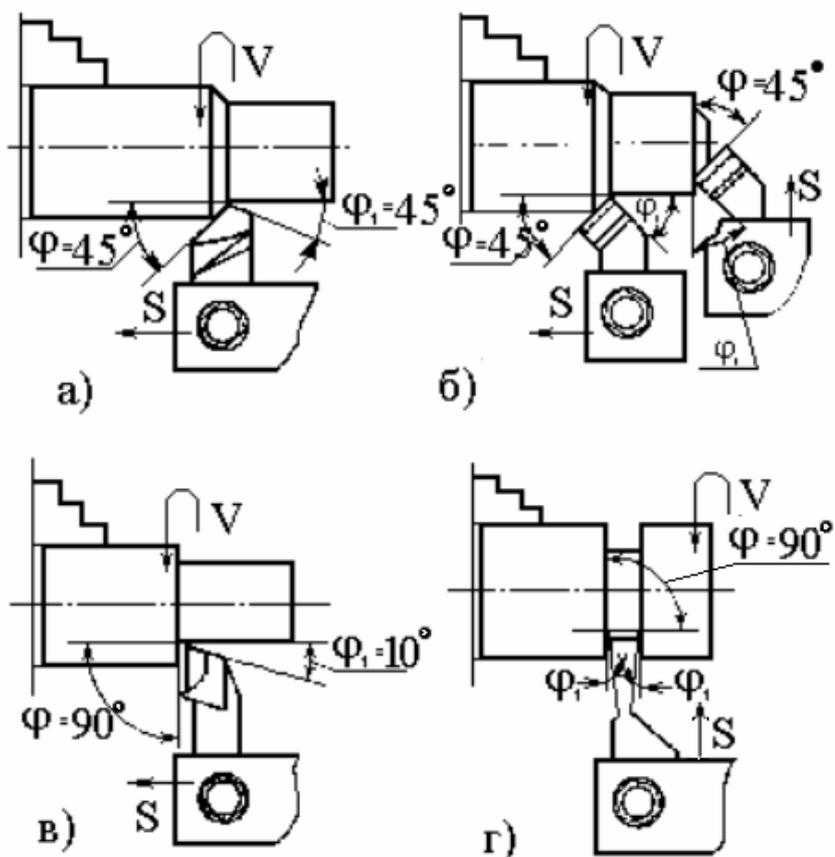


Рис.11. Основные типы токарных резцов: а – проходной прямой; б – проходной отогнутый; в – проходной упорный; г – отрезной

Проходные прямые резцы предназначены для обработки наружных поверхностей с продольной подачей (рис. 11, а).

Проходной отогнутый резец наряду с обтачиванием с продольной подачей может применяться для подрезания торцов с поперечной подачей (рис. 11, б).

Проходной упорный резец применяется для наружного обтачивания с подрезкой уступа под углом  $90^\circ$  к оси (рис. 11, в).

Отрезной резец предназначен для отрезания частей заготовок и протачивания кольцевых канавок (рис. 11, г).

Токарный резец состоит из стержня, служащего для закрепления его в резцедержателе станка, и головки резца (рис. 11).

Различают следующие элементы режущей части резца: передняя поверхность, по которой сходит стружка. Главная задняя поверхность, обращённая к

поверхности резания заготовки. Вспомогательная задняя поверхность, обращённая к обработанной поверхности заготовки. Главная режущая кромка – линия пересечения передней и главной задней поверхностей. Вспомогательная режущая кромка – линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. Вершина резца – точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок. Для увеличения износостойкости резца и повышения чистоты обработанной поверхности вершину иногда закругляют или срезают прямолинейной переходной кромкой.



Рис. 11. Элементы токарного резца

Для выполнения работы резания рабочей части резца необходимо придать форму клина. С этой целью резец затачивают по передней и задней поверхностям. Для определения углов, под которыми располагаются относительно друг друга поверхности рабочей части инструмента, вводят координатные плоскости (рис. 1).

Основная плоскость (ОП) – плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подачи. У токарных резцов за основную плоскость принимают нижнюю опорную поверхность резца.

Плоскость резания (ПР) – плоскость, проходящая через главную режущую кромку резца касательно к поверхности резания заготовки. Главная секущая плоскость (N - N) – плоскость, перпендикулярная к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Все три плоскости взаимно перпендикулярны.

В главной секущей плоскости измеряют: главный передний угол  $\alpha$ , главный задний угол  $\beta$ , угол заострения  $\gamma$  и угол резания  $\delta$  (рис. 4). Главный передний угол  $\alpha$  образован плоскостью перпендикулярной плоскости резания и передней поверхностью. Главный задний угол  $\beta$  – плоскостью резания и главной задней поверхностью. Угол заострения  $\gamma$  – передней и главной задней поверхностями  $\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta)$ . Угол резания  $\delta$  образован плоскостью резания и передней поверхностью  $\delta = 90^\circ - \alpha$ .

В основной плоскости измеряют: главный угол в плане  $\phi$ , вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  и угол при вершине  $\theta$  (рис. 12). Главный угол в плане  $\phi$  образован проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  – проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением обратным подаче. Угол при вершине  $\theta$  – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость:  $\theta = 180^\circ - (\phi + \phi_1)$ . В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  – угол между главной режущей кромкой и плоскостью параллельной основной.

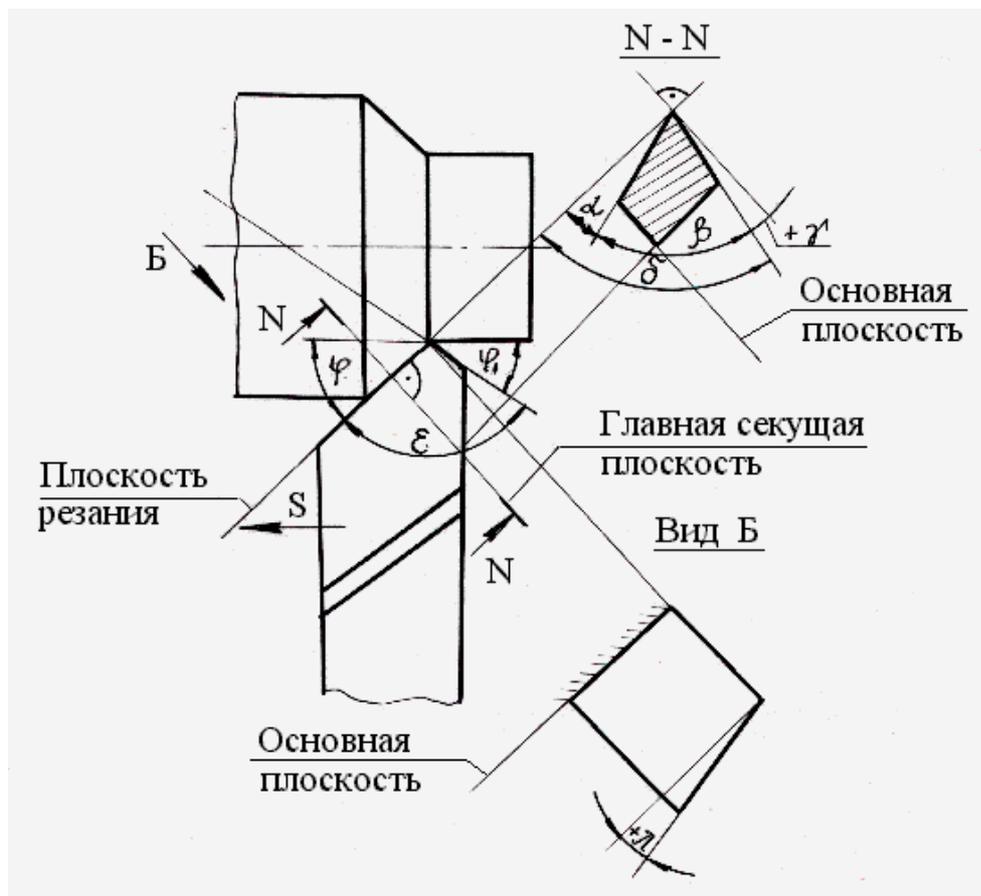


Рис. 12. Углы проходного резца

Углы резца имеют следующее основное назначение:

1. Главный передний угол  $\alpha$  оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла  $\alpha$  уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, понижается сила резания и расход мощности при одновременном улучшении условий схода стружки и повышения качества обработанной поверхности заготовки. Однако чрезмерное увеличение угла  $\alpha$  ведёт к понижению прочности режущего инструмента. На практике величину угла  $\alpha$  берут в зависимости от твердости и прочности обрабатываемого и инструментального материалов. При обработке хрупких и твёрдых материалов для повышения прочности и увеличения стойкости (времени работы инструмента до переточки) следует назначать углы  $\alpha = - (5 - 10)^\circ$ , при обработке мягких и вязких материалов передний угол  $\alpha = + (10 - 25)^\circ$ .

2. Угол  $\phi$  способствует уменьшению трения между обрабатываемой поверхностью заготовки и главной задней поверхностью резца. Величина его назначается в пределах от  $6^\circ$  до  $12^\circ$ .
3. Угол  $\phi$  влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением угла  $\phi$  шероховатость уменьшается, однако при малых значениях угла  $\phi$  возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработки.
4. С уменьшением угла  $\phi_1$  шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность и снижается износ вершины резца.
5. Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  может быть положительным, отрицательным и равным нулю (рис. 5), что влияет на направление схода стружки. Если вершина резца является высшей точкой главной режущей кромки, то  $\lambda$  отрицателен и стружка сходит в направлении подачи. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то  $\lambda = 0$  и стружка сходит по оси резца. Если вершина резца является низшей точкой главной режущей кромки, то  $\lambda$  положителен и стружка сходит в направлении обратном подаче. При обработке заготовок на токарных автоматах стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов на соседних позициях.

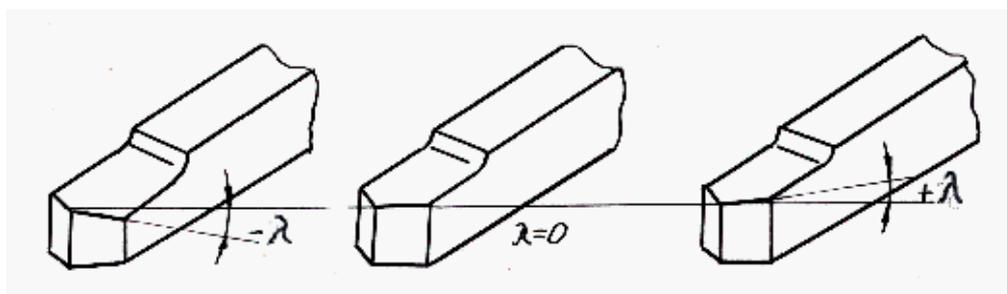


Рис. 13. Углы наклона главной режущей кромки

Геометрические параметры токарных резцов зависят от свойств обрабатываемого материала, марки материала режущего инструмента и условий резания.

В качестве материала для режущего инструмента наиболее часто используют спечённые твёрдые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC), титана

(TiC), тантала (TaC), связанных кобальтом, и которые подразделяются на вольфрамовые (BK3, BK6, BK8, BK2), титановольфрамовые (T30K4, T15K6, T5K10), титано-тантало-вольфрамовые (TT7K12, TT8K6, TT20K9). В марках первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав; цифры в вольфрамовой группе – количество (процентный объём) кобальта, а остальное карбид вольфрама; первые цифры в титановольфрамовой группе – количество карбида титана, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама. Первые цифры в титано-тантало-вольфрамовой группе – суммарное процентное количество карбидов титана и тантала, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама.

Твёрдые сплавы используют в виде пластинок определённой формы и размеров, которые получают путём прессования порошков карбидов и кобальта в изделия необходимой формы и последующего спекания при 1250 – 1450 °С в атмосфере водорода или в вакууме. Твёрдосплавные пластинки припаивают к стержням резцов медными или латунными припоями или крепят механическим способом. Марку материала твердосплавной пластинки вместе с товарным знаком завода-изготовителя клеймят на боковой поверхности стержня.

Теплостойкость твёрдых сплавов 800 – 1000 °С.

Карбиды вольфрама и титана обеспечивают сплавам высокую твёрдость, теплостойкость и износостойкость, а добавка тантала увеличивает усталостную прочность, снижает склонность к трещинообразованию при циклических изменениях температуры; кобальт обеспечивает сплавам необходимую прочность и связывает порошки карбидов.

Инструментами из сплавов группы BK обрабатывают чугуны, цветные металлы, пластмассы, а также весьма прочные закалённые стали.

Сплавы ТК имеют высокую износостойкость и теплостойкость и поэтому их применяют для обработки сталей, дающих сливную стружку.

Трёхкарбидные сплавы применяют при тяжёлых условиях резания, например, строгании сталей с большими сечениями срезаемого слоя металла, а также чистовой и получистовой обработке жаропрочных сталей.

## 2. Методика измерения углов

Углы резца измеряют с помощью универсального настольного угломера, состоящего из основания, в котором закреплена вертикальная стойка с измерительным устройством. При настройке угломера измерительное устройство перемещают по вертикальной стойке и в нужном положении фиксируют стопорным винтом.

Для измерения главного переднего угла  $\alpha$  планку угольника  $b$  поворачивают до соприкосновения с передней поверхностью резца. При этом риска на указателе покажет значение угла (рис. 6).

При измерении главного заднего угла  $\beta$  пользуются вертикальной планкой угольника  $a$ , которой касаются главной задней поверхности резца.

Необходимо помнить, что главные углы резца  $\alpha$  и  $\beta$  измеряют в плоскости нормальной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Полученные значения заносят в таблицу 6.

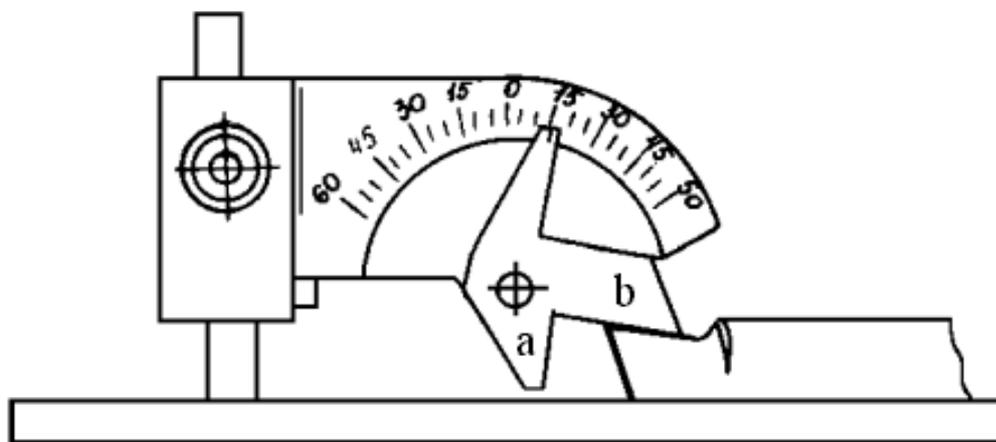


Рис. 13. Схема измерения углов в главной секущей плоскости

Перед измерением углов в плане  $\alpha$  и  $\beta$  измерительное устройство поворачивают на  $180^\circ$  и снова фиксируют (рис. 7). При измерении главного угла в плане  $\alpha$  резец прижимают к упору стола, а поворотную планку разворачивают до соприкосновения с главной режущей кромкой. Тогда указатель покажет значение угла  $\alpha$ .

Аналогично измеряют вспомогательный угол в плане  $\square$  1, только в этом случае поворотную планку разворачивают до соприкосновения со вспомогательной режущей кромкой.

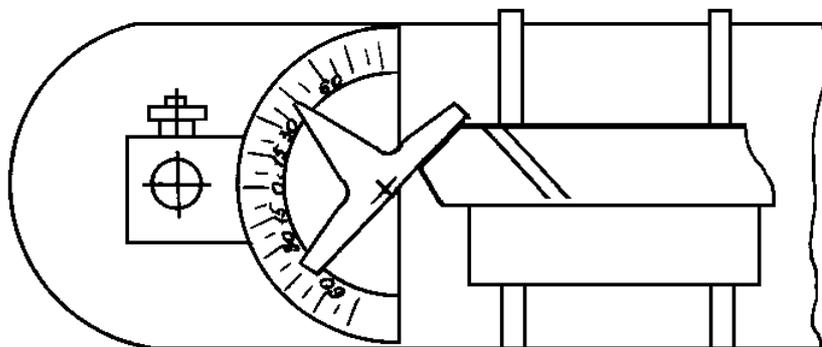


Рис. 14. Схема измерения углов в основной плоскости

Для определения величины угла  $\square$ , регулируя положение измерительного устройства по высоте, горизонтальную планку приводят в соприкосновение с главной режущей кромкой без зазора (рис. 14).

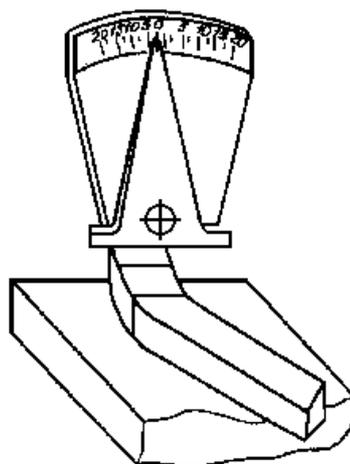


Рис. 15. Схема измерения угла  $\square$

Практическое выполнение работы завершают расчётом по соответствующим зависимостям углов при вершине  $\square$ , заострения  $\square$  и резания  $\square$ .

#### Значения углов резцов

Наименование резцов	Углы в градусах									
	Главный перед	Главный задн	Угол заострения	Угол реза	Главный угол	Вспомогательный угол в	Угол при верш	Угол наклона	Размер резц	Материал твёрдой сплавной

	ний угол	ий угол		ния	в план е	плане	ине	режу щей кром ки	a	пластины
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Я	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	b·h	—
Проходн ой отогнут ый										
Проходн ой упорный										
Отрезно й										

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое описание координатных плоскостей, частей и элементов токарного резца.
2. Рисунки 1, 3, 4.
3. Результаты измерения геометрических параметров резцов (табл. 1).
4. Выводы по результатам измерений.

### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое обработка металлов резанием?
2. Какие поверхности различают на обрабатываемой заготовке?
3. Назовите основные типы токарных резцов.
4. Перечислите поверхности на режущей части резца.
5. Для чего вводятся координатные плоскости и как они располагаются?
6. Какие углы измеряются в основной плоскости?

7. Какой угол измеряется в плоскости резания?
8. Какие углы измеряются в главной секущей плоскости?
9. На что влияет и от чего зависит величина углов в главной секущей плоскости?
10. На что влияет правильный подбор геометрических параметров резца?
11. Как маркируются спечённые твердые сплавы?

## Лабораторная работа 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения качества трансформаторного масла, приобрести навыки в проведении испытаний

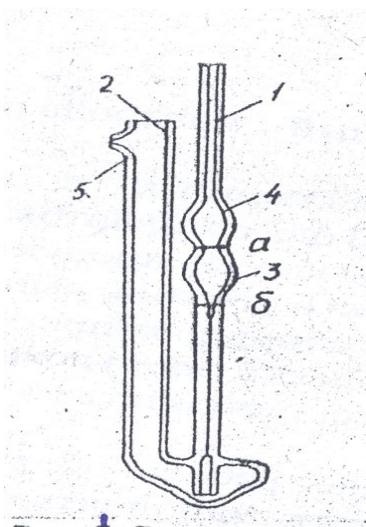
#### ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Вискозиметры ВПЖ-2, пробирка с меткой, пробирка-муфта термометр, штатив, образцы масел

#### Определение кинематической вязкости

Вязкость - одна из важнейших характеристик масел. От вязкости масла зависят легкость пуска двигателя в холодную погоду, износ трущихся деталей, расход масла, а также мощность двигателя (потери на трение).

Особо важное значение при эксплуатации механизмов в широком интервале температур приобретает зависимость вязкости от температуры. При пуске холодного



двигателя температура масла, как правило, равна температуре окружающей среды. При работе двигателя температура масла растёт и может превышать  $100^{\circ}\text{C}$ . Для облегчения пуска

Рис. 16

двигателя вязкость масла должна быть как можно меньше, а при работе прогретого двигателя желательно, чтобы вязкость была достаточно высокой для обеспечения жидкостного трения между его деталями. Вязкостно-температурные свойства масел оцениваются индексом вязкости (ИВ). Чем меньше меняется вязкость смазочного масла с изменением температуры, тем выше его индекс вязкости.

Индекс вязкости зависит от группового углеводородного состава и структуры углеводородов. Наибольшим индексом вязкости обладают парафиновые углеводороды, наименьшим – полициклические ароматические с короткими боковыми цепями.

#### Подготовка к испытанию

Для испытания применяют вискозиметры ВПЖ-2 (рис 16.) со следующими номинальными диаметрами (внутренние) капилляров: 0,99, 1,31, 1,77. Диаметры вискозиметра следует выбирать с таким расчетом, чтобы время истечения исследуемого нефтепродукта (масел) было в пределах  $300 \pm 180$  с. (ГОСТ 33-2000).

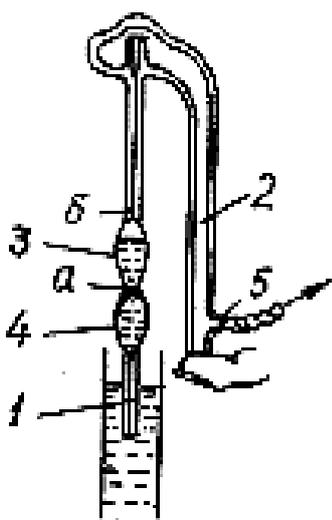


Рис 2



Рис.3

Выбранный для анализа вискозиметр наполняют

испытуемым топливом или маслом. Для этого надевают на отводную трубку 5 резиновую трубку. Зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в сосуд с нефтепродуктом, который засасывают (при помощи резиновой груши) до метки "б" (рис 2), следя за тем, чтобы в капилляре и в расширениях 3 и 4 не образовалось пузырьков воздуха и разрывов. Когда уровень жидкости достигнет метки "б", вискозиметр вынимают из сосуда и быстро переворачивают его в нормальное положение. Снимают с внешней стороны колена 1 избыток нефтепродукта и резиновую трубку с отводной трубки 5.

### Проведение испытания

Для определения вязкости вискозиметр устанавливают вертикально в термостате, где поддерживается заданная температура, и выдерживают 15 минут (рис 3).

При определении кинематической вязкости испытуемый нефтепродукт при помощи каучуковой трубки, надетой на колено 1, засасывают в расширение 3 (рис 1) немного выше метки "а", следя за тем, чтобы в капилляре и расширении не образовалось пузырьков воздуха и разрывов.

Наблюдая за опусканием жидкости в колене 1, пускают секундомер в тот момент, когда уровень жидкости достигнет метки "а", и останавливают секундомер в тот момент, когда уровень жидкости достигнет метки "б".

Время, отмеченное на секундомере, записывается; определение повторяют с точностью до 0,1 с не менее 4 раз. Во внимание применяются только те отсчеты, которые отличаются от среднего арифметического не более, чем на  $\pm 0,5\%$ .

### Порядок расчета

Кинематическую вязкость испытуемого нефтепродукта при температуре  $t$  в  $\text{мм}^2/\text{с}$  ( $v_t$ ) вычисляют по формуле:

$$v_t = c * \tau$$

где  $c$  – постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$

$\tau$  – среднее арифметическое учитываемых отсчетов времени истечения испытуемого нефтепродукта.

Пример:

Постоянная вискозиметра равна  $0,478 \text{ мм}^2/\text{с}^2$ .

Отсчеты времени истечения испытуемого нефтепродукта при  $50^\circ\text{C}$  (с):

218,0 222,4 222,6 221,0

Среднее арифметическое отсчетов времени:

$$\tau_{50} = (218,0 + 222,4 + 222,6 + 221,0) / 4 = 221,5.$$

Допустимое отклонение от среднего арифметического отсчетов времени равно:

$$(221,5 * 0,5) / 100 = 1,1 \text{ с.}$$

Следовательно, отсчет времени  $218,0\text{с}$  нужно отбросить, как отклоняющийся более  $1,1 \text{ с}$  ( $0,5\%$ ) от среднего арифметического, а для расчета принять отсчеты  $222,4$   $222,6$  и  $221,0 \text{ с}$ , как отклоняющиеся от среднего арифметического не более  $1,1 \text{ с}$  ( $0,5\%$ ).

Среднее арифметическое учитываемых отсчетов времени:

$$\tau_{50} = (222,4 + 222,6 + 221,0) / 3 = 222,0 \text{ с.}$$

Кинематическая вязкость испытуемого нефтепродукта равна:

$$\nu_{50} = c * \tau_{50} = 0,478 * 222,0 = 106,1 \text{ мм}^2/\text{с.}$$

#### Определение температуры застывания масел

Температура, при которой масло теряет подвижность в заданных условиях, называется температурой застывания.

Этот показатель имеет большое значение при транспортировании и применении нефтепродуктов в зимних условиях. Для определения температуры застывания используется пробирка стандартных размеров, на наружной поверхности которой на расстоянии  $30 \text{ мм}$  от дна имеется кольцевая метка (ГОСТ 20287-91). Пробирка вставляется в пробирку-муфту больших размеров (рис 4).

## Подготовка к испытанию

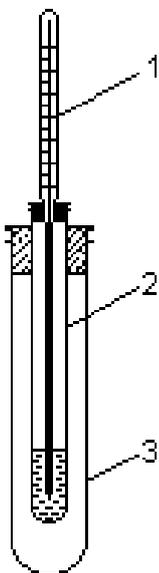


Рис 4

Обезвоженный продукт осторожно наливают в пробирку до метки так, чтобы он не растекался по стенкам пробирки. При помощи корковой пробки вставляют термометр и помещают в водяную баню, нагретую до  $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Пробирки выдерживают до тех пор, пока продукт не примет температуру бани.

## Проведение испытания

Пробирку с нефтепродуктом 2 и термометром 1 вынимают из водяной бани, вытирают ее снаружи и укрепляют при помощи корковой пробки в пробирке-муфте 3. Прибор закрепляют в держателе штатива в вертикальном положении и оставляют при комнатной температуре до тех пор, пока продукт не охладится до температуры  $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Затем прибор помещают в сосуд с охлаждающей смесью, температура которой на  $5^{\circ}\text{C}$  ниже предполагаемой температуры застывания. Температура охлаждающей смеси поддерживается с точностью до  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Когда продукт в пробирке примет предполагаемую температуру застывания, пробирку наклоняют под углом  $45^{\circ}$  и, не вынимая из охлаждающей смеси, держат в таком положении в течение одной минуты. После этого пробирку с муфтой осторожно вынимают из охлаждающей смеси, быстро вытирают муфту и наблюдают, не сместился ли мениск испытуемого нефтепродукта.

В случае смещения мениска пробирку вынимают из муфты, снова подогревают до температуры  $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$  и производят новое определение при температуре на  $4^{\circ}\text{C}$  ниже предыдущей. И так до тех пор, пока мениск не перестанет смещаться. Если мениск не сместился, пробирку вынимают из

муфты, снова подогревают до температуры  $50 \pm 1^\circ\text{C}$  и определение повторяют при температуре на  $4^\circ\text{C}$  выше предыдущей.

После нахождения границы застывания определение повторяют, понижая и повышая температуру на  $2^\circ\text{C}$  до тех пор, пока не будет установлена такая температура, при которой мениск продукта остается неподвижным. За температуру застывания принимается та температура, при которой мениск будет неподвижным.

За температуру застывания принимается среднее арифметическое значение при двух параллельных испытаниях. Расхождения должны быть не более  $2^\circ\text{C}$ .

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Оборудование и материалы
3. Ход работы
4. Выводы по результатам измерений.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое кинематическая вязкость?
2. Как определяется температуры застывания масел
3. Область применения масел

### Практическая работа 1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМ ОТЖИГА, ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА СТАЛИ.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться определять режимы термической обработки стали

Практическая часть работы выполняется в следующем порядке:

1. В соответствии с заданием по заданной марке стали, определяется ее структурный класс.

2. Определяется по заданию вид термической обработки: закалка, отжиг, закалка с отпуском.

3. Далее переходят к назначению режимов термической обработки: температуры нагрева, времени нагрева и выдержки, охлаждающей среды. Некоторые показатели режима в зависимости от конкретного задания указываются преподавателем.

Температура нагрева подсчитывается по формулам, приведенным в табл. 6. Численные значения температур фазовых превращений  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  принимаются по данным табл. 7. При этом вычисляют два численных значения температуры: минимальное  $t_{min}$  и максимальное  $t_{max}$ . Эти значения температуры характеризуют оптимальный интервал температуры нагрева. Фактическая величина температуры в печи должна находиться в этом интервале (не ниже  $t_{min}$ ).

Пример. Закалка стали У12 ( $A_{c1}=730^{\circ}C$ ):  $t_{min} = 730 + 70 = 800^{\circ}C$ ;

$$t_{max} = 730 + 100 = 830^{\circ}C.$$

Таблица 6. Температуры нагрева и охлаждающие среды при термической обработке стали

Вид термической обработки стали	Температура нагрева, $^{\circ}C$		Типовая охлаждающая среда
	Стали доэвтектоидные (менее 0,8 %C)	Стали эвтектоидные и заэвтектоидные (от 0,7...0,8 до 2,14%)	
Отжиг	$t_{отж} = t_{Ac3} + (30...50^{\circ}C)$	$t_{отж} = t_{Ac1} + (30...70^{\circ}C)$	С печью
Нормализационный отжиг	$t_{н.о.} = t_{Ac3} + (50...80^{\circ}C)$	$t_{н.о.} = t_{Acм} + (30...50^{\circ}C)$	На спокойном воздухе
Закалка	$t_{зак} = t_{Ac3} +$	$t_{зак} = t_{Ac1} +$	Углеродистые стали – в воде,

	+ (30...50 °С)	+ (70...100 °С)	легированные – в масле
Отпуск закаленной стали	Ниже Ас <sub>1</sub> (в зависимости от заданных свойств при 160...650 °С)		Для большинства сталей – на воздухе

Таблица 7. Температуры критических точек Ас<sub>1</sub>, Ас<sub>3</sub>, Ас<sub>т</sub> некоторых сталей

Марка стали	30	35	40	45	50	40Х	45Г2	35ХГСА	60С2
Ас <sub>1</sub> , °С	735	730	727	725	750	743	711	750	750
Ас <sub>3</sub> , °С	812	802	788	770	760	762	765	830	820
Марка стали	У7	У8	У10		У12	ШХ15	9ХС	ХВГ	Х12М
Ас <sub>1</sub> , °С	730	730	730		730	750	770	750	810
Ас <sub>т</sub> , °С	-	-	800		820	900	870	940	-

Время нагрева образцов до заданной температуры вычисляют по следующей эмпирической зависимости:  $\tau_n = 1,5 D$ , мин,

где  $D$  - диаметр или толщина образца мм.

Время выдержки при заданной температуре  $\tau_b = 0,2 \tau_n$ , мин. Общее время от загрузки образцов в рабочую камеру печи до их выгрузки из печи составляет сумму времени нагрева и выдержки:

$$\tau = \tau_n + \tau_b$$

Пример. Диаметр образца равен 12 мм:

$$\tau_n = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ мин}; \quad \tau_b = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ мин}; \quad \tau = 18,0 + 3,6 = 21,6 \text{ мин.}$$

Охлаждающая среда при термической обработке стали назначается по табл.8.

## ЗАДАНИЕ 1.

Изучение влияния охлаждающей среды (скорости охлаждения) на твердость стали.

Четыре образца углеродистой стали заданной марки нагреть, выдержать и охладить: первый образец в воде (полная закалка), второй - в минеральном масле (частичная закалка), третий - на воздухе (нормализационный отжиг), четвертый - в печи (полный отжиг). Измерить твердость образцов до и после термической обработки.

Таблица 8. Скорость охлаждения в различных средах

Охлаждающая среда	вода	масло	воздух	с печью
Примерная скорость охлаждения, градусов /с	600	100	1	0,05

По полученным данным строится график зависимости твердости стали от скорости охлаждения. Сделать выводы: после каких видов термической обработки достигается максимальная и минимальная твердость стали; - о влиянии скорости охлаждения на твердость стали.

## ЗАДАНИЕ 2.

Изучение влияния закалки на твердость стали с различным содержанием углерода.

Для нескольких образцов углеродистых сталей разных марок проводится закалка. Измеряется твердость образцов до и после закалки.

По полученным данным строятся два графика зависимости твердости от содержания углерода (до закалки для сталей марок У7, У8, У10 и после закалки для всех изученных сталей). Сделать выводы: -о влиянии закалки одной марки стали на твердость и о влиянии содержания углерода на твердость закаленной стали.

## ЗАДАНИЕ 3.

Изучение влияния температуры отпуска на твердость закаленной стали .

Три образца стали одной марки подвергнуть закалке. Измерить твердость каждого образца до и после закалки.

Провести отпуск закаленных образцов при температуре: первого— 200°C, второго - 400°C, третьего - 600°C. Время нагрева и выдержки 30 мин. Измерить твердость после отпуска.

По полученным данным построить график зависимости твердости от температуры отпуска. Сделать выводы: о влиянии температуры отпуска закаленной стали на твердость; после отпуска при какой температуре достигается наиболее высокая и наименьшая твердость исследуемой стали.

По полученным данным на доске проводят построение графиков зависимостей твердости НВ от изменяемых факторов: содержания углерода в стали; скорости охлаждения при термической обработке; температуры отпуска закаленных образцов. Для этого каждый студент отмечает в соответствующих координатах экспериментальные точки.

Далее студенты по заданиям формулируют выводы, которые записываются в отчет. Выводы в отчете каждого студента приводятся по всем трем заданиям.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Итоги проведенной работы оформляют в отчете, который должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.

2. Теоретические положения: понятие термической обработки, типовые виды предварительной и окончательной термической обработки конструкционных сталей, графики термической обработки.

3. Задание по термической обработке, марка стали, вид термической обработки, выбор режима термической обработки, таблица результатов по всему заданию. Три графика зависимости твердости от изучаемых факторов по всем заданиям.

5. Выводы по работе.

В конце занятия преподаватель путем устного опроса проверяет усвоение знаний по контрольным вопросам для самопроверки. Оформленные отчеты проверяются и подписываются преподавателем.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие термической обработки.
2. Какие основные виды термической обработки применяются в машиностроении?
3. Какое влияние оказывают полный отжиг и полная закалка с отпуском на механические свойства конструкционной стали?
4. Какие печи применяются для термической обработки в лаборатории материаловедения?
5. Для каких целей применяются потенциометры?
6. Понятие твердости материалов.
7. Как определяется температура нагрева при закалке и отжиге?
8. Какая охлаждающая среда применяется в случае нормализационного отжига?

## Практическая работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМ ОТЖИГА, ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА СТАЛИ.

Дано :

Деталь-напильник

Материал - три марки стали: У12, ХВГ, Р6М5.

#### ЗАДАНИЕ

1. Расшифруйте состав этих сталей.
2. Выберите наиболее рациональную из них для изготовления напильников, используемых для обработки мягких материалов.

3. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, обеспечивающий высокие режущие свойства инструмента.

3. Охарактеризуйте и схематически зарисуйте микроструктуру, опишите основные свойства после термической обработки.

4. Укажите максимально допустимые температуры разогрева инструмента из выбранной вами стали.

Практическая работа 3.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

18-я районная научно-практическая конференция

«Интеллектуалы XXI века»

## Полимеры в нашей жизни

Автор: Рукавишников Александр

3 класс, МОУ СОШ № 15,

Научный руководитель:

Абжуева Ирина Григорьевна,

учитель начальных классов

первой категории

Челябинск

2011

## Содержание

Введение.....	3
1 Полимеры в жизни человека.....	4
1.1 История полимеров.....	4
1.2 Структура полимеров.....	4
1.3 Классификация и свойства полимеров.....	4
1.4 Природные и искусственные полимеры.....	5
1.5 Применение полимеров и изделия из полимеров .....	5
2. Действие полиакрилатов в качестве абсорбентов. Практическая часть	
Заключение.....	8
Приложение.....	9
Список использованной литературы.....	14

## Введение

Полимеры - это слово кажется нам современным, пришедшим к нам в индустриальный век развитых технологий, часто мы связываем полимеры со словом пластик. Однако полимеры существуют на нашей планете очень давно. Даже люди, животные и растения состоят из полимеров – белков, ДНК, РНК, целлюлоза и т.д. Все ткани живых организмов представляют высокомолекулярные соединения - полимеры. Однако именно сейчас люди научились создавать искусственные полимеры, чем значительно расширили возможности строительства, производства и быта.

Мы каждый день сталкиваемся с искусственными полимерами в нашей повседневной жизни. Благодаря своим ценным свойствам полимеры применяются в современном мире в машиностроении, текстильной промышленности, сельском хозяйстве и медицине, автомобиле- и судостроении, в быту полимеры - текстильные и кожаные изделия, посуда, клей и лаки, украшения и другие предметы.

Актуальность: Полимерные материалы в жизнедеятельности человека имеют огромное значение. Поэтому вопрос о их использовании и дальнейшей утилизации особо актуален.

Объектом работы являются полимеры

Предмет – применение полимеров в хозяйственной деятельности человека.

Цель работы – изучить структуры, свойства и применение различных полимеров, а также поднять вопрос об утилизации полимерного мусора.

Задачи:

- сравнить природные и искусственные полимеры;
- рассмотреть применение полимеров в деятельности человека;
- провести опыт с полиакрилатом и сделать выводы;

## 1 Полимеры в жизни человека

### 1.1 История полимеров

Термин полимеры происходит от греческого *polymeres* — состоящий из многих частей. Первые упоминания о синтетических полимерах были более 200 лет назад. Ряд полимеров, возможно, был получен еще в первой половине 19 века. Но в те времена химики не знали что продукты которые они получают являются полимерами. Великий русский химик А.М.Бутлеров изучал связь полимерные материалы и создал теории химического строения органических соединений. На ее основе и возникла химия полимеров. Главной причиной бурного развития химии полимеров стало потребность в новых недорогих материалах и развитие технического процесса.

### 1.2 Структура полимеров

Молекула полимера (макромолекула) образуется в процессе химических реакций путем последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активному центру, находящемуся на конце растущей цепи. Для простого понимания можно представить большой поезд – это молекула полимера, и последовательно соединенных вагонов – это структурные звенья. Образующиеся полимерные молекулы состоят из большого числа одинаковых звеньев и имеют большую массу — от нескольких тысяч до миллионов. Поэтому такие соединения называют высокомолекулярными. Полимеры могут состоять из одинаковых и разных вагончиков и это дает им разные свойства. На основе полимеров часто изготавливают более сложные полимерные материалы. Они также весьма широко используются, наряду с металлами, керамикой и деревом.

### 1.3 Классификация и свойства полимеров

По своему строению полимеры делятся на линейные, разветвленные и пространственные. Если составляющие располагаются в макромолекуле в виде открытой цепи или вытянутой в линию последовательности, то это линейные. Если они имеют разветвления в двух направлениях это

разветвленные полимеры. Если в трех направлениях то это пространственные.

По составу полимеры делятся на гомополимеры и гетерополимеры. Полимерные молекулы состоящие из одинаковых мономерных звеньев, наз. гомополимерами, например, поливинилхлорид, поликапроамид, целлюлоза, а состоящие из различных звеньев гетерополимеры.

В зависимости от строения полимеров они обладают различными физическими свойствами. Линейные полимеры обладают способностью образовывать высокопрочные волокна и плёнки, способные к большим, длительным деформациям они как правило гибкие, мягкие и тягучие.

Все разветвленные полимеры наоборот прочные и твердые.

#### 1.4 Природные и искусственные полимеры

Природные полимеры образуются в процессе биосинтеза в клетках живых организмов и растений. С помощью специальных методов они могут быть выделены из растительного и животного сырья. Синтетические полимеры получают в результате химических реакций. В основном синтетические полимеры получают из продуктов переработки нефти и газа. На специальных заводах сначала получают составляющие, которые далее в реакции соединяются в длинные цепи.

Полимеры бывают в нескольких агрегатных состояниях: твердом, мягком и текучем как жидкость.

#### 1.5 Применение полимеров и изделия из полимеров

Современное применение полимеров в виде веществ с особыми свойствами очень велико. К таким свойствам можно отнести лакокрасочные покрытия, получение специальных пленок, лекарственных препаратов и абсорбентов.

Как и говорили ранее полимеры могут быть и в жидком состоянии. Для этого необходимо нагреть всю массу до определенной температуры, самая распространенная температура до 200 градусов. Расплавленную массу заливают в специальную форму и охлаждают. В результате получается

изделие. Таким же образом из жидкого состояния получают и тонкие волокна пропуская через специальную решетку с небольшими отверстиями.

Полимеры широко применяются во многих областях человеческой деятельности, удовлетворяя потребности различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, медицины, культуры и быта.

В качестве примера можно оглянуться вокруг: ручки которыми мы пишем, краски которые используем, игрушки которыми играем, пластиковая посуда – все это лишь маленькая часть того где они могут использоваться (фото1).

Однако, выпуск значительных объемов полимерных изделий способствует растущему количеству твердых отходов, поскольку полимеры используются, как правило, всего один раз и далее выбрасываются.

Проблема переработки отслуживших свой срок изделий из полимеров является глобальной, и не может быть признана сугубо технической, либо существующей для отдельных стран или территорий.

Главным недостатком всех полимерных изделий является их утилизация после применения. Мы с вами видим много мусора который валяется в очень многих местах. Именно этот вопрос стоит перед техническим прогрессом.

Люди научились получать материалы, но пока не научились его массово перерабатывать и использовать их так чтобы не загрязнять окружающий нас мир.

## 2. Действие полиакрилатов в качестве абсорбентов. Практическая часть

Абсорбенты – это вещества, обладающие способностью абсорбции т. е. поглощения, всасывания какого-либо другого вещества из раствора всей своей массой. Данные особые свойства можно рассмотреть на примере таких полимеров – полиакрилатов.

Полиакрилаты – полимеры основой которых является акриловая кислота. Можно подобрать такое строение полимерного материала которое будет впитывать только воду или какую то иную жидкость.

Рассмотрим действие полиакрилатов в качестве абсорбентов.

-некоторое количество данного сухого сыпучего материала высыпав в прозрачный стакан.

- наливаем в данный стакан воды для того чтобы было примерно половина стакана

-при перемешивании данный полимер превращается в гель.

Практическое применение геля – подгузники (фото 6)

## Заключение

К полимерам относятся многочисленные природные соединения: белки, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, крахмал, каучук и другие органические вещества. Большое число полимеров получают синтетическим путем на основе простейших соединений элементов природного происхождения путем реакций полимеризации, поликонденсации, и химических превращений.

Полимеры широко применяются во многих областях человеческой деятельности, удовлетворяя потребности различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, медицины, культуры и быта. При этом уместно отметить, что в последние годы несколько изменилась и функция полимерных материалов в любой отрасли, и способы их получения. Полимерам стали доверять все более и более ответственные задачи. Из полимеров стали изготавливать все больше относительно мелких, но конструктивно сложных и ответственных деталей машин и механизмов, и в то же время все чаще полимеры стали применяться в изготовлении крупногабаритных корпусных деталей машин и механизмов, несущих значительные нагрузки.

## Приложения

### Фото1



Фото 2



Фото 3



Фото 4



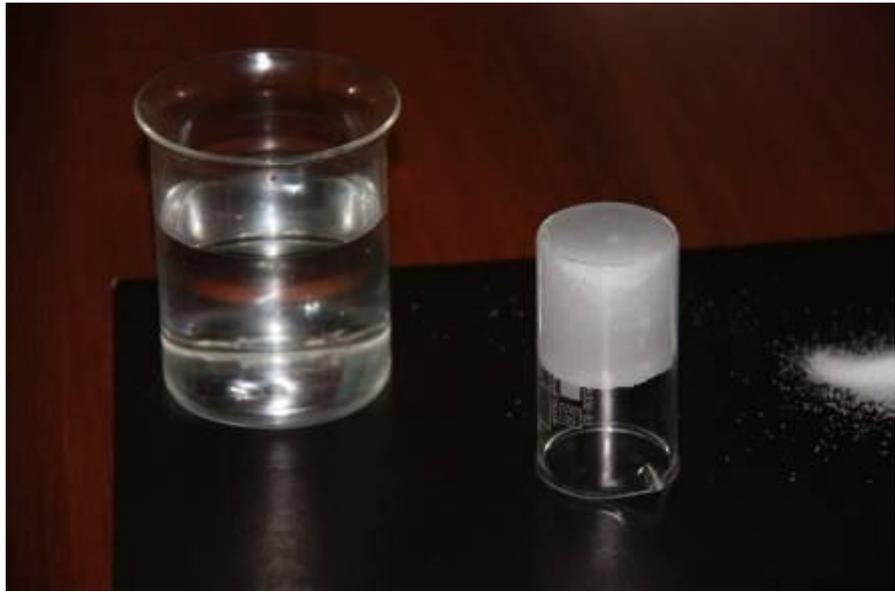


Фото 5



Φοτο 6







## ЛИТЕРАТУРА

Основные источники:

1.1 Воронин Н.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники: Учебник для вузов ж.-д. транспорта – М.: Маршрут, 2009.

1.2 Арзамасов В.Б. Материаловедение: Учебник для вузов – М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2008.

1.3 Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы: СПб.: Политехника 2011.

Дополнительные источники:

2.1 Соколова Е.Н. Материаловедение. Контрольные материалы. М.: Академия, 2010.

2.2 Берлин В.И. Транспортное материаловедение. Изд. Транспорт 2008.

2.3 Журавлева Н.В. Электроматериаловедение. М., 2012.

2.4 Мукосеев В.В., Сидоров И.Н. Маркировка и обозначение радиоэлементов: Справочник. М.: Горячая линия-Телеком, 2011.

2.5 Чайкина Л.Н. Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной работы по дисциплине «Материаловедение» Тихорецк, 2011.

2.6 Чайкина Л.Н. Методическое пособие «Материаловедение и конструкционные материалы» Тихорецк, 2010 .

2.7 Чайкина Л.Н. Методические указания «Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Компьютерное тестирование знаний студентов» Тихорецк 2012.

2.8 Чайкина Л.Н. «Справочник – экзаменатор по материаловедению» Тихорецк 2013.

Иллюстрированные учебные пособия и электронные образовательные ресурсы:

1. *Зарембо Е.Г.* Материаловедение. М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008.

2. Электронный ресурс «Все о материалах и материаловедении». Форма доступа: [materiall.ru](http://materiall.ru)

Средства массовой информации:

1. «Материаловедение» // Форма доступа: [www.nait.ru](http://www.nait.ru)