

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Воронежский государственный технический университет»
Строительно-политехнический колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

по дисциплине

Материаловедение

для специальности

**23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных,
дорожных машин и оборудования
(по отраслям)**

Методические указания обсуждены на заседании методического совета СПК «19» 03 2021 года.
Протокол № 7,

Председатель методического совета СПК
Сергеева С.И.


(подпись)

Методические указания одобрены на заседании педагогического совета СПК
«26» 03 2021 года. Протокол № 7.

Председатель педагогического совета СПК
Облиенко А.В.


(подпись)

Воронеж
2021

УДК 66.017(07)
ББК 30.3я723

Составитель: Черкасов С.В., преподаватель СПК

Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Материаловедение»: методические указания / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. С.В. Черкасов ин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 127 с.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине Материаловедение разработаны для студентов очной формы обучения на основе федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям от 23.01.2018 № 45.

УДК 66.017(07)
ББК 30.3я723

Рецензент - Жулай Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	7
Лабораторная работа 1.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЯ И РОКВЕЛЛА	8
Лабораторная работа 2 .ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ	13
Лабораторная работа 3.АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ Fe-Fe ₃ C	19
Лабораторная работа 4 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	26
Лабораторная работа 5 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА	35
Лабораторная работа 6 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ	42
Лабораторная работа 7АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ СПЛАВОВ	55
Лабораторная работа 8 ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	64
Лабораторная работа 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	74
Лабораторная работа 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБИВНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА	84
Лабораторная работа 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА	89
Лабораторная работа 12.ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА	91
Лабораторная работа 13 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ	97

ДИЭЛЕКТРИКА

Лабораторная работа 14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА	105
Лабораторная работа 15 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В МАСЛАХ И СМАЗКАХ	107
Лабораторная работа 16 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КИСЛОТ, ЩЕЛОЧЕЙ В МАСЛЕ	110
Лабораторная работа 17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ СМАЗОК	115
Лабораторная работа 18 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСЛОЕМКОСТИ ПИГМЕНТА	118
Лабораторная работа 19 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКРЫВИСТОСТИ	123
ЛИТЕРАТУРА	128

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящее методическое пособие по проведению лабораторных работ рассчитано на студентов специальности среднего профессионального образования 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (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 ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЯ И РОКВЕЛЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

ОБОРУДОВАНИЕ 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).

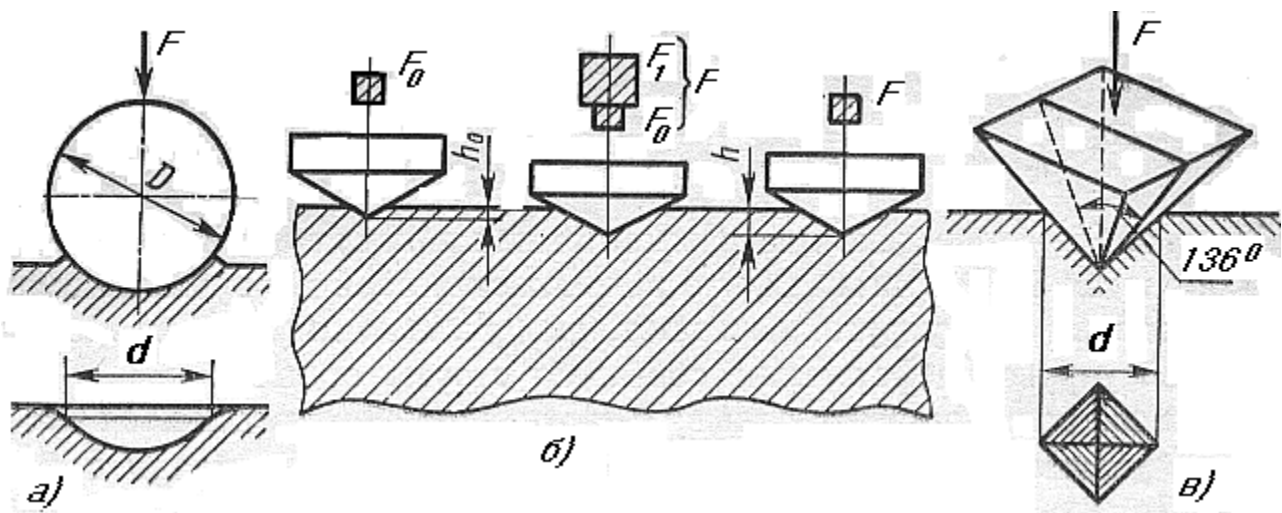


Рис. 1 Схема определения твердости:

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 HB – твердость по Бринеллю при применении стального шарика;

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

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

A – площадь поверхности сферического отпечатка, мм²;

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 ₁	d ₂		

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 испытываемого 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

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

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:

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

Здесь A – работа, затраченная на излом образца (Дж); S – площадь поперечного сечения образца в месте надреза (m^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 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. 2. 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).

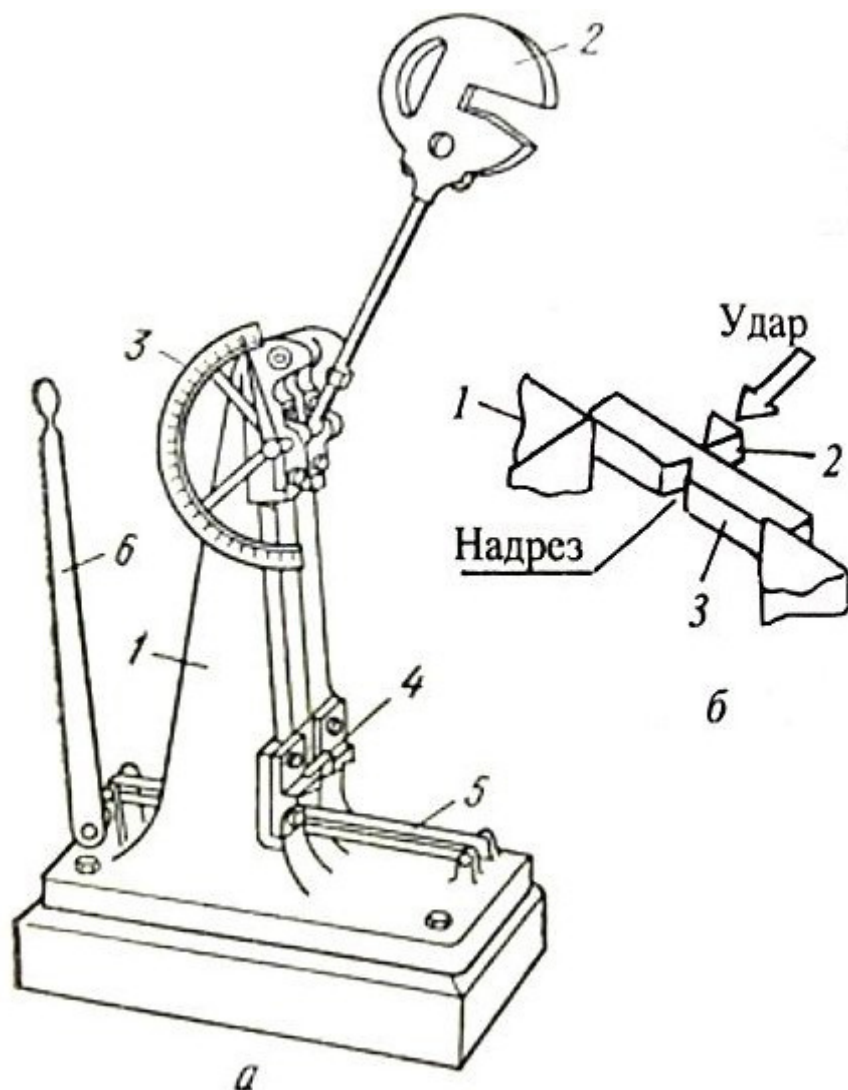


Рис. 2 Маятниковый копёр

- (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 мм² длиной 55 мм с надрезами. Самыми распространенными являются образцы с U-образным и V-образным надрезами (рис.3). Надрез играет роль концентратора напряжений; чем он острее, тем больше усиливается напряжение в месте надреза.

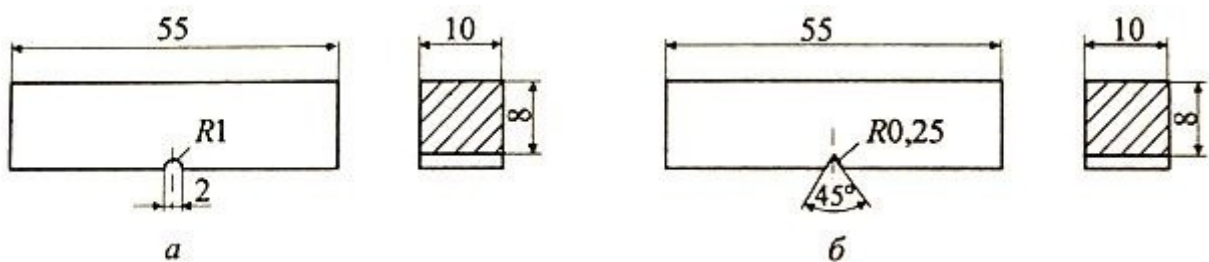


Рис. 3. Образцы для испытаний на ударную вязкость:
(а) – с U-образным надрезом; (б) – с V-образным надрезом

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.

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

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 α и угол взлета β

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

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

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

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

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

где, угол β_0 – угол взлета маятника при его свободном падении при отсутствии образца. За счет потерь на трение угол β_0 должен быть несколько меньше начального угла α .

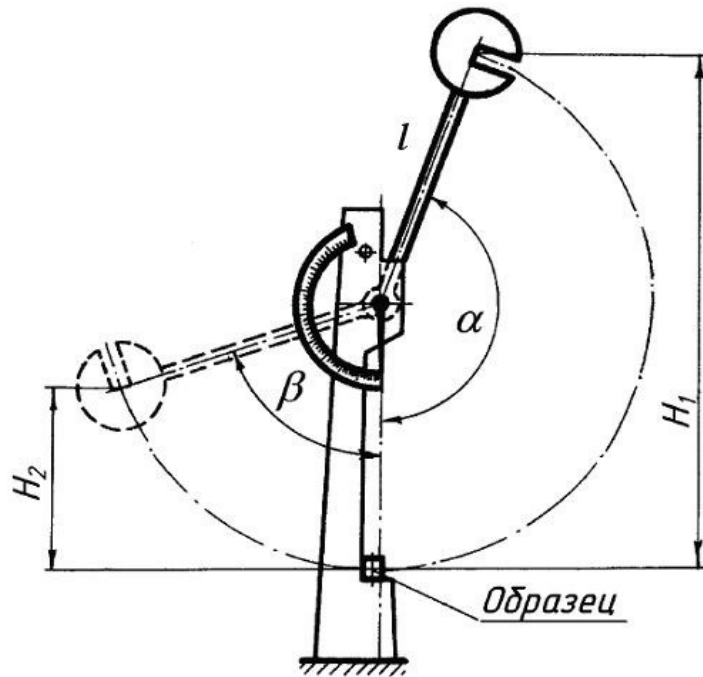


Рис. 4 Схема для определения ударной вязкости

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

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

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

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

где S – площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Выражение (8) является рабочей формулой для расчета ударной вязкости материала. Размерность ударной вязкости: Дж/см² или Дж/м². 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 α (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

АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ Fe-Fe₃C

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов. Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве.

НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ

Диаграмма состояния системы Fe – Fe₃C.

Фотографии микроструктур железоуглеродистых сплавов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе “железо-карбид железа”, и стабильном, отражающем превращения в системе “железо-графит”. Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния “железо-карбид железа”, т.к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме.

Карбид железа (Fe₃C) называют цементитом, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния “железо-цементит” (Fe-Fe₃C).

Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Основными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод, которые относятся к полиморфным элементам. В железоуглеродистых сплавах эти элементы взаимодействуют, образуя различные фазы. Под фазой в общем смысле понимается однородная часть системы, имеющая одинаковый химический состав, физические свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Взаимодействие железа и углерода состоит в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Помимо этого он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом в железоуглеродистых сплавах могут образовываться следующие фазы: жидкий раствор, аустенит, феррит, цементит.

Аустенит (обозначают А или g) – твердый раствор внедрения углерода в Fe_γ. Имеет ГЦК – решетку, растворяет углерода до 2,14 %, немагнитен, твердость (НВ 160-200).

Феррит (обозначают Φ или α) – твердый раствор внедрения углерода в Fe α . Имеет ОЦК – решетку, растворяет углерода до 0,02 % (727 °С), при 20 °С менее 0,006 %, ферромагнитен до температуры 769 °С, твердость (НВ 80-100).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (Fe_3C). Содержит 6,67 % С. При нормальных условиях цементит тверд (НВ 800) и хрупок. Слабо ферромагнитен до 210 °С.

Превращения в железоуглеродистых сплавах

Диаграмма состояния Fe-Fe $_3\text{C}$ (рис. 5) показывает фазовый состав и превращения в сплавах с концентрацией от чистого железа до цементита.

Превращения в железоуглеродистых сплавах происходит как при кристаллизации (затвердевании) жидкой фазы (Ж), так и в твердом состоянии.

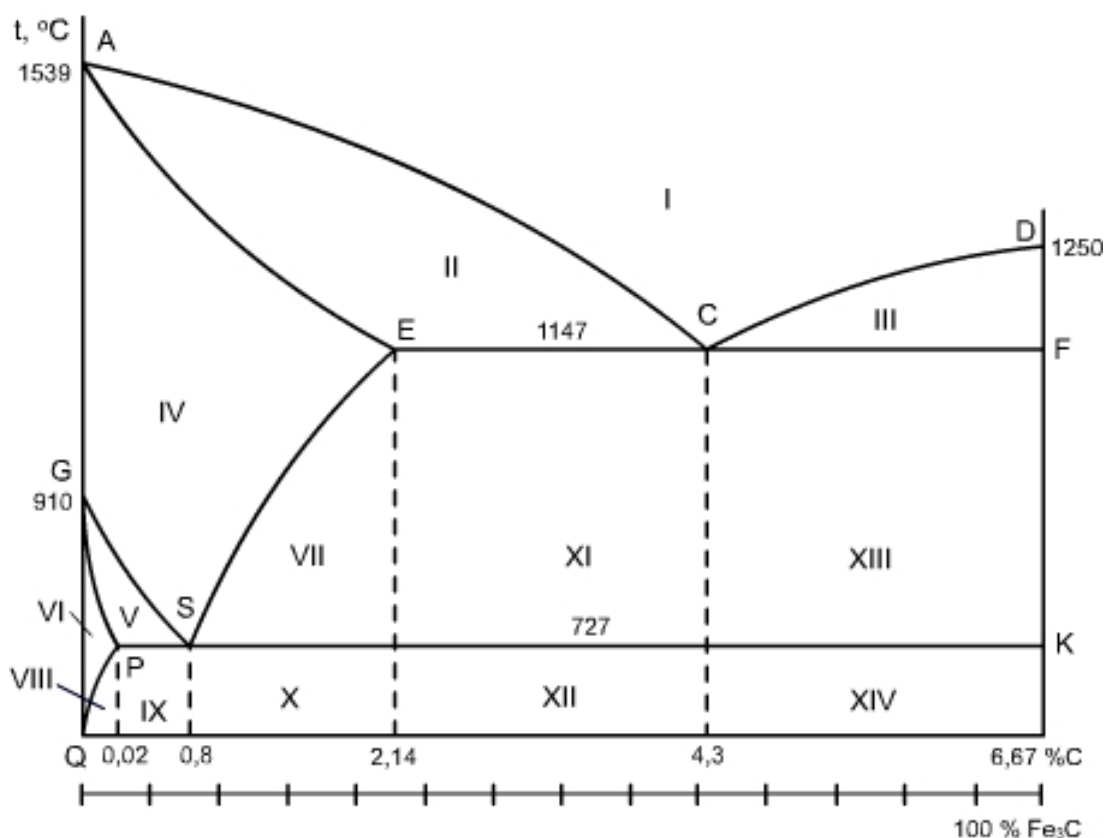


Рис. 5 Диаграмма состояния Fe – Fe $_3\text{C}$ (в упрощенном виде).

Первичная кристаллизация идет в интервале температур, ограниченных линиями ликвидус (ACD) и солидус (AECF).

Вторичная кристаллизация происходит за счет превращения железа одной аллотропической модификации в другую и за счет изменения растворимости углерода в аустените и феррите, которая уменьшается с понижением температуры. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цементита. В сплавах системы Fe-Fe₃C происходят следующие изотермические превращения:

Эвтектическое превращение на линии ECF (1147 °C)



Эвтектоидное превращение на линии PSK (727 °C)



Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется **ледебуритом** (Л), а эвтектоидная смесь феррита и цементита – **перлитом** (П). Ледебурит содержит 4,3 % углерода. При охлаждении ледебурита ниже линий PSK входящий в него аустенит превращается в перлит и при нормальной температуре ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита и называется ледебуритом превращенным (Л пр). Цементит в этой структурной составляющей образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита объясняет его большую твердость (HB 700) и хрупкость.

Перлит содержит 0,8 % углерода. В зависимости от формы частичек цементит бывает пластинчатый и зернистый. Является прочной структурной составляющей с твердостью (HB210).

Линии диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы представляют собой совокупность критических точек сплавов с различным составом, характеризующих превращения в этих сплавах при соответствующих температурах.

Рассмотрим значение линий диаграммы при медленном охлаждении.

ACD – линия ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.

АЕСF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

АС – из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита.

CD – линия выделения первичного цементита.

AE – заканчивается кристаллизация аустенита.

ЕСF – линия эвтектического превращения.

GS – определяет температуру начала выделения феррита из аустенита (910-727 °С).

GP – определяет температуру окончания выделения феррита из аустенита.

PSK – линия эвтектоидного превращения.

ES – линия выделения вторичного цементита.

PQ – линия выделения третичного цементита.

Области диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы: делят все поле диаграммы на области равновесного существования фаз. Каждой области диаграммы соответствует определенное структурное состояние, сформированное в результате происходящих в сплавах превращений.

I – Жидкий раствор (Ж).

II – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы аустенита (А).

III – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы цементита первичного (Ц_I).

IV – Кристаллы аустенита (А).

V – Кристаллы аустенита (А) и феррита (Ф).

VI – Кристаллы феррита (Ф).

VII – Кристаллы аустенита (А) и цементита вторичного (Ц_{II}).

VIII – Кристаллы феррита (Ф) и цементита третичного (Ц_{III}).

IX – Кристаллы феррита (Ф) и перлита (П).

X – Кристаллы перлита (П) и цементита вторичного (Ц_{II}).

XI – Кристаллы аустенита (А), ледебурита (Л) и цементита вторичного (Ц_{II}).

XII – Кристаллы перлита (П), цементита вторичного (Ц_{II}) и ледебурита

превращенного (Л пр).

XIII – Кристаллы ледебурита и цементита первичного (Ц_I).

XIV – Кристаллы цементита первичного (Ц_I) перлита (П) и ледебурита превращенного (Л пр).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C с обозначением фаз и структурных составляющих по всем областям диаграммы.
4. Характеристика линий и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.
5. Подробное описание изменений структуры при медленном охлаждении контрольного сплава. (Фрагмент диаграммы с контрольным сплавом).

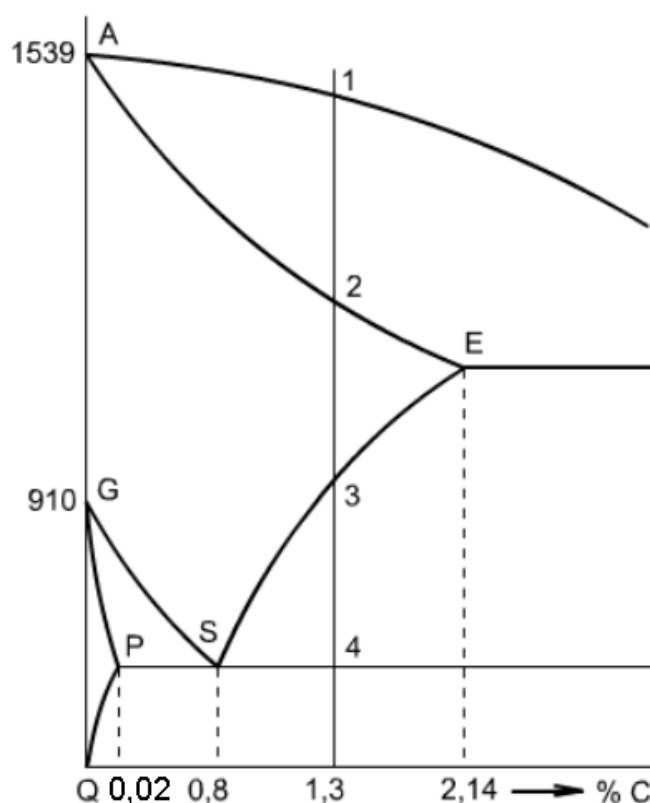


Рис. 6 Фрагмент диаграммы состояния Fe – Fe₃C с нанесенной ординатой состава сплава, содержащего 1,3 % C.

6. Схема микроструктуры контрольного сплава при нормальной температуре.
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое фаза?
2. Что такое аустенит?
3. Что такое феррит?
4. Что такое цементит?
5. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
6. В чем состоит сущность эвтектического превращения?
7. В чем состоит сущность эвтектоидного превращения?
8. Что такое ледебурит?
9. Что такое перлит?
10. На какой линии происходят эвтектические превращения?
11. На какой линии происходят эвтектоидные превращения?
12. Линия выделения первичного цементита?
13. Линия выделения вторичного цементита?
14. Линия выделения третичного цементита?
15. Назовите фазы железоуглеродистых сплавов.
16. Максимальное растворение углерода в Fe_a?
17. Максимальное растворение углерода в Fe_γ?
18. Содержание углерода в цементите?
19. При какой температуре происходит эвтектическое превращение?
20. При какой температуре происходит эвтектоидное превращение?

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ СПЛАВОВ

№ п/п	% С	№ п/п	% С	№ п/п	% С
1	0,2	11	5,1	21	1,2
2	1,1	12	2,8	22	3,5
3	3,0	13	1,1	23	4,3
4	4,3	14	0,45	24	5,5
5	5,0	15	1,7	25	0,15
6	0,02	16	1,0	26	0,8
7	0,35	17	4,5	27	0,9
8	0,8	18	2,7	28	2,4
9	1,3	19	0,7	29	4,7
10	2,5	20	0,4	30	1,2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АНАЛИЗ 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 «Диаграмма Fe – Fe₃C».

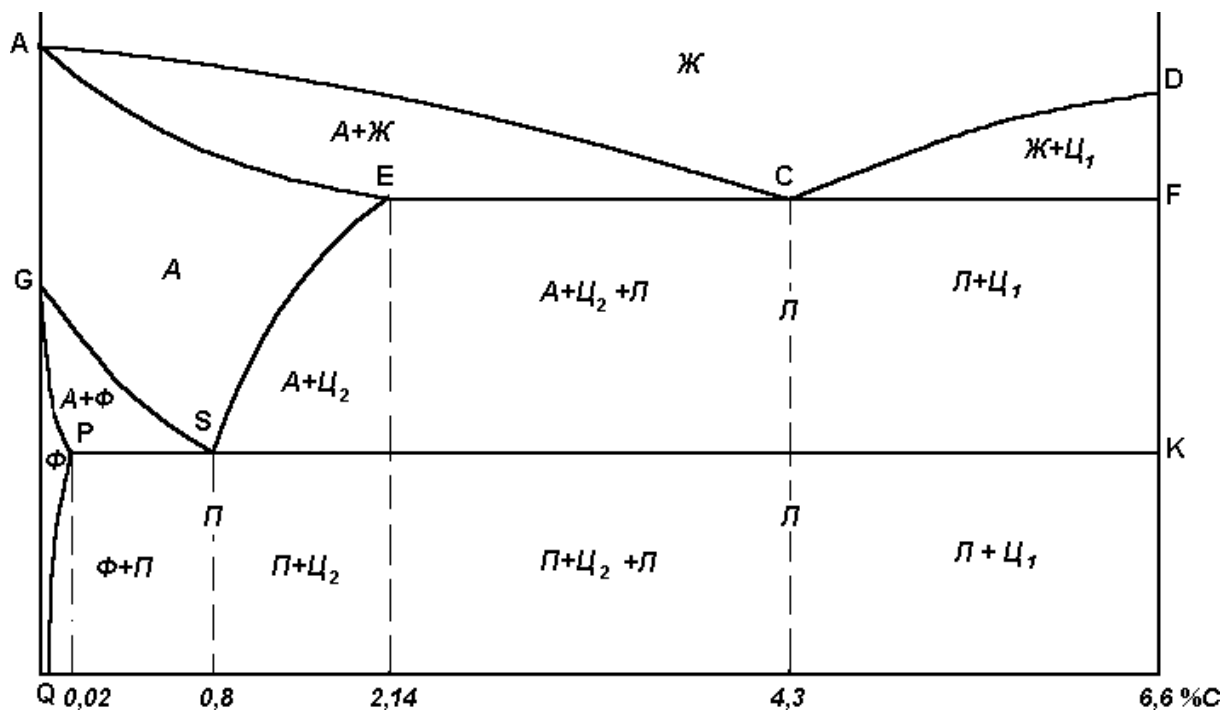
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 7) 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_α). Максимальная растворимость углерода в Fe_α составляет около 0,02 % (точка P). **Цементит** – это карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67 % C.

При температурах выше линии GSE равновесной фазой является **аустенит** – твердый раствор углерода в железе с гранцентрированной кубической решеткой (Fe_γ). Предельная растворимость углерода в Fe_γ – 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. 7 Диаграмма Fe – Fe₃C

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 °С аустенит эвтектоидного состава (0,8 % С) 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 % С, называют *эвтектоидной*. Стали, содержащие менее 0,8 % С называют *доэвтектоидными*, а более 0,8 % С – *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 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 *HВ*, а пластинчатого – 200-250 *HВ*. 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 споллировываемым 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 %.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить содержание основных положений работы.
2. Разобраться с помощью тренажера со стальной частью диаграммы Fe – Fe₃C.
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 %.

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 α - и γ -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 $727\text{ }^{\circ}\text{C}$?
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

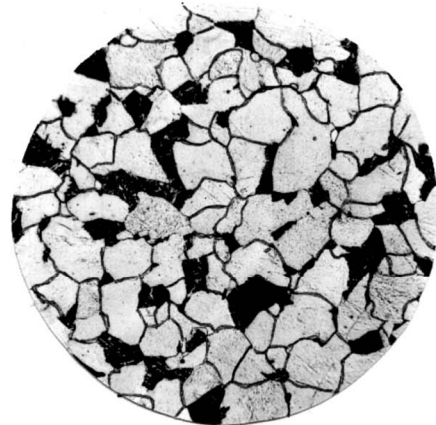


Рис.2



Рис.3



Рис.4



Рис.5

Лабораторная работа 5
АНАЛИЗ 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. Микрошлифы чугунов.
2. Металлографические микроскопы ММУ-3, МИМ-7 и т.п.

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 го 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. 8).

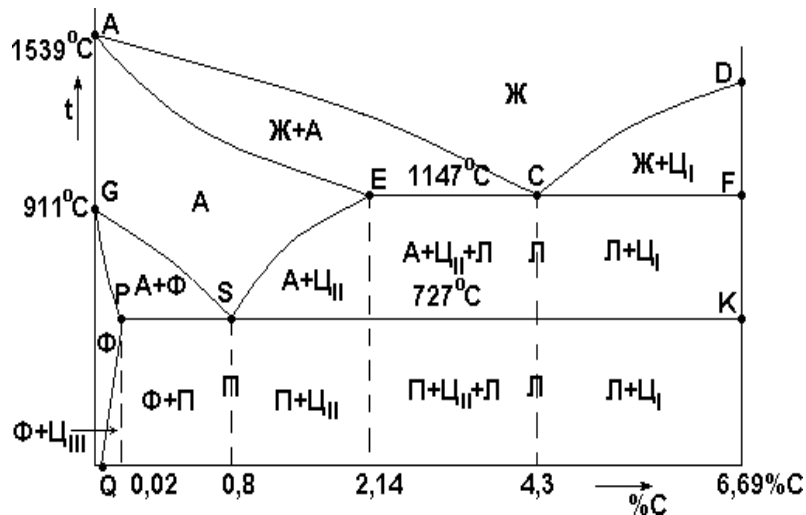


Рис. 8 Диаграмма железо-углерод:

Ж – жидкий раствор; А – аустенит (твёрдый раствор углерода в γ -Fe);

Ц – цементит (Fe_3C); Ф – феррит (твёрдый раствор углерода в α -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: *доэвтектический* со структурой перлит, ледебурит и вторичный цементит, *эвтектический* со структурой ледебурит и *заэвтектический* со структурой ледебурит и первичный цементит (рис. 9).



П

Л

Л = П + Ц_{II}

Ц_I

Л

Рис. 9

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/мм²), 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. 10

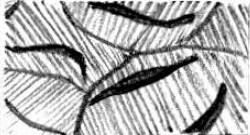
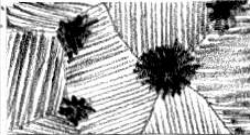
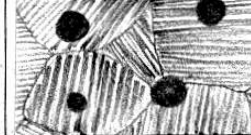




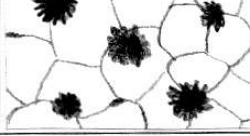

Структура металлической основы (твердость)	Тип чугуна и форма графита		
	Серый с пластинчатым графитом	Ковкий с хлопьевидным графитом	Высокопрочный с шаровидным графитом
Перлит (250 НВ)			
Перлит и феррит (200 НВ)			
Феррит (150 НВ)			
$\delta, \%$	0,2-0,5	5-10	10-15

Рис. 10

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. 10). 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 σ_B в кг/мм² (ГОСТ 1412-85). Например, СЧ12 ($\sigma_B = 12$ кг/мм²).

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 σ_b в кг/мм² – первая цифра, и относительное удлинение δ в % – вторая цифра (ГОСТ 1215 в редакции 1992 г.). Например, КЧ30-6 ($\sigma_b = 30$ кг/мм², $\delta = 6$ %). 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 σ_b (ГОСТ 7293-85). Например, ВЧ 40 ($\sigma_b = 40$ кг/мм²). 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 **легированными** 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	σ_b , МПа (кг/мм ²)	δ , %	<i>НВ</i>
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.

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.

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.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов: учеб. для студентов машиностр. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюшин; под ред. Г.П. Фетисова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. 862 с.

Дополнительная:

Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 648 с.

Лабораторная работа 6

АНАЛИЗ 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, нержавеющей, 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 низкоуглеродистых 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
12XH2	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	—
20Х2Н4А	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
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,55	1,35-1,65	4,0-4,4	0,3-0,4 Мо
20ХГНР	0,16-0,23	0,7-1,0	0,7-1,0	0,8-1,1	0,001-0,005В

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 закаливать 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	
45Х	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	1,25-165	0,15-0,25Mo
---------	-----------	---------	---------	----------	-------------

Хромистые стали (40Х,45Х). 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 закалывают в масле с температуры 820-850⁰С. 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 850⁰С в масле, отпуск при 620⁰С.

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, являются 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 400-500⁰С (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 400-500⁰С дает отношение $\sigma_{\text{уп}}/\sigma_{\text{в}}$ приблизительно равное 0,8.

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

Марка стали	Элементы			Другие элементы
	C	Si	Mn	
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	≤0,25Cr
60С2	0,57-0,65	1,50-2,00	0,60-0,90	≤0,30Cr
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	≤0,30Cr 0,80-1,20W
60С2Н2А	0,56-0,64	1,40-1,80	0,40-0,70	≤0,30Cr 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 830-860⁰С, охлаждение в масле. Отпуск 150-160⁰С. 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 930-950⁰С 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

А40Г	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 % Mn и относящаяся к аустенитному классу, имеет высокое сопротивление износу. Характерным для нее является то, что высокая износостойкость сочетается с высокой прочностью и низкой твердостью [$\sigma \sim 1000$ МН /м²(100 кгс/мм²), 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 давлений, 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°С.

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 σ 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 $\sigma_{0,2\%}^{600}/300$ —предел ползучести при допуске на деформацию 0,2% за 300 ч испытания при температуре 600° С.

Кроме того, жаропрочность характеризуют пределом длительной прочности σ - напряжением, вызывающим разрушение при данной температуре за данный интервал времени. Например, σ_{100}^{700} —предел длительной прочности при сточасовом нагружении при 700°С.

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, церконий, 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 отпуску 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 отпуску при 700-800°C (в зависимости от стали). Сталь 40Х9С2 после закалки 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 заковки с 1100-1150°С (охлаждение в воде или на воздухе).

Стареющие стали — это сложнелегированные 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
	С	Cr	Ni	Mo	V	
15ХМ Перлитный	0,11- 0,18	0,8-1,1	—	0,4-0,55	—	—
12Х1МФ	0,08- 0,15	0,9-1,2	—	0,25- 0,35	0,15- 0,3	—
15Х11МФ Мартенситный	0,12- 0,19	10-11,5	—	0,6-0,8	0,25- 0,4	—
40Х9С2	0,35- 0,45	8-10	—	—	—	2-3 Si
20Х12ВНМФ	0,17- 0,23	10,5- 12,5	0,5- 0,9	0,5-0,7	0,15- 0,3	0,5-0,9 Mn 0,7-1,1 W
09Х14Н16Б Аустенитный	0,07- 0,12	13-15	14-17	—	—	1-2 Mn 0,9-1,3 Nb
45Х14Р14В2М	0,4-0,5	13-15	13-15	0,25-0,4	—	2-2,8% W
40Х15Н7Г7Ф2МС	0,38- 0,47	14-16	6-8	0,65- 0,95	1,5-1,9	0,9-1,4 Si 6-8 Mn
ХН77ТЮР Сплав	≤0,07	19-22	Осн.	—	—	2,4-2,8 Ti 0,6-1 Al

						≤0.01В
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 В

Детали из стареющих сталей подвергают закалке в воде, масле или на воздухе с температуры 1050-1200°С с последующим длительным (8-24ч) старением при температуре 600-800°С. 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°С.

Для работы при 800-1100°С 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°С.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ 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 7

МИКРОСТРУКТУРА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

ОБОРУДОВАНИЕ

.Металлографический микроскоп, набор 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. 5, а схемы микроструктур приведены на рис. 11. 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 двойниково-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	AK12	1583-89E	Al-основа; 10...13 Si	Литьё без модифицирования	Эвтектика (α +Si) и крупные кристаллы Si.

46	Силумин	AK12	1583-89E	Al-основа; 10...13 Si	Литьё с модифицированием	Дисперсная эвтектика (α +Si) и α -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 α -раствор и Mg_4Al_3
48	Бронза оловянная	БрО10 Ф1	-	Cu – основа 9...11 Sn; 0,8...1,2 P	Литьё	Дендриты α -раствора (темные), эвтектоид (светлый) и Cu_3P
49	Баббит	Б83	1320-74	Sn – основа; 10...12 Sb; 5,5...6,5 Cu	Литьё	α -раствор, светлые крупные кристаллы β и мелкие Cu_3Sn

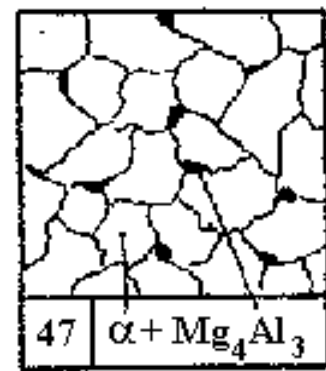
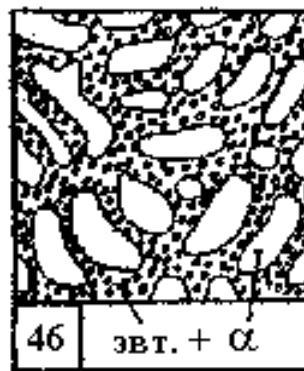
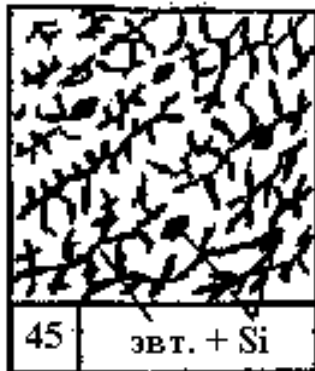
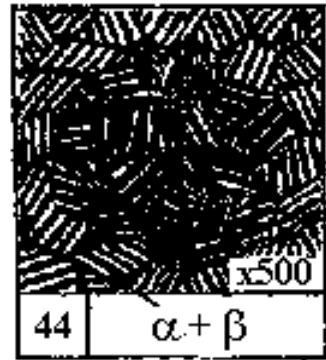
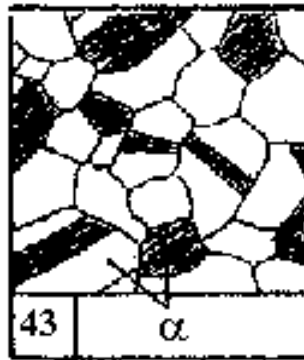
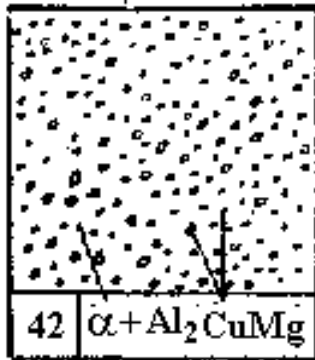


Рис. 11 Схемы микроструктур цветных сплавов.

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 α - твердого раствора меди в алюминии и вторичных дисперсных включений интерметаллических соединений CuAl_2 , Al_2CuMg (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 α -твердого раствора цинка в меди (латунь Л68). Микроструктура образца, подвергнутого холодной деформации и рекристаллизационному отжигу, состоит из равновесных зерен твердого раствора α , 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 α - твердого раствора и фазы β' (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 α - раствора или $\alpha+\beta$ - растворов на основе титана. Твердый раствор α на основе $\text{Ti}\alpha$ имеет гексагональную кристаллическую решетку, β - раствор на основе $\text{Ti}\beta$ - 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 α - 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 α раствора и мелких зерен кремния. Микроструктура модифицированного доэвтектического силумина имеет первичные светлые дендриты твёрдого раствора α 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 α - твердого раствора олова в меди с развитой дендритной ликвацией. Микроструктура литой бронзы, содержащей более 6 % олова, состоит из дендритов твердого раствора α и извилистых светлых включений хрупкого эвтектоида (дисперсной смеси двух фаз: α - раствора и $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ (δ -фазы)).

Оловянная бронза, раскисленная фосфором, дополнительно имеет в микроструктуре небольшие включения химического соединения Cu_3P светлоголубого цвета, например, бронза марки БрО10Ф1. Оловянные бронзы применяются для изготовления сложных по форме отливок, подшипников скольжения, арматуры.

Из *магниевого* литейных сплавов наиболее широко используются сплавы магний – алюминий – цинк, например, марки МЛ5. В литом состоянии микроструктура сплава МЛ5 состоит из α -твердого раствора алюминия и цинка в

магнии и включений хрупкого химического соединения Mg_4Al_3 . Применение длительного нагрева отливок при $400\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к растворению части включений химического соединения в твердом растворе, что позволяет повысить пластические свойства. Охлаждение в воде дает перенасыщенный α -раствор с частицами Mg_4Al_3 (закалка). Магниевые сплавы характеризуются небольшой плотностью ($1,7\text{ г/см}^3$).

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

Наличие в микроструктуре баббита мягкой, пластичной основы из раствора α 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.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

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. 11) 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 находят 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 α в дуралюминах?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов: учеб. для студентов машиностр. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюшин; под ред. Г.П. Фетисова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. 862 с.

Дополнительная:

Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 648 с.

Лабораторная работа 8

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

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.

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. 1).

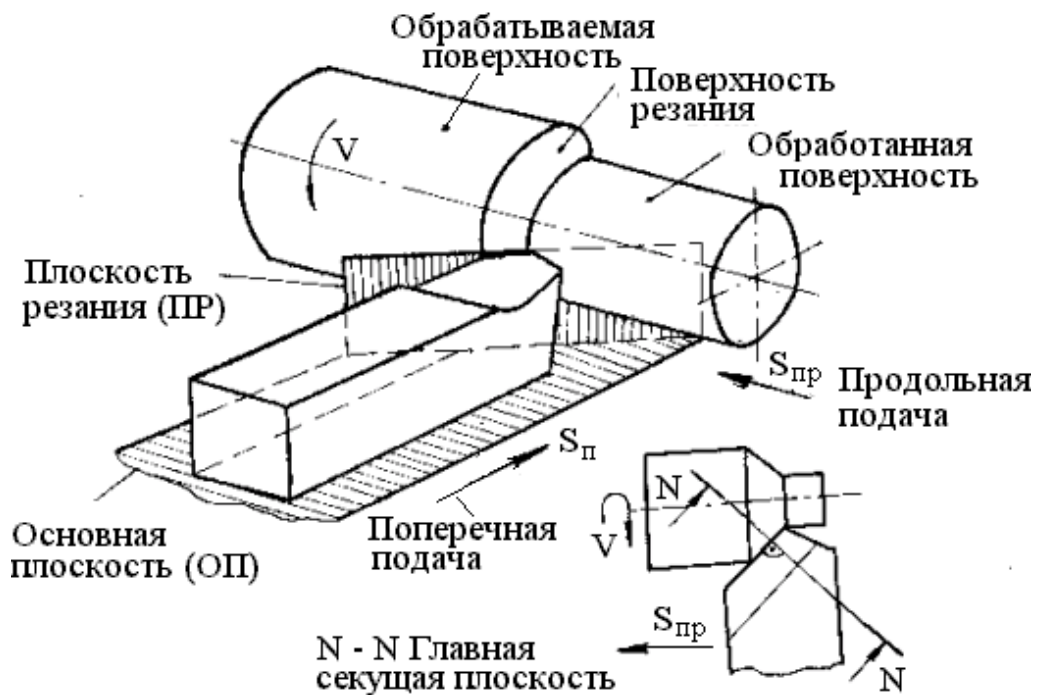


Рис. 12 Поверхности и координатные плоскости

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

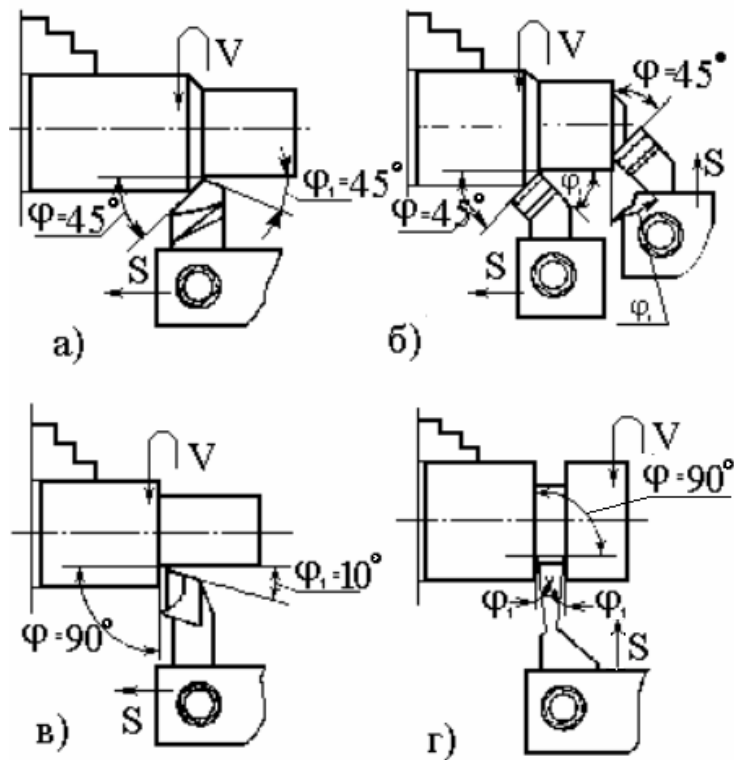


Рис. 2. Основные типы токарных резцов: а – проходной прямой; б – проходной отогнутый; в – проходной упорный; г – отрезной

Проходные прямые резцы предназначены для обработки наружных поверхностей с продольной подачей (рис. 2, а).

Проходной отогнутый резец наряду с обтачиванием с продольной подачей может применяться для подрезания торцов с поперечной подачей (рис. 2, б).

Проходной упорный резец применяется для наружного обтачивания с подрезкой уступа под углом 90° к оси (рис. 2, в).

Отрезной резец предназначен для отрезания частей заготовок и протачивания кольцевых канавок (рис. 2, г).

Токарный резец состоит из стержня, служащего для закрепления его в резцедержателе станка, и головки резца (рис. 3).

Различают следующие элементы режущей части резца: передняя поверхность, по которой сходит стружка. Главная задняя поверхность, обращенная к поверхности резания заготовки. Вспомогательная задняя поверхность, обращенная 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.

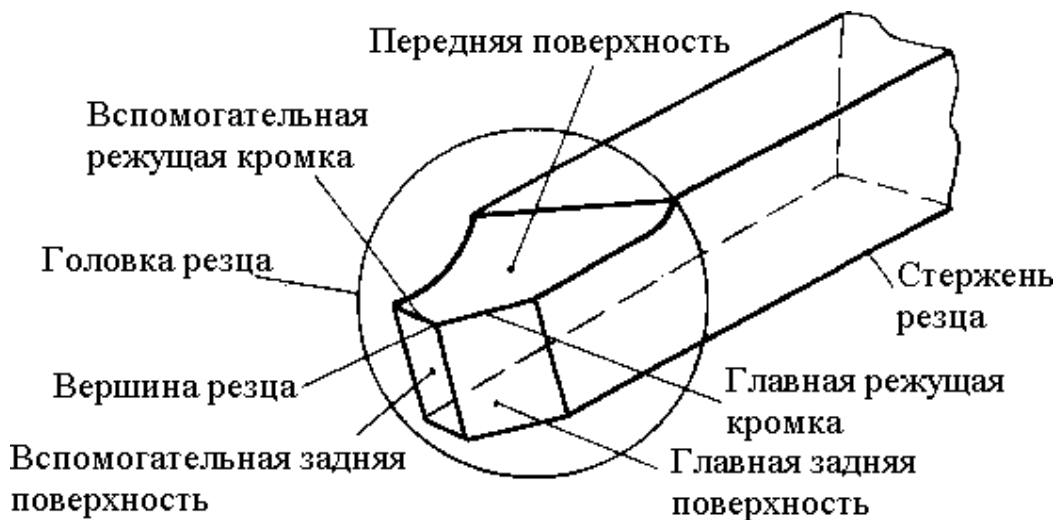


Рис. 13 Элементы токарного резца

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 α , главный задний угол β , угол заострения γ и угол резания ϕ (рис. 4). Главный передний угол α образован плоскостью перпендикулярной плоскости резания и передней поверхностью. Главный задний угол β – плоскостью резания и главной

задней поверхностью. Угол заострения σ – передней и главной задней поверхностями $\sigma = 90^\circ - (\alpha + \beta)$. Угол резания δ образован плоскостью резания и передней поверхностью $\delta = 90^\circ - \alpha$.

В основной плоскости измеряют: главный угол в плане α , вспомогательный угол в плане α_1 и угол при вершине σ (рис. 4). Главный угол в плане α образован проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Вспомогательный угол в плане α_1 – проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением обратным подаче. Угол при вершине σ – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость: $\sigma = 180^\circ - (\alpha + \alpha_1)$. В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки δ – угол между главной режущей кромкой и плоскостью параллельной основной.

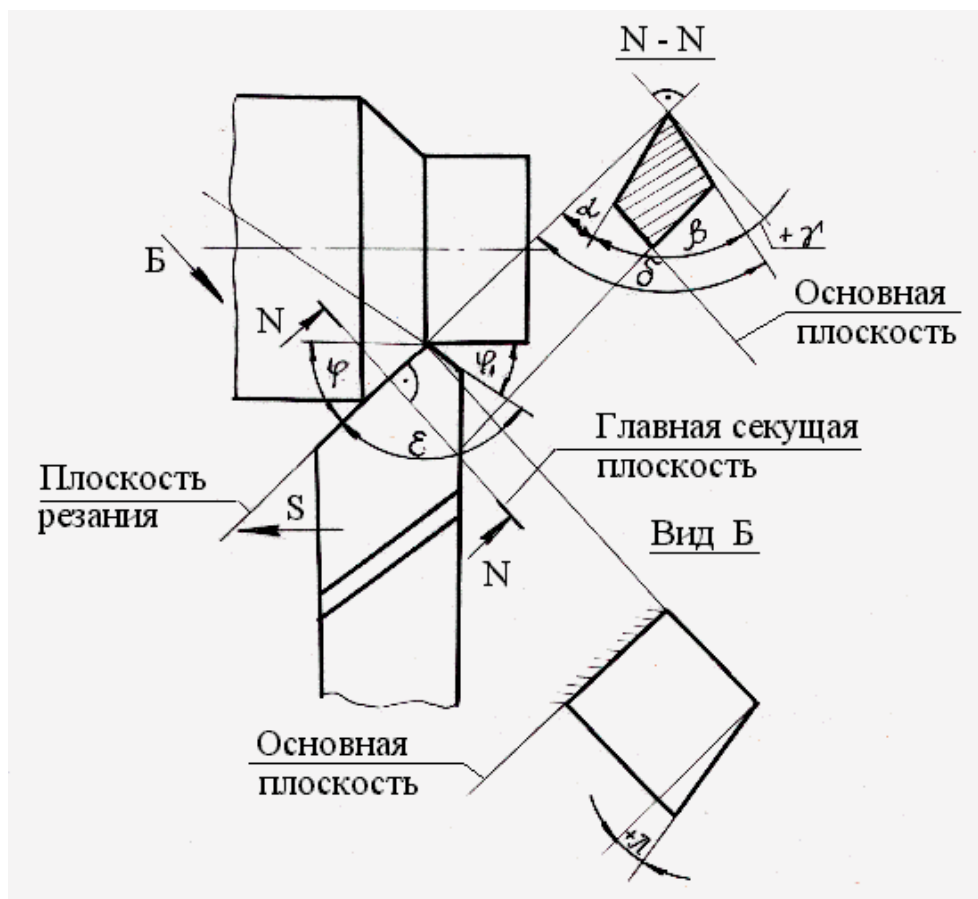


Рис. 14 Углы проходного резца

Углы резца имеют следующее основное назначение:

1. Главный передний угол α оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла α 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 α ведёт к понижению прочности режущего инструмента. На практике величину угла α 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 β способствует уменьшению трения между обрабатываемой поверхностью заготовки и главной задней поверхностью резца. Величина его назначается в пределах от 6° до 12° .

3. Угол α влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением угла α шероховатость уменьшается, однако при малых значениях угла α возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработки.

4. С уменьшением угла α_1 шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность и снижается износ вершины резца.

5. Угол наклона главной режущей кромки α 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 α отрицателен и стружка сходит в направлении подачи. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то $\alpha = 0$ и стружка сходит по оси резца. Если вершина резца является низшей точкой главной режущей кромки, то α положителен и стружка сходит в направлении обратной подачи. При обработке заготовок на токарных автоматах стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов на соседних позициях.

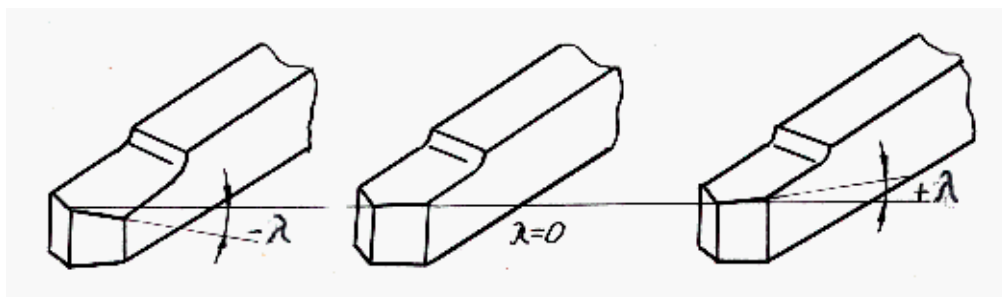


Рис. 5. Углы наклона главной режущей кромки

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 (Т30К4, Т15К6, Т5К10), титано-тантало-вольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9). 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 ВК 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.

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 α 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 β пользуются вертикальной планкой угольника a , которой касаются главной задней поверхности резца.

Необходимо помнить, что главные углы резца α и β измеряют в плоскости нормальной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Полученные значения заносят в таблицу 1.

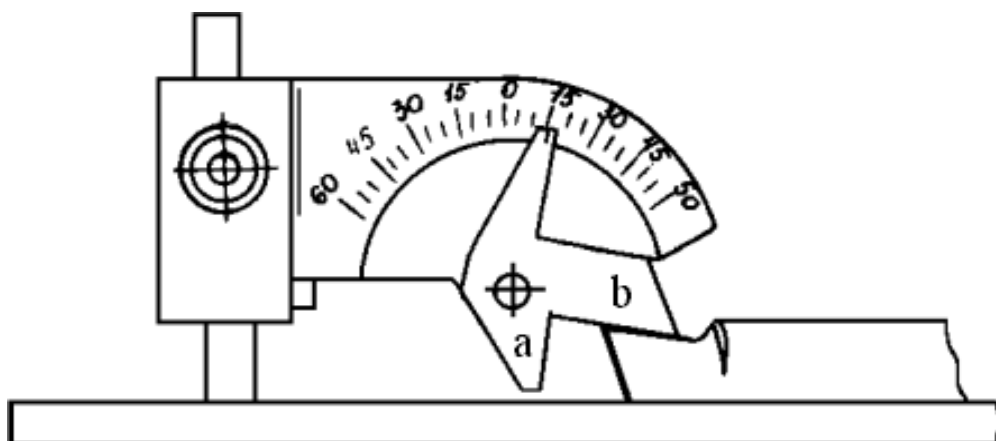


Рис. 15 Схема измерения углов в главной секущей плоскости

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

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

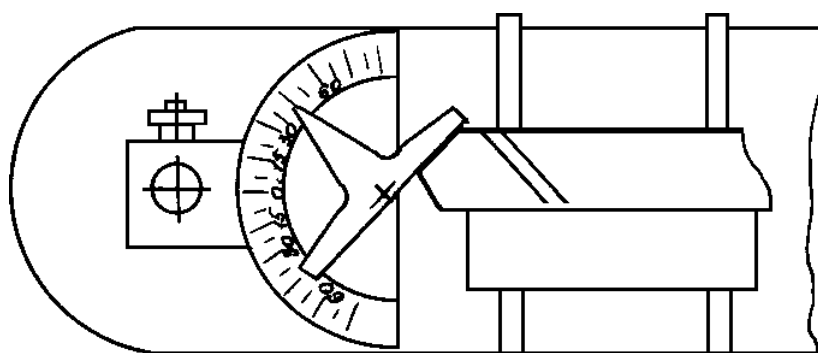


Рис. 16 Схема измерения углов в основной плоскости

Для определения величины угла α , регулируя положение измерительного устройства по высоте, горизонтальную планку приводят в соприкосновение с главной режущей кромкой без зазора (рис. 8).

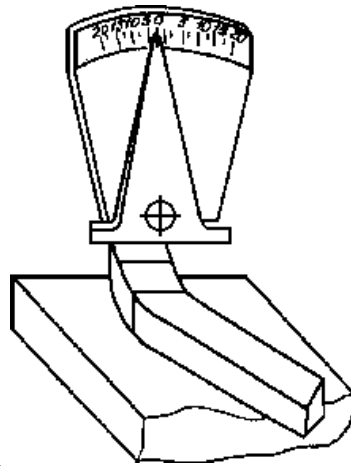


Рис. 17 Схема измерения угла

Практическое выполнение работы завершают расчётом по соответствующим зависимостям углов при вершине α , заострения β и резания γ .

Значения углов резцов

Наименование резцов	Углы в градусах									
	Главный передний угол	Главный задний угол	Угол заострения	Угол резания	Главный угол в плане	Вспомогательный угол в плане	Угол при вершине	Угол наклона режущей кромки	Размер резца	Материал твёрдой пластины
	α	β	γ	δ	ϵ	ζ	η	θ	$b \cdot h$	—
Проходной отогнутый										
Проходной упорный										
Отрезной										

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.

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 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной расчетно-графической работы является закрепление теоретических знаний и практических навыков, необходимых при расчете допусков, посадок, квалитетов точности для узлов и деталей машин.

Для выполнения работы необходимо научиться пользоваться справочной литературой, стандартами, используемыми при производстве измерений деталей машин.

Предметом изучения в данной работе являются: гладкие цилиндрические соединения, подшипники качения и размерные цепи.

Задание №1

1. Записать условное и числовое значение посадки в виде дроби;
2. Определить систему, в которой выполняется сопряжение, тип посадки, квалитет точности исполнения деталей".
3. По таблицам СТ СЭВ 144-75 определить предельные отклонения размеров вала и отверстия, допуски на изготовление.
4. Рассчитать наибольшие, наименьшие и средние зазоры или натяги, допуски посадок с проверкой результата по допускам на размеры отверстия и вала;
5. В произвольно выбранном масштабе построить схемы полей допусков деталей и привести основные характеристики сопряжений.
6. Вычертить эскизы деталей с обозначениями допусков на изготовление.

Решение

1.1 Расчет посадки с зазором

Условное обозначение заданного гладкого цилиндрического соединения О 3 Н11/d11.

Данное соединение выполняется в системе отверстия (так как основное отклонение Н относится к отверстию). Исходя из данных таблицы 1.16, 1.27, 1.28 [1], определяем, что указанное соединение формируется по посадке с зазором (так как поле допуска вала d11 располагается ниже нулевой линии), а поле допуска отверстия находится выше поля допуска вала.

Предельное отклонение размеров:

отверстия О 3 Н11, EI = 0; ES = +75 мкм

вала О 3 d11, ei = -105 мкм; es = -30 мкм

Предельные размеры и допуски на изготовление:

отверстия $D_{\max} = D + ES = 3,0 + 0,075 = 3,075$ мм

$D_{\min} = D + EI = 3,0 - 0 = 3,0$ мм

$TD = D_{\max} - D_{\min} = 3,075 - 3,0 = 0,075$ мм

вала $d_{\max} = d + es = 3,0 - 0,030 = 2,970$ мм

$$d_{\min} = d + ei = 3,0 - 0,105 = 2,895 \text{ мм}$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 2,970 - 2,895 = 0,075 \text{ мм}$$

Величины предельных зазоров

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 3,075 - 2,895 = 0,180 \text{ мм}$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 3,0 - 2,970 = 0,030 \text{ мм}$$

$$\text{Средний зазор } S_m = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (0,180 + 0,030) / 2 = 0,105 \text{ мм}$$

$$\text{Допуски посадки } T_s = S_{\max} - S_{\min} = 0,180 - 0,030 = 0,150 \text{ мм}$$

$$\text{или } T_s = TD + Td = 0,075 + 0,075 = 0,150 \text{ мм}$$

По полученным данным строим схему расположения полей допусков гладкого цилиндрического соединения:

Рис. 1 Основные характеристики сопряжения O 3 H11 / d11 (посадка с зазором). а) схема расположения полей допусков

1.2 Расчет посадки с натягом

Условные обозначения соединения O250 S7 / h6

Данное сопряжение выполняется в системе вала (так как основное отклонение h относится к валу). По данным, изложенным в материалах [1], определяем, что соединение выполняется по посадке с натягом, так как поле допуска отверстия S7 находится ниже поля допуска вала h6.

Предельное отклонение размеров:

$$\text{отверстия O 250 S7, EI} = -190 \text{ мкм; ES} = -138 \text{ мкм}$$

$$\text{вала O 250 h6, es} = 0 ; ei = -32 \text{ мкм}$$

Предельные размеры и допуски на изготовление:

$$\text{отверстия } D_{\max} = D + ES = 250,0 - 0,138 = 249,862 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D + EI = 250,0 - 0,190 = 249,810 \text{ мм}$$

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = 249,862 - 249,810 = 0,052 \text{ мм}$$

$$\text{вала } d_{\max} = d + es = 250,0 + 0 = 250,0 \text{ мм}$$

$$d_{\min} = d + ei = 250,0 - 0,032 = 249,968 \text{ мм}$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 250,0 - 249,968 = 0,032 \text{ мм}$$

Величины предельных натягов:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 250,0 - 249,810 = 0,190 \text{ мм}$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 249,968 - 249,862 = 0,106 \text{ мм}$$

$$\text{Средний натяг } N_m = (N_{\max} + N_{\min}) / 2 = (0,190 + 0,106) / 2 = 0,148 \text{ мм}$$

$$\text{Допуски посадки } T_N = N_{\max} - N_{\min} = 0,190 - 0,106 = 0,084 \text{ мм}$$

$$\text{или } T_N = TD + Td = 0,052 + 0,032 = 0,084 \text{ мм}$$

По полученным данным строим схему расположения полей допусков гладкого цилиндрического соединения

Рис. 2 Основные характеристики сопряжения O 250 S7 / h6 (посадка с натягом).а). схема расположения полей допусков

1.3 Расчет посадки переходной

Условное обозначение соединения O24 M6 / h5.

Данное сопряжение выполняется в системе вала (т.к. h - основное отклонение вала) по 6 качеству для отверстия и по 5 качеству для вала. По данным, изложенным в материале[1], определяем, что соединение выполняется по переходной посадке, т.к. поле допуска вала h5 относится к группе переходных посадок.

Предельные отклонения размеров:

$$\text{отверстия O 24 M6, } ES = -4 \text{ мкм; } EI = -17 \text{ мкм}$$

$$\text{вала O 24 h5 } es = 0 ; ei = -9 \text{ мкм}$$

Предельные размеры и допуски на изготовление

$$\text{отверстия } D_{\max} = D + ES = 24,0 - 0,004 = 23,996 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D + EI = 24,0 - 0,017 = 23,983 \text{ мм}$$

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = 23,996 - 23,983 = 0,013 \text{ мм}$$

$$\text{- вала } d_{\max} = d + es = 24,0 + 0 = 24,0 \text{ мм}$$

$$d_{\min} = d + ei = 24,0 - 0,009 = 23,991 \text{ мм}$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 24,0 - 23,991 = 0,009 \text{ мм}$$

Величины предельных зазоров и натягов:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 23,996 - 23,991 = 0,005 \text{ мм}$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 24,0 - 23,983 = 0,017 \text{ мм}$$

$$\text{Средний натяг } N_c = e_c - E_c$$

$$\text{где } e_c = (e_s + e_i) / 2 = (0 - 0,009) / 2 = -0,0045 \text{ мм} = -4,5 \text{ мкм}$$

$$E_c = (E_S + E_I) / 2 = (-0,004 - 0,017) / 2 = -0,0105 \text{ мм} = -10,5 \text{ мкм}$$

$$\text{Отсюда } N_c = -0,0045 + 0,0105 = +0,0060 \text{ мм}$$

Допуск посадки:

$$T_N(T_S) = N_{\max} - N_{\min} = N_{\max} - (-S_{\max}) = 0,017 - (-0,005) = 0,022 \text{ мм}$$

$$\text{или } T_N(T_S) = TD + Td = 0,013 + 0,009 = 0,022 \text{ мм}$$

По полученным данным строим схему расположения полей допусков соединения:

Рис. 3 Основные характеристики сопряжения O 24 M6 / h5 (посадка переходная) а). схема расположения полей допусков

Расчет посадок для подшипников качения

Для подшипника качения, работающего в опоре вала редуктора необходимо установить параметры сопряжения с деталями редуктора. Для этого требуется:

1. По материалам ГОСТ 3325 - 55 и СТ СЭВ 773 - 77, изложенным в технической литературе [2, 3], определить вид нагружения наружного и внутреннего колец подшипника и вычертить соответствующие схемы нагружения;
2. Для кольца, имеющего циркуляционное нагружение, рассчитать интенсивность нагрузки на посадочную поверхность детали редуктора. По полученным, а также исходным данным, определить качества сопрягаемых деталей (вала и отверстия в корпусе редуктора) и назначить посадки для обоих колец подшипника;
3. Рассчитать предельные размеры посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе редуктора, а также обоих колец;
4. Рассчитать допуски размеров и посадок соответствующих поверхностей, определить зазоры или натяги в соединениях;
5. Вычертить эскизы полей допусков полученных сопряжений с нанесением основных характеристик;
6. Произвести проверку подшипника на наличие рабочего зазора; при необходимости произвести корректировку по посадке соответствующего кольца.

Решение

Определить посадку наружного и внутреннего колец подшипника в корпус и на вал редуктора при следующих данных (см. рис.1):

- диаметр наружного кольца $D = 215$ мм
- диаметр внутреннего кольца $d = 120$ мм
- ширина подшипника $B = 40$ мм
- класс точности подшипника 0
- радиальные реакции в опорах $R_1 = R_2 = R = 35$ кН
- характер нагрузки с сильными толчками . Перегрузка до 300%

В соответствии с условиями работы подшипника в качестве опоры вала в редуктора определяем, что вращающееся вместе с валом внутреннего кольца подшипника испытывает при постоянно направленной радиальной нагрузке R_1 циркуляционное нагружение, а наружное кольцо, не вращающееся относительно радиальной нагрузки, испытывает местное нагружение.

а) Циркуляционное нагружение б) Местное нагружение

Рис 1.Схемы нагружения колец подшипника

Посадку внутреннего кольца определяем по интенсивности нагрузки, рассчитываемой по формуле:

$$p_R = k_1 * k_2 * k_3 * R_1 / B$$

где $R_1 = R_2 = R = 35$ кН - радиальная нагрузка на опору;

k_1 - коэффициент характера нагрузки.

Для нагрузки с сильными толчками принимаем

$$k_1 = 1,8 \text{ (табл. П 39, [4])}$$

k_2 - коэффициент характера конструкции.

Для жесткого корпуса редуктора и сплошного вала принимаем

$$k_2 = 1,0 \text{ (табл. П 40, [4])}$$

k_3 - коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами в подшипниках.

Для однорядных подшипников принимаем

$$k_3 = 1,0 \text{ (табл. П 40,[4])}$$

$p_R = ((35000/40) * 1,8 * 1,0 * 1,0) = 1575 \text{ Н / ммВ}$ соответствии с данными табл. 4.92 [2] принимаем для внутреннего кольца подшипника посадку сопряжения с валом, выполненным по полю допуска вала к 6.

Для наружного кольца, испытывающего местное нагружение при динамической перегрузке, принимаем сопряжение отверстием в неразъемном корпусе, выполненным по полю допуска отверстия Н7. (табл. 4.89 [2])

Находим предельные отклонения и размеры

а) вала О 120 к 6, где $es = + 28 \text{ мкм}$; $ei = + 3 \text{ мкм}$. (табл. 1.28 [1])

$$d_{\max} = d + es = 120,0 + 0,028 = 120,028 \text{ мм}$$

$$d_{\min} = d + ei = 120,0 + 0,003 = 120,003 \text{ мм}$$

$$Td = es - ei = 0,028 - 0,003 = 0,025 \text{ мм.}$$

б) отверстия в корпусе О 215 Н7, где $ES = +46 \text{ мкм}$, $EI = 0$ (табл. 1.36 [1])

$$D_{\max} = D + ES = 215,0 + 0,046 = 215,046 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D + EI = 215,0 + 0 = 215,0 \text{ мм}$$

$$TD = ES - EI = 0,046 - 0 = 0,046 \text{ мм.}$$

Находим предельные отклонения и размеры подшипника.

а) внутреннего кольца О120, класс точности 0, для которого

$$ES = 0, EI = - 25 \text{ мкм. (табл. 4.82 [2])}$$

$$\text{Отсюда } D^{\text{н}}_{\max} = D + ES = 120,0 + 0 = 120,0 \text{ мм}$$

$$D^{\text{н}}_{\min} = D + EI = 120,0 - 0,025 = 119,975 \text{ мм}$$

$$TD^{\text{н}} = D^{\text{н}}_{\max} - D^{\text{н}}_{\min} = ES - EI = 0 - (- 25) = 0,025 \text{ мм}$$

б) наружного кольца О 215, класс точности 0, для которого

$$es = 0, ei = - 30 \text{ мкм. (табл. 4.83 [2])}$$

$$\text{Отсюда } d^{\text{н}}_{\max} = d + es = 215,0 + 0 = 215,0 \text{ мм}$$

$$d^{\text{н}}_{\min} = d + ei = 215,0 - 0,030 = 214,970 \text{ мм}$$

$$Td^{\text{н}} = d^{\text{н}}_{\max} - d^{\text{н}}_{\min} = es - ei = 0 - (- 30) = 30 \text{ мкм} = 0,030 \text{ мм}$$

Определяем параметры сопряжений

а) внутреннее кольцо подшипника - вал

$$N_{\max} = d_{\max} - D^{\text{н}}_{\min} = 120,028 - 119,975 = 0,053 \text{ мм}$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D^{\text{н}}_{\max} = 120,003 - 120,0 = 0,003 \text{ мм}$$

$$T_N = N_{\max} - N_{\min} = 0,053 - 0,003 = 0,050 \text{ мм}$$

б) наружное кольцо подшипника - корпус

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}^{\text{п}} = 215,046 - 214,970 = 0,076 \text{ мм}$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}^{\text{п}} = 215,0 - 215,0 = 0 \text{ мм}$$

$$T_s = S_{\max} - S_{\min} = 0,076 - 0 = 0,076 \text{ мм}$$

По полученным данным строим схему расположения полей допусков деталей с основными характеристиками соединения

Рис. 2. Схема расположения полей допусков подшипникового узла.

Определяем посадочный (рабочий) зазор в подшипнике

Радиальный посадочный зазор в подшипнике после его установки на вал по посадке к6 определяется как $g_{\text{п}} = g_{\text{н}}^{\text{ср}} - \Delta d_1^{\text{max}}$,

где $g_{\text{н}}^{\text{ср}}$ - средний начальный зазор в подшипнике;

$$g_{\text{н}}^{\text{ср}} = 0,5 * (g_{\text{н}}^{\text{max}} + g_{\text{н}}^{\text{min}})$$

Исходя из данных приложения IX [3], имеем для радиального однорядного роликового подшипника с цилиндрическим отверстием:

$$g_{\text{н}}^{\text{max}} = 115 \text{ мкм}, g_{\text{н}}^{\text{min}} = 45 \text{ мкм}$$

$$\text{Отсюда } g_{\text{н}}^{\text{ср}} = 0,5 * (115 + 45) = 80 \text{ мкм}$$

Δd_1^{max} - диаметральная деформация беговой дорожки внутреннего кольца после посадки

$$\Delta d_1^{\text{max}} = N_{\text{эф}} * (d / d_0),$$

где $N_{\text{эф}} = 0,85 * N_{\text{max}}$ - эффективный натяг в посадке

$N_{\text{max}} = 53 \text{ мкм}$ - максимальный натяг в посадке

$d = 120 \text{ мм}$ - номинальный диаметр внутреннего кольца

$d_0 = d + (D - d) / 4$ - приведенный диаметр внутреннего кольца

$$\text{В нашем случае } d_0 = 120,0 + (215,0 - 120,0) / 4 = 143,75 \text{ мм}$$

$$N_{\text{эф}} = 0,85 * 53 = 45,05 \text{ мкм}$$

$$\Delta d_1^{\text{max}} = 45,05 * (120,0 / 143,75) = 37,6 \text{ мкм}$$

Тогда радиальный посадочный зазор составит

$$g_{\text{п}} = 80,0 - 37,6 = + 42,4 \text{ мкм}$$

Из полученных данных следует, что радиальный зазор сохраняется (это необходимо для нормальной работы подшипника). Следовательно, тип подшипника выбран верно.

Расчет размерной цепи

В соответствии с заданным эскизом узла редуктора и номинальными размерами его элементов выполнить проектный расчет размерной цепи методом полной взаимозаменяемости, для чего необходимо:

1. Определить все составляющие звенья размерной цепи во взаимосвязи с заданным исходным (замыкающим) звеном;
2. Построить схему размерной цепи с указанием номинальных размеров звеньев и определить характер составляющих звеньев (увеличивающие, уменьшающие);
3. По способу допусков одного качества определить средний качество составляющих звеньев размерной цепи;
4. С использованием принципа максимума - минимума по заданным предельным отклонениям исходного звена рассчитать допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев;
5. Провести проверку полученного результата по уровню допуска на замыкающее звено как суммы допусков составляющих звеньев и сравнение его с заданным допуском. При необходимости произвести корректировку допусков составляющих звеньев и вновь произвести проверку.

Решение

Исходные данные:

$A_1 = 52$ мм, $A_2 = 30$ мм, $A_3 = 3,0$ мм, $A_4 = 75$ мм- исходные размеры звеньев.

$ES(A_?) = 0$ мкм, $EI(A_?) = -300$ мкм - предельные отклонения исходного звена.

Согласно рисунку и исходным данным строим схему размерной цепи узла редуктора.

Исходя из полученной величины a_{cp} , по таблицам [1] устанавливаем соответствие

$a_{cp} = 47$ единиц 9 качеству для размеров составляющих звеньев и допуски на них,

а именно:

$A_1 = 52^{+0,074}$ мм, $A_2 = 30^{+0,062}$ мм - для увеличивающих звеньев (охватывающие размеры) и для поля допуска основного отверстия.

$A_3 = 3,0^{-0,025}$ мм, $A_4 = 75^{-0,074}$ мм - для уменьшающих звеньев (охватываемые размеры) и для поля допуска основного вала.

По полученным данным выполняем проверочный расчёт цепи :

$$TA_i = 0,074 + 0,062 + 2 * 0,025 + 0,074 = 0,260 \text{ мм}$$

Определяем предельные и средние величины отклонений поля допуска A

Верхнее предельное отклонение:

$$ES(A_{зам}) = ES(A_i^{yB}) - EY(A_i^{yM}) = (+0,074 + 0,062) - (-0,025 * 2 - 0,074) = +0,260$$

мм

Нижнее предельное отклонение:

$$EY(A_{зам}) = EY(A_i^{yB}) - ES(A_i^{yM}) = (+0 + 0) - (0 + 0 + 0) = 0$$

Координаты E_c середины поля допуска:

$$E_c(A_{зам}) = E_c(A_i^{yB}) - E_c(A_i^{yM}) = (+0,037 + 0,031) - (-0,0125 * 2 - 0,037) = +0,130 \text{ мм}$$

Полученное поле допуска замыкающего звена не соответствует исходному полю допуска $A_{исх}$, но принимается в качестве базового. Полученные допуски на размеры составляющих звеньев должны удовлетворять выражению: $TA_{зам} \leq TA_i$. Отсюда, при сравнении $TA_{зам} = 0,300$ мм с $TA_i = 0,260$ мм можно заключить, что размерная цепь решена правильно, а узел редуктора будет работоспособен после сборки и в процессе эксплуатации.

Рис. Схема размерной цепи

Заключение

В результате выполнения данной расчетно-графической работы были закреплены и использованы на практике теоретические положения по дисциплине

"Метрология, стандартизация и сертификация". В ходе выполнения работы применялась справочная литература и стандарты.

Выполнение заданий по расчету и анализу допусков, посадок, квалитетов точности, а также определению видов нагружения наружного и внутреннего колец подшипника и расчету составляющих звеньев цепи для узлов и деталей машин позволило на практике закрепить полученные практические навыки и теоретические знания.

Литература

Допуски и посадки. Справочник под ред. Мягкова В.Д. и др. (часть 1). - М.: Машиностроение, 1982. - 544 с.

Допуски и посадки. Справочник под ред. Мягкова В.Д. и др. (часть 2). - М.: Машиностроение, 1982. - 448 с.

Зябрева Н.Н. и др. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения". Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1977. - 204 с.

Козловский Н.С., Ключников В.М. Сборник примеров и задач. - М.: Машиностроение, 1983. - 304 с.

Юдин В.Н. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине "Метрология, стандартизация и сертификация". - Коломна: КИ МГОУ, 2001. - 45 с.

6. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987. - 352 с

Лабораторная работа 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБИВНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ТВЕРДОГО

ДИЭЛЕКТРИКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей электрического и теплового пробоев твердых диэлектриков.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Испытательная установка. Образцы диэлектриков

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основные виды пробоя твердых диэлектриков и их особенности

Твердые диэлектрики очень широко применяются в качестве изолирующих материалов в электротехнических устройствах (электрических машинах, кабелях, конденсаторах, трансформаторах, и др.). Наибольшее распространение получили органические твердые диэлектрики на основе целлюлозы: электроизоляционная бумага и картон; гетинакс (получается путем горячего прессования бумаги, пропитанной бакелитом - специальной смолой); текстолит (изготавливается путем горячего прессования хлопчатобумажной ткани с бакелитом); неорганические твердые диэлектрики на основе стекла, слюды и асбеста, а также полимеры (полиэтилен, фторопласт и др.). При пробое твердых диэлектриков, в отличие от пробоя газообразных и жидких диэлектриков, происходит необратимый процесс их разрушения, т.е. не происходит восстановления электрической прочности после снятия напряжения.

Различают три вида пробоя твердых диэлектриков: электрический, тепловой и электрохимический [2].

Последний вид пробоя происходит, в основном, в условиях повышенной температуры и влажности воздуха. В этих условиях происходят электрохимические процессы старения изоляционных материалов, приводящие к необратимому уменьшению сопротивления изоляции и в итоге - к её пробое. Процесс старения носит длительный характер.

Электрический пробой однородных твердых диэлектриков происходит под действием ударной ионизации их молекул или в результате неупругого смещения (т.е. без возврата на прежнее место) связанных зарядов диэлектрика под действием внешнего электрического поля.

Опыт показывает, что пробивное напряжение изоляции зависит от ее толщины (т. е. от расстояния между электродами a): чем толще слой данного электроизоляционного материала, тем выше его пробивное напряжение. В то же время слои одной и той же толщины из разных электроизоляционных материалов имеют различные значения пробивных напряжений. Это дает основание для введения параметра электроизоляционного материала, определяющего его способность противостоять пробоем – *электрической прочности* $E_{пр}$.

Для простейшего случая равномерного электрического поля в диэлектрике можно принять: $E_{пр} = U_{пр} / a$, откуда $U_{пр} = E_{пр} a$.

Электрическая прочность диэлектрика может рассматриваться как пробивная напряженность электрического поля, т. е. та величина напряженности поля в диэлектрике, при достижении которой (в данном месте) происходит его пробой. Чаще всего, говоря об электрической прочности электроизоляционного материала, имеют в виду среднюю пробивную напряженность, т. е. отношение пробивного напряжения к толщине слоя электроизоляционного материала, (для электрического поля, приближающегося к равномерному).

Определяя $U_{пр}$ в вольтах, а a в метрах, мы получаем основную единицу СИ для $E_{пр}$ – вольт на метр (В/м). На практике весьма распространены и такие единицы, как кВ/мм, кВ/см, В/мкм и др. Легко видеть, что единица кВ/мм (или равная ей единица В/мкм) может быть представлена как единица СИ – МВ/м.

Большое число инородных включений значительно снижает электрическую прочность твердых диэлектриков.

Электрическая прочность однородных твердых диэлектриков, находящихся в однородном поле, максимальна и достигает 100кВ/мм

Наименьшую электрическую прочность имеют твердые диэлектрики с большим числом газовых включений, находящиеся в резконеоднородном поле.

Наиболее однородными твердыми диэлектриками являются стекло, слюда и материалы на их основе.

Электрический пробой развивается быстро за время $t \leq 10^{-5}$ с нагрева диэлектрика за счет протекающих через него токов, т.е. за счет диэлектрических

потерь, вызываемых этими токами. На постоянном напряжении диэлектрические потери создаются в диэлектрике протекающим через него сквозным (объемным) током утечки. На переменном напряжении к этим потерям добавляются диэлектрические потери, вызываемые током абсорбции - током замедленных видов поляризации. Поэтому потери на переменном напряжении в одном и том же диэлектрике больше, чем на постоянном, если величины этих напряжений и условия, в которых находится диэлектрик, одинаковы.

Диэлектрические потери, а, следовательно, и выделяемая в диэлектрике тепловая мощность $P_{\text{выд}}$, растут с увеличением приложенного напряжения. Наряду с выделяемой в диэлектрике тепловой мощностью $P_{\text{выд}}$, диэлектрик отводит (рассеивает) в окружающую среду тепловую мощность $P_{\text{отв}}$. Если $P_{\text{выд}}$ превысит $P_{\text{отв}}$, будет происходить интенсивный разогрев диэлектрика, что приведет в итоге к его тепловому пробояю.

Тепловой пробой твердого диэлектрика чаще всего происходит в случае его высокой проводимости, т.е. больших токов утечки. Это характерно для дефектной изоляции, имеющей значительное количество газовых и других инородных включений.

Для снижения вероятности теплового пробоя необходимо устранять дефекты изоляции (путем её качественной пропитки специальными изоляционными составами), а также увеличивать величину отводимой тепловой мощности, за счет увеличения поверхности (площади) диэлектрика, отводящей тепло, применения газового обдува или жидкостного охлаждения.

Различия между электрическим и тепловым пробоями сводятся к следующему:

- пробивное напряжение $U_{\text{пр}}$ электрического пробоя не зависит от времени действия напряжения и температуры окружающей среды, а теплового - существенно зависит;

- величина $U_{\text{пр}}$ при электрическом пробое определяется амплитудным значением напряжения, а при тепловом - действующим;

- электрический пробой происходит в местах наибольшей напряженности электрического поля, а тепловой - в местах наихудшего теплоотвода;

- канал электрического пробоя мало заметен, канал теплового пробоя ярко выражен, в месте пробоя диэлектрик обугливается.

Установка для проведения испытаний и обработка их результатов

Испытания на пробой твердых диэлектриков проводятся на специальной установке, принципиальная схема которой изображена на рис.1.

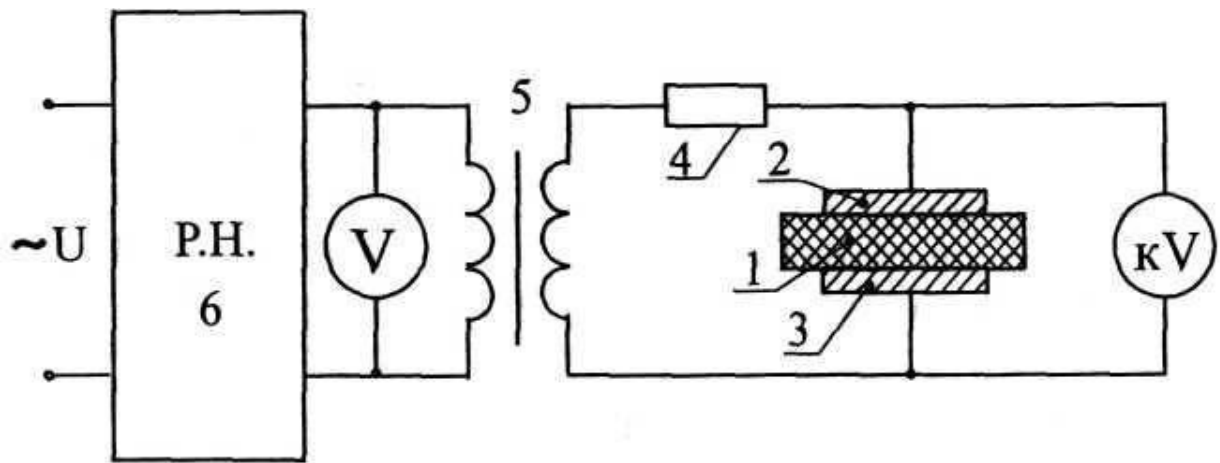


Рис.18 Схема испытательной установки

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

1 - испытуемый твердый диэлектрик;

2 и 3 - верхний и нижний металлические электроды;

4 - защитный резистор, ограничивающий ток при пробое диэлектрика;

5 - однофазный высоковольтный трансформатор;

6 - регулятор напряжения. Напряжение на первичной обмотке трансформатора измеряется с помощью вольтметра V, а на испытуемом твердом диэлектрике киловольтметром - кV электро-статической системы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы характерные черты электрического пробоя твердого диэлектрика?

2. За счет чего происходит разогрев диэлектрика при тепловом пробое и каковы его особенности?

3. Как и почему зависит пробивное напряжение от толщины диэлектрика и времени его действия?

4. Как производится статистическая обработка результатов испытаний на пробой диэлектрика при ограниченном числе опытов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

А.С.Серябряков Электротехническое материаловедение.
Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. –
М.: Маршрут, 2005. - 280 с.

Лабораторная работа 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения гигроскопичности диэлектрика,
приобрести навыки в проведении испытания

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Весы лабораторные общего назначения по [ГОСТ 24104](#) 2-го класса точности с наибольшим пределом взвешивания 200 г.
2. Шкаф сушильный, обеспечивающий температуру в заданных пределах.
3. Стаканчики для взвешивания по [ГОСТ 25336](#).
4. Гигрометр волосной метеорологический типа МВК.
5. Эксикатор по [ГОСТ 25336](#).
6. Вода дистиллированная по [ГОСТ 6709](#).

7. Кальций хлорид обезвоженный по ТУ 6-09-47-11.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метод отбора элементарных проб

Из каждой точечной пробы вырезают три элементарные пробы размером 50x200 мм.

Каждую элементарную пробу помещают в отдельный стаканчик для взвешивания. Стаканчики для взвешивания с элементарными пробами помещают в эксикатор с водой, в котором предварительно установлена относительная влажность воздуха $(98 \pm 1)\%$. Выдерживают элементарные пробы в эксикаторе в открытых стаканчиках для взвешивания в течение 4 ч. Затем стаканчики для взвешивания закрывают, вынимают из эксикатора, взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре $(107 \pm 2)^\circ\text{C}$ (температура сушки хлориновых тканей $(68 \pm 2)^\circ\text{C}$). После высушивания и охлаждения в эксикаторе, заполненном обезвоженным хлоридом кальция, стаканчики для взвешивания с элементарными пробами взвешивают.

Обработка результатов

Гигроскопичность (W) в процентах вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \cdot 100,$$

где m – масса г;

m_1 - масса образца после увлажнения, г;

m_2 - масса с образца после высушивания, г.

За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех определений, вычисленное с погрешностью не более 0,01% и округленное до 0,1%.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое гигроскопичность?
2. Формула определения гигроскопичности.

Лабораторная работа 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

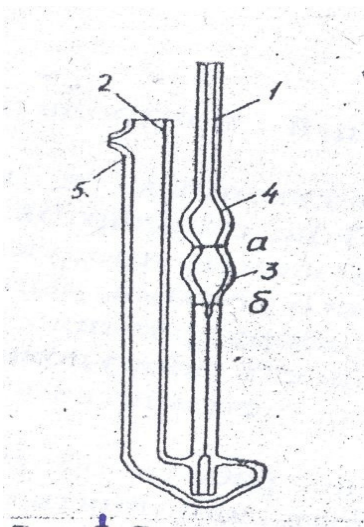
ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Вискозиметры ВПЖ-2

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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 растет и может превышать 100⁰С. Для облегчения пуска

Рис. 19

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 20) со следующими (внутренние) диаметры выбирать с таким истечения нефтепродукта 300±180 с. (ГОСТ 33-



номинальными диаметрами капилляров: 0,99, 1,31, 1,77. вискозиметра следует расчетом, чтобы время истечения исследуемого (масел) было в пределах 2000).

Рис.20

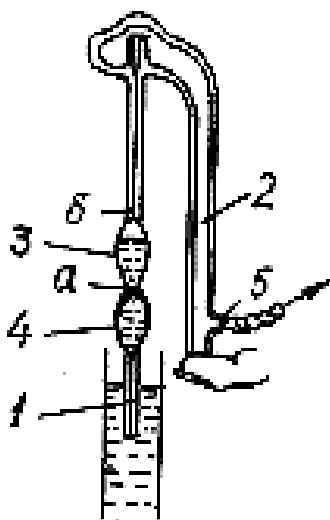


Рис 2

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, $\text{мм}^2/\text{с}^2$

τ – 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°C (c):

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 218,0с нужно отбросить, как отклоняющийся более 1,1 с (0,5%) от среднего арифметического, а для расчета принять отсчеты 222,4 222,6 и 221,0 с, как отклоняющиеся от среднего арифметического не более 1,1 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:

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

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 мм от дна имеется кольцевая метка (ГОСТ 20287-91). Пробирка вставляется в пробирку-муфту больших размеров (рис 4).

Подготовка к испытанию

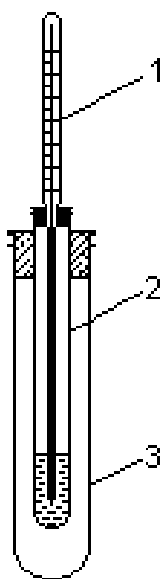


Рис 4

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°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° 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°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°C выше предыдущей.

После нахождения границы застывания определение повторяют, понижая и повышая температуру на 2°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°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

Лабораторная работа 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ МАСЕЛ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить принцип действия и конструкцию приборов для определения вязкости жидких диэлектриков, освоить методику определения динамической, кинематической и условной вязкостей.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Универсальный вискозиметр Энглера, воронка ВЗ-4, масла

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Следует знать, что для жидких диэлектриков (электроизоляционных масел, лаков, пропиточных компаундов и подобных им материалов) вязкость является одной из характеристик, с помощью которой оцениваются их технологические и эксплуатационные свойства. Вязкость – это свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

При ламинарном течении среды вязкость проявляется в том, что при сдвиге соседних слоев среды относительно друг друга возникает сила противодействия – напряжение сдвига, которое для обычных сред пропорционально скорости относительного сдвига слоев.

Коэффициент пропорциональности называется коэффициентом динамической вязкости, или динамической вязкостью. Измеряют динамическую вязкость в паскаль-секундах.

Паскаль-секунда ($\text{Па}\cdot\text{с}$) – это динамическая вязкость среды, при ламинарном течении которой в слоях, находящихся на расстоянии 1 м, в направлении, перпендикулярном течению, под действием давления сдвига 1 Па возникает разность скоростей течения 1 м/с. В практике испытаний применяется и другая единица вязкости – пуаз (П); $1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Измерение динамической вязкости производится на основе закона Стокса или закона Пуазейля.

Кроме динамической вязкости используется также кинематическая и условная вязкость.

Кинематическая вязкость равна отношению динамической вязкости жидкости η (Па \times с) к ее плотности ρ (кг/м³):

$$\nu = \eta / \rho \quad (3.1)$$

На практике кинематическую вязкость иногда измеряют в стоксах (Ст) или сантистоксах (сСт).

$$1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ Ст}.$$

Кинематическая вязкость воды при 20 °С примерно равна 1 сСт. При этой температуре динамическая вязкость воды составляет 0,001 Па \times с.

Вязкость условная (ВУ) – характеристика, получаемая при определенной методике испытания. Она связана с динамической и кинематической вязкостью эмпирическими соотношениями.

Условная вязкость, измеряемая в градусах Энглера (°Е), представляет собой отношение времени истечения 200 мл электроизоляционной жидкости при заданной температуре к времени истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °С.

Время истечения 200 мл воды при 20 °С называется постоянной прибора. Она равна 50-52 с.

$$\text{ВУ} = \frac{t}{t_{\text{пр}}}, \quad (3.2)$$

где t – время истечения 200 мл исследуемой жидкости при заданной температуре, с;

$t_{\text{пр}}$ – постоянная прибора; для прибора, используемого в данной лабораторной работе $t_{\text{пр}}=50$ с.

От условной вязкости к кинематической можно перейти, используя график (рис. 3.1). При $n > 50$ сСт переход от одной системы к другой производится по формуле

$$\text{ВУ} = 0,135 n.$$

Для измерения вязкости используются специальные приборы – вискозиметры. По своему устройству вискозиметры делятся на капиллярные, ротационные и ультразвуковые.

В качестве жидкого диэлектрика в лабораторной работе используются трансформаторные масла, широко применяемы в электротехнической промышленности. Масла, используемые в трансформаторах, выполняют следующие функции: повышают электроизолирующие свойства твердой изоляции обмоточных проводов, а также способствуют отводу тепла от обмоток и магнитопровода к охлаждаемым стенкам бака. В масляных выключателях масло обеспечивает гашение электрической дуги и уменьшает трение в механических узлах выключателя.

Для определения условной вязкости трансформаторного масла используется универсальный вискозиметр Энглера (рис.23)



Рис. 23 Универсальный вискозиметр

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ:

1. Постоянная вискозиметра: (время истечения через сточную трубку 200 мл дистиллированной воды при температуре 20°C) соответствует значению, указанному в ГОСТ 1532: 51 ± 1 сек.;
2. Максимальная температура нагревания испытуемой жидкости: 110°C;
3. Точность поддержания заданной температуры термостатирующей жидкости $\pm 0,25^\circ\text{C}$;
4. Параметры питания:
 - переменный однофазный ток;
 - напряжение В;

- частота 50 ± 1 Гц;
- потребляемая мощность не более 1,1 кВт.

5. Габаритные размеры и масса:

- вискозиметра 235 x 224 x 560 мм, 5,5 кг,
- блока регулирования температуры 150 x 180 x 80 мм, 1,5 кг.

Жидкий диэлектрик заливается в латунный стакан 10, который находится внутри латунного сосуда 12, служащего водяной или масляной баней. В крышке 8 сосуда 10 имеется два отверстия: отверстие 6 для термометра и отверстие 7 для деревянного или фибрового конусного стержня 4. Стержень 4 своим острием закрывает вход вертикального отверстия 3 – цилиндрического канала длиной 20 мм и диаметром 2,8 мм. Под отверстие 3 подставляется мерная колба 1, имеющая отметку, соответствующую объему 200 мл.

Внутри сосуда 10 имеются три указателя 11, верхние концы которых должны одновременно касаться уровня залитой в сосуд жидкости. Это дает возможность проверить горизонтальность установки прибора. Регулировку горизонтальности прибора осуществляют при помощи двух установочных винтов 14 штатива 13.

Жидкость в сосуде 12 подогревают при помощи электронагревателя 2 и перемешивают мешалкой 9. Контроль за температурой бани осуществляется с помощью термометра 5, укрепленного в зажиме.

Для определения вязкости можно использовать и более простой по конструкции вискозиметр ВЗ-4, позволяющий определить вязкость жидкого диэлектрика, не подогревая его. Вискозиметр ВЗ-4 (рис. 24) состоит из сосуда 1, в конусном дне которого имеется сточное отверстие $\varnothing 4$ мм, закрываемое стержнем 2. Сосуд 1 укреплен на штативе 5 с помощью держателя 3. Вискозиметр вмещает 100 мл испытуемой жидкости, вязкость которой определяется временем истечения этого количества жидкости из сосуда 1.



Рис. 24 Вискозиметр ВЗ-4

Вискозиметр представляет собой резервуар, имеющий форму воронки объемом 100 мл с тремя сменными соплами. Сопла из нержавеющей стали отличаются между собой внутренним диаметром выходного отверстия (02, 4, 6 мм). Металлическая воронка вискозиметра изготовлены из анодированного алюминия. Соединение сопла и резервуара должно быть герметичным.

Принцип действия вискозиметра основан на определении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости через отверстие сопла. Предел значения основной относительной погрешности измерения времени истечения градуировочной жидкости (индустриальное масло с номинальным значением кинематической вязкости 200...500 мм²/сек) не более $\pm 3\%$ среднего арифметического значения времени истечения.

Средняя наработка на отказ - 1500 ч.

Технические характеристики:

Диапазон измерения условной вязкости: от 12 сек до 300 сек

Погрешность измерения - не более: 3%

Вместимость резервуара, см³ (мл): 100 ± 1

Диаметр сопла, d, мм:

2,000 \pm 0,012;

4,000 \pm 0,015;

6,000 \pm 0,015.

Высота сопла, h , мм: $4,000 \pm 0,015$

Диапазон времени истечения жидкости, с,

- для сопла с диаметром 2 мм: 70 - 300;

- для сопла с диаметром 4 мм: 12 - 200;

- для сопла с диаметром 6 мм: 20 - 200.

Предел значения основной относительной погрешности измерения времени истечения градуировочной жидкости (индустриальное масло с номинальным значением кинематической вязкости от 200 до 500 мм²/сек) не более: $\pm 3\%$

Габаритные размеры вискозиметра (без штатива и ручки):

- диаметр, мм: 50;

- высота, мм: 68.

Масса вискозиметра (без штатива и ручки), кг: 0,08

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять крышку 8 (рис. 23) сосуда 10 и закрыть вертикальное отверстие 3 стержнем 4.

2. В сосуд 10 залить испытуемый диэлектрик до касания с тремя верхними концами указателей уровня 11. При необходимости отрегулировать горизонтальность установки прибора установочными винтами 14 штатива 13.

3. Закрыть сосуд 10 крышкой 8 и установить термометр в отверстие 6.

4. Залить в сосуд 12 необходимое количество воды и установить термометр 5.

5. Включить электронагреватель 2 и нагреть воду в сосуде 12 до заданной температуры.

6. Выключить электронагреватель и, перемешивая воду мешалкой 9, выдержать при достигнутой температуре жидкость в течение 5 мин. При этом температура воды в сосуде 12 не должна превышать температуру диэлектрика более чем на 1 °С.

7. Записать температуру диэлектрика T в табл. 6.

Таблица 6

Результаты экспериментальных исследований

Наименование диэлектрика	Температура диэлектрика $T, ^\circ\text{C}$	Время истечения t, c	$\text{ВУ},$ $^\circ\text{E}$	$n,$ сСт
-----------------------------	--	----------------------------------	----------------------------------	----------------------

8. Вынуть стержень 4 и одновременно пустить в ход секундомер. В тот момент, когда уровень диэлектрика дойдет до отметки 200 мл на мерной колбе, секундомер остановить.

9. Записать время истечения диэлектрика t в табл. 3.1.

10. Повторить опыт, описанный в пп. 2-9, и определить время истечения 200 мл исследуемого диэлектрика при температурах, указанных преподавателем. Результаты измерений занести в табл. 3.1.

11. Определить условную вязкость в градусах Энглера исследуемого диэлектрика. Результаты расчета занести в табл. 3.1

12. Определить кинематическую вязкость жидкости n в зависимости от величины условной вязкости и записать ее величину в табл. 3.1.

13. Построить график зависимости условной вязкости исследуемого диэлектрика от температуры: $\text{ВУ}=f(T)$.

14. Определить динамическую вязкость исследуемого диэлектрика при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$, используя формулу (3.1).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды вязкости жидкостей.
2. Перечислите приборы, с помощью которых определяется вязкость жидких диэлектриков.

3. Дайте определение динамической вязкости.
4. Дайте определение кинематической вязкости.
5. Дайте определение условной вязкости.
6. Объясните влияние температуры на вязкость жидких диэлектриков.
7. Опишите конструкцию универсального вискозиметра Энглера.
8. Дайте определение понятия «постоянная прибора».
9. Опишите методику измерения условной вязкости с помощью вискозиметра Энглера.
10. Объясните назначение трансформаторных масел

Лабораторная работа 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения температуры вспышки и воспламенения топлива

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле, прибор для определения температуры вспышки в закрытом тигле, топливо

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Определение температуры вспышки масел в открытом тигле

По температуре вспышки судят о способности масла испаряться при применении его в двигателе. Чем ниже температура вспышки масла, тем больше его испаряемость и, следовательно, больше его расход.

Температура вспышки, определенная в открытом тигле, выше температуры вспышки, определенной в закрытом тигле.

Общий вид прибора для определения температуры вспышки в открытом тигле приведен на рис.25. Прибор состоит из штатива, внутреннего и наружного тиглей, термометра и зажигательного приспособления (ГОСТ 4333-87).

Подготовка к испытанию

Нефтепродукт, предназначенный для испытания, должен быть обезвожен с помощью свежeproкаленной и охлажденной поваренной соли или хлористого кальция.



рис.25

Внутренний тигель ставят в наружный тигель. Обезвоженный продукт наливают во внутренний тигель до определенного уровня. Жидкость должна не доходить до края тигля на 12 мм для продукта со вспышкой до 210⁰С и на 18 мм для продукта со вспышкой выше 210⁰С.

Во внутренний тигель с продуктом устанавливают термометр так, чтобы ртутный шарик находился в центре и на одинаковом расстоянии от дна тигля и от уровня нефтепродукта.

Проведение испытания

Наружный тигель нагревают пламенем газовой горелки со скоростью нагрева продукта 10⁰С в минуту. За 40⁰С до ожидаемой температуры вспышки нагрев проводят со скоростью 4⁰С в минуту. За 10⁰С до ожидаемой температуры вспышки медленно проводят по краю тигля на расстоянии 10-14 мм от поверхности испытуемого продукта и параллельно этой поверхности пламенем зажигательного приспособления. Длина пламени должна быть 3-4 мм. Время продвижения пламени по поверхности продукта от одной стороны тигля до другой 2-3 с. Такое испытание повторяют через 2⁰С подъема температуры.

За температуру вспышки принимают температуру, которую показывает термометр при появлении первого синего пламени над частью или всей поверхностью продукта. Испытание повторяют через 2⁰С. Вспышка должна повториться.

Допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать для масел с температурой вспышки до 150⁰С - 4⁰С, а для масел с температурой вспышки выше 150⁰С – 6⁰С.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите приборы, с помощью которых определяется температура вспышки и воспламенения топлива
3. Дайте определение температура вспышки топлива
4. Дайте определение температуры воспламенения топлива.
9. Опишите методику определения температуры вспышки и воспламенения топлива в открытом тигле .
10. Опишите методику определения температуры вспышки и воспламенения топлива в закрытом тигле

Лабораторная работ15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В МАСЛАХ И СМАЗКАХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения содержания воды в маслах

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Прибор Дина и Старка, трансформаторное масло, смазка

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вода попадает в нефтепродукты во время их перевозки, перекачки по трубопроводам, при хранении и заправке. Попавшая в различные нефтепродукты вода ведет себя различно.

Присутствие воды в маслах ухудшает их смазочные свойства, повышает коррозионную агрессивность и увеличивает электропроводность трансформаторных масел.

В смазках присутствие воды в одних случаях является обязательным (кальциевые, натриевые смазки), в других вода разупрочняет структуру и тем самым ухудшает свойства смазок.

Сущность определения воды заключается в отгоне воды из смеси нефтепродукта с растворителем.

Для определения содержания воды применяют прибор Дина и Старка (рис 9), состоящий из стеклянной колбы 1, ловушки 2 и обратного холодильника 3 (ГОСТ 2477-65).

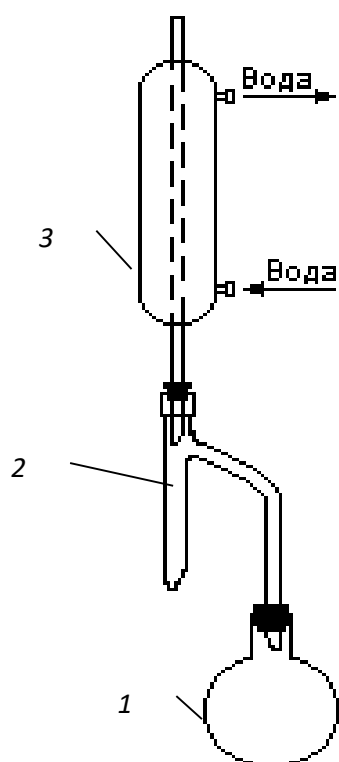


Рис 9

Подготовка к испытанию

В колбу отвешиваются около 100 г нефтепродукта (для пластичных смазок 20-25 г) с точностью до 0,1 г. Затем прибавляют 100 мл (для пластичных смазок 150 мл) растворителя (бензин "калоша", лигроин тракторный) или бензина прямой гонки, от которого отогнаны фракции до 100⁰С. Для избежания выброса жидкости при перегонке в колбу опускают несколько кусочков пемзы или стеклянных капилляров.

В колбу на корковой пробке плотно вставляют отводную трубу ловушки. Конец отводной трубы

должен входить в колбу на 15-20 мм. В верхнюю часть ловушки на корковой пробке вставляется обратный холодильник так, чтобы нижний конец его косога среза находился против середины отводной трубки ловушки. Во избежания взрыва корковые пробки заливают коллодиумом. Для предотвращения конденсации атмосферной влаги внутри трубки холодильника верхний конец его прикрывают влагой.

Проведение испытания

Колбу нагревают с помощью электрообогрева или небольшим пламенем горелки; при этом из трубки холодильника в ловушку должно падать 2-4 капли конденсата в секунду. Перегонку прекращают, как только объем воды в ловушке перестает увеличиваться и верхний слой растворителя станет прозрачным.

Как только колба охладится, прибор разбирают. Если количество воды в ловушке невелико (до 0,3 мл), а растворитель мутный (что свидетельствует о наличии в нем взвешенных мельчайших капелек воды), ловушку помещают на 20-30 минут в горячую воду для осветления и снова охлаждают до комнатной температуры. При охлаждении взвешенная вода переходит в нижний водный слой.

Содержание воды в массовых процентах вычисляют по формуле:

$$\omega_{\text{мас}} = V * 100 / c, \%$$

где V - объем воды в ловушке, мл;

c – навеска нефтепродукта, г.

Содержание воды в объемных процентах вычисляют по формуле:

$$\omega_{\text{об}} = V * \rho * 100 / c, \%$$

где V – объем воды в ловушке, мл;

c – навеска нефтепродукта, г;

ρ – плотность нефтепродукта при температуре взятия навески, кг/м³.

При отмеривании нефтепродукта по объему в количестве 100 мл за содержание воды в нем в объемных процентах принимают число миллилитров воды, собранное в приемнике-ловушке.

Объем воды в ловушке меньше 0,03 мл (половина нижнего деления) считается следами.

Результат испытания округляют с точностью до 0,1%.

Расхождение между параллельными определениями допускается не более одного верхнего деления ловушки.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите приборы, с помощью которых определяется наличие воды в масле
2. Как определяется наличие воды в масле по формуле

Лабораторная работа 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КИСЛОТ, ЩЕЛОЧЕЙ В МАСЛЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения водорастворимых кислот и щелочей из нефтепродуктов, приобрести навыки в проведении испытаний

ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И РЕАКТИВЫ

Для определения водорастворимых кислот и щелочей применяют: рН-метр любого типа с погрешностью измерения не более 0,1 рН, со стеклянными хлорсеребряными или каломельными электродами;

посуду и оборудование лабораторные стеклянные по ГОСТ 25336-82:
пробирки любого типа, вместимостью не более 10 см³;
стаканы В-1-100ХС, Н-1-100ХС;
колбу коническую КН-2-100ХС, КН-2-250ХС;
воронку В-56-80ХС, ВД-1-250ХС, ВД-1-500ХС;
цилиндры 1-25, 1-50, 1-100 по ГОСТ 1770-74;
чашку выпарительную 5 по ГОСТ 9147-80;
шпатель;
пипетки исполнения 4 любого типа по ГОСТ 29227- 91;
бензин авиационный марки Б-70 или нефрас-С 50/170 по ГОСТ 8505-80 или бензин-растворитель для резиновой промышленности, проверенные на нейтральность;
вода дистиллированная с рН 6-8, проверенная на нейтральность;
спирт этиловый ректификованный технический по ГОСТ 18300-72 или спирт этиловый технический по ГОСТ 17299-78, разбавленный 1:1 дистиллированной водой, проверенной на нейтральность;
фенолфталеин (индикатор), 1 %-ный раствор в 60 %-ном этиловом спирте;
метиловый оранжевый (индикатор), 0,02 %-ный водный раствор;
бумага фильтровальная лабораторная по ГОСТ 12026-76.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сущность метода заключается в извлечении водорастворимых кислот и щелочей из нефтепродуктов водой или водным раствором спирта и определения величины рН водной вытяжки рН-метром или реакции среды с помощью индикаторов.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 3967-83.

ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЮ

1. Подготовка пробы испытуемого нефтепродукта

1.1. Пробы испытуемого нефтепродукта перемешивают встряхиванием в течение 5 мин в склянке, заполненной не более чем на 3/4 ее вместимости. Вязкие и

парафинистые нефтепродукты предварительно нагревают до 50-60 °С, а высокоплавкие составы - до температуры на 10 °С выше температуры плавления.

1.2. При испытании пластичных смазок с поверхности испытуемой пробы шпателем снимают и отбрасывают верхний слой (3-5 мм), затем в нескольких местах (не менее трех) берут пробы, примерно в равных количествах, не вблизи стенок сосуда. Отобранные пробы переносят в фарфоровую чашку и тщательно перемешивают стеклянной палочкой.

Общее количество пробы должно быть не менее 50 г.

2. Дистиллированную воду, бензин и спирт необходимо проверять на нейтральность по метиловому оранжевому и фенолфталеину или при помощи рН-метра.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

При испытании жидких нефтепродуктов в делительную воронку помещают 50 см³ испытуемого нефтепродукта и 50 см³ дистиллированной воды, нагретых до 50-60 °С. Легкие нефтепродукты (бензин, лигроин и т. д.), а также продукты, в которых могут образоваться водорастворимые кислоты и щелочи в результате гидролиза, не нагревают.

Если вязкость нефтепродукта более 75 сСт при 50 °С, то его предварительно смешивают при комнатной температуре с 50 см³ бензина. Затем добавляют 50 см³ дистиллированной воды, подогретой до 50-60 °С.

Содержимое делительной воронки слегка взбалтывают в течение 5 мин, не допуская образования эмульсии. После отстоя нижний водный слой сливают через воронку с бумажным фильтром в коническую колбу. При испытании пластичных смазок, парафинов, церезинов и восковых составов в фарфоровую чашку или коническую колбу берут 50 г предварительно расплавленной пробы, взвешенной с погрешностью не более 0,01 г. Затем туда наливают 50 см³ дистиллированной воды, нагревают содержимое до полного расплавления и перемешивают стеклянной палочкой или встряхиванием.

После охлаждения до комнатной температуры отделившийся нижний водный слой осторожно сливают через воронку с бумажным фильтром в коническую колбу. Затвердевшие продукты (парафины, церезин и др.) предварительно прокалывают стеклянной палочкой.

При испытании присадок в измерительный цилиндр наливают 10 см³ испытуемой присадки и 40 см³ бензина. Полученный раствор переносят в делительную воронку, туда же добавляют 50 см³ подогретой до 50-60 °С дистиллированной воды. Содержимое делительной воронки взбалтывают в течение 5 мин. После отстоя отделившийся нижний водный слой сливают через воронку с бумажным фильтром в коническую колбу.

Если при смешении нефтепродукта с водой образуется эмульсия, то водорастворимые кислоты и щелочи экстрагируют, обрабатывая нефтепродукт спиртовым раствором (1:1), нагретым до 50-60 °С (вместо дистиллированной воды) по пп.3.1 или 3.3.В вытяжках, полученных по пп.3.1, 3.2, 3.3 и 3.4, определяют наличие водорастворимых кислот и щелочей по величине рН или с помощью индикаторов.

Для определения наличия водорастворимых кислот и щелочей по величине рН в стаканчик помещают 35-50 см³ вытяжки, погружают электроды на глубину 10-12 мм и измеряют величину рН в соответствии с требованиями по эксплуатации рН-метра.

Отсутствие и наличие водорастворимых кислот и щелочей в водной или водно-спиртовой вытяжке нефтепродуктов устанавливают по таблице.

Для определения наличия водорастворимых кислот и щелочей с помощью индикаторов в две пробирки помещают по 1-10 см³ вытяжки.

В одну из пробирок помещают две капли раствора метилового оранжевого и сравнивают цвет вытяжки с цветом такого же объема дистиллированной воды, в которую добавляют две капли раствора метилового оранжевого, налитой в третью пробирку. Окрашивание вытяжки в розовый цвет указывает на наличие в испытуемом нефтепродукте водорастворимых кислот.

Во вторую пробирку прибавляют три капли раствора фенолфталеина.

Окрашивание раствора в розовый или красный цвет указывает на наличие водорастворимых щелочей.

Нефтепродукт считается не содержащим водорастворимых щелочей или кислот при отсутствии розового или красного окрашивания вытяжки от фенолфталеина или метилового оранжевого индикаторов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Сходимость

Два результата определения, полученные одним исполнителем на одной и той же аппаратуре и пробе продукта, признаются достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождения между ними не превышают значений, приведенных в таблице.

2. Воспроизводимость

Два результата испытания, полученные в разных лабораториях на одной и той же пробе продукта, признаются достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождений между ними не превышают значения, приведенных в таблице.

Характеристика водной вытяжки нефтепродукта	pH	Сходимость, РН	Воспроизводимость, pH
Кислая	До 4,0	0,2	1,9
Слабокислая	Св. 4,0 до 6,0	0,3	1,9
Отсутствие	" 6,0 " 8,0	0,3	1,9

водорастворимых кислот и щелочей			
Слабощелочная	" 8,0 " 10,0	0,3	1,9
Щелочная	" 10,0	0,3	1,9

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите приборы, с помощью которых определяется наличие водорастворимых кислот и щелочей в масле
2. Дайте характеристику водной вытяжки нефтепродукта
3. Как определяется наличие водорастворимых кислот и щелочей с помощью индикаторов

Лабораторная работа 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ СМАЗОК

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения пенетрации и приобре навыки в проведении испытания

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под пенетрацией понимают глубину погружения конуса стандартной массы в течение 5 с в смазку; она является безразмерной величиной и выражается в градусах, отмеченных стрелкой на шкале циферблата.

Условно принято выражать пенетрацию в десятых долях мм. Например, если смазка имеет пенетрацию 260, значит конус погрузился на 26 мм. Чем мягче смазка, тем глубже в нее погружается конус и тем выше пенетрация.

Пенетрация – показатель эмпирический, лишенный физического смысла, и не определяет поведения смазки в условиях эксплуатации. Этот показатель используется для контроля качества смазок в процессе производства; он характеризует степень их мягкости.



Рис.27

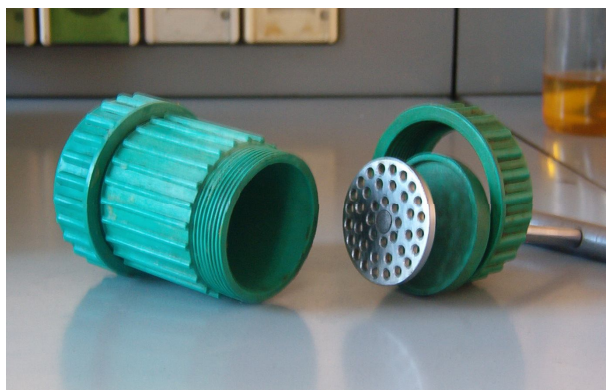
Пенетрация смазок определяется на стандартном приборе-пенетрометре (ГОСТ 5346-78) (рис.27), состоящем из вертикальной стойки, на которой крепится плунжер с конусом (общей массой $150 \pm 0,25$ г). Плунжер удерживается пусковой кнопкой. В левой части фасада прибора расположена подсвечивающаяся шкала на 360 делений. Шкала связана с плунжером. В правой части расположены кнопки «5сек», «30 сек» и кнопка высвобождения плунжера. К основанию пенетрометра крепится столик, на который устанавливается металлический стакан с испытываемой смазкой. Столик с помощью винтового домкрата имеет возможность перемещаться вверх-вниз.

Дополнительным оборудованием является смеситель - гомогенизатор (рис 28) для перемешивания испытываемого образца смазки и ванна для нагрева смазки требуемой температуры.

Подготовка к испытанию

Испытуемая смазка загружается в стакан смесителя в таком количестве, чтобы она заполнила весь объем стакана и выступала в виде шарового сектора.

Необходимо следить за тем, чтобы в стакане не было пустот. Затем на стакан навинчивают крышку и погружают его в ванну с температурой $+25^{\circ}\text{C}$. Вода в ванне должна полностью покрывать стакан крышку, но не более чем на 10 мм.



и

Рис.28

Образец выдерживают в ванне 1 ч.

После этого производят перемешивание смазки, опуская и поднимая рукоятку смесителя 60 раз в течение 1 мин.

Величина пенетрации зависит от температуры испытания и механической прочности структурного каркаса смазки, поэтому термостатирование и перемешивание образца смазки обязательно.

Закончив перемешивание, отвинчивают крышку и помещают стакан со смазкой вновь в водяную ванну. При этом вода должна доходить только до резьбы стакана.

Выдерживают стакан при температуре $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 15 мин, после чего поверхность смазки выравнивают ножом так, чтобы плоскость поверхности смазки находилась на уровне с краями стакана. Ванну со стаканом устанавливают на подвижный столик пенетрометра.

Проведение испытания

Переводят плунжер с конусом в крайнее верхнее положение (включив подсветку нужно убедиться, что риска прибора находится на отметке «0» шкалы). Путем вращения столика устанавливают конус так, чтобы его острие касалось поверхности смазки. Учитывая, что количество определений составляет 4-5 раз, конус устанавливают не в центре смазки.

После установления конуса нажимают пусковую кнопку пенетromетра «5 сек», давая конусу свободно погружаться в смазку. При этом прибор автоматически отмеряет период времени 5 секунд. После этого включается подсветка и фиксируется показание прибора. После этого нажимают кнопку высвобождения плунжера и переводят конус в крайнее верхнее положение. Затем проводят повторные испытание. Перед повторным испытанием поверхность смазки снова выравнивают. Место соприкосновения конуса с поверхностью смазки меняют.

Определение повторяют не менее 4-х 5-ти раз. За результат испытания принимают среднее арифметическое от полученных результатов. Для подсчета пенетрации принимают только те результаты, которые отклоняются от среднего арифметического не более, чем на 3 %.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать характеристику прибору, с помощью которого определяется пенетрация смазок
2. Дайте определение пенетрации
3. От чего зависит величина пенетрации

Лабораторная работа 18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСЛОЕМКОСТИ ПИГМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения маслоемкости пигмента

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Весы лабораторные общего назначения 2-го класса точности по ГОСТ 24104*.

Бюретка вместимостью 5 см с ценой деления 0,02 см или вместимостью 10 см с ценой деления 0,05 см. Тигли 5 или чашки выпарительные 2 или 3 по ГОСТ 9147.

Палочка стеклянная с оплавленным концом, рекомендуемые размеры которой: длина 100-150 мм, диаметр 8-12 мм.

Масло льняное рафинированное отбеленное по ГОСТ 5791.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метод заключается в постепенном прибавлении льняного масла к пробе испытуемого продукта, перетирании их с помощью палочки до образования однородной массы и определении количества израсходованного масла.

Проведение испытания

1. Метод определения маслосодержания с помощью палочки

Навеску испытуемого продукта массой 5 г (если в нормативно-технической документации не указана другая навеска) взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и помещают в тигель или чашку. Из бюретки периодически прибавляют в тигель или чашку по 4-5 капель льняного масла. После каждого прибавления продукт перемешивают стеклянной палочкой. Прибавление масла продолжают до тех пор, пока не начнут образовываться отдельные комочки. С этого момента добавляют по капле масла и после каждого добавления продукт тщательно перемешивают палочкой. Масло добавляют до получения однородной пасты,

которая должна быть без трещин, не должна крошиться и растекаться.

Общее время перемешивания должно быть 20-25 мин, в течение которого всю массу нужно перемешивать с максимальным усилием.

Обработка результатов

Маслоемкость (X) в кубических сантиметрах на 100 г продукта вычисляют по формуле

$$X = \frac{V}{m} \times 100$$

Маслоемкость (X) в граммах на 100 г продукта вычисляют по формуле

$$X = \frac{0,93V}{m} \times 100,$$

где - V объем льняного масла, израсходованный во время испытания, см³ ;

- m масса испытуемого продукта, г;

0,93 - плотность льняного масла, г/см³ .

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений, расхождения между которыми не должны превышать 5% от среднего результата.

Результат испытания округляют до целого числа.

2. АДсорбЦИОНный МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСЛОЕМКОСТИ

Сущность метода

Метод заключается в перемешивании пробы испытуемого красителя с

разбавленным уайт-спиритом льняным маслом, перемешивании их с помощью магнитной мешалки, фильтрации полученной суспензии и определении количества адсорбированного масла.

Аппаратура, материалы и реактивы

Весы лабораторные общего назначения 2-го класса точности по ГОСТ 24104.

Электрошкаф сушильный лабораторный, обеспечивающий нагрев до температуры 150 °С и выше, точность автоматического регулирования температуры $\pm 3\%$.

Мешалка магнитная.

Пипетка вместимостью 10 см .

Тигель ТФ-40-ПОР 16 ХС по ГОСТ 25336.

Скальпель по ГОСТ 21240.

Масло льняное рафинированное, отбеленное по ГОСТ 5791, разбавленное уайт-спиритом по ГОСТ 3134 в соотношении 1:5 (по объему).

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Натрия гидроксид по ГОСТ 4328, раствор с массовой долей NaOH в растворе 10%.

Кислота серная по ГОСТ 4204.

Проведение испытания

Испытуемый краситель высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при 90-100 °С.

0,2 г сухого продукта взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г в предварительно высушенном до постоянной массы фильтрующем тигле с помещенным в него стержнем магнитной мешалки.

В тигель с навеской приливают с помощью пипетки 6 см раствора льняного масла, включают магнитную мешалку и перемешивают суспензию в течение 15 мин при 18-20 °С.

После этого тигель с помощью пробки присоединяют к колбе для отсасывания и фильтруют при остаточном давлении $60 \cdot 10^{-6}$ - $66,6 \cdot 10^{-6}$ Па (450-500 мм рт.ст.). По

окончании фильтрования поверхность испытуемого продукта становится матовой с небольшим растрескиванием поверхностного слоя.

Затем тигель с продуктом и стержнем магнитной мешалки высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при 90-100 °С и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

После определения фильтр-тигель и стержень магнитной мешалки очищают скальпелем от слоя продукта, промывают горячим (50-60 °С) 10%-ным раствором гидроксида натрия, водой, а затем растворителем, в котором растворяется испытуемый краситель, или концентрированной серной кислотой, затем промывают водой, сушат и вновь используют для определения.

Обработка результатов

Маслоемкость (X) в г/100 г красителя вычисляют по формуле

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100 ,$$

где - m_1 масса навески красителя, г;

- масса фильтр-тигля со стержнем магнитной мешалки и испытуемым красителем после фильтрации и сушки, г;

- m_2 масса фильтр-тигля со стержнем магнитной мешалки и навеской красителя, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не должны превышать 3% относительно среднего результата определения вычисляемой маслоемкости.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите приборы, с помощью которых определяется маслосодержание пигмента
2. Дайте характеристику методов определения маслосодержания пигмента
3. Как определяется маслосодержание по формуле

Лабораторная работа 19 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКРЫВИСТОСТИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться определять укрывистость лакокрасочного материала

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

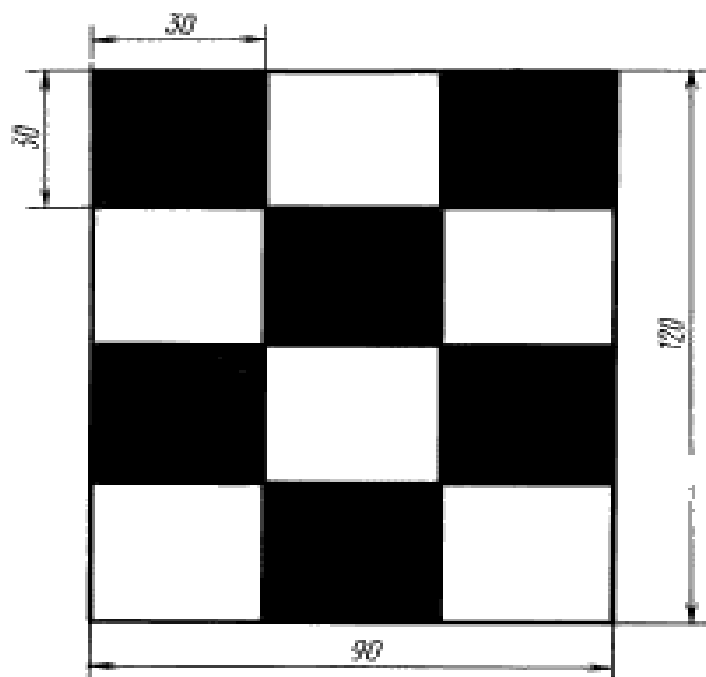
1 пластинки стеклянные (стекло для фотографических пластинок размером 9х12-1,2 по ТУ 6-43-0205133-03-91, допускается применять стеклянные пластинки размером 180х240 мм, на которых закрашивается площадь размером 180х225 мм);

2 пульверизатор, кисть, аппликатор или другое оборудование, позволяющее наносить на стеклянные пластинки слои лакокрасочного материала толщиной каждого слоя не более 20 мкм;

3 доска шахматная (черт.29) изготавливается следующим образом: кусок белой чертежной (ГОСТ 597-73) или матовой типографской (ГОСТ 9095-89) бумаги размером 90х120 мм расчерчивают на 12 квадратов размером 30х30 мм

(допускается размер квадратов 45x45 мм при применении стеклянной пластинки размером 180x240 мм) и закрашивают их в шахматном порядке черной тушью; после высыхания туши лист бумаги наклеивают на стеклянную пластину или гладкую деревянную дощечку размером 90x120 мм (180x225 мм); 4 пластинка черно-белая контрастная из гладкого материала (бумаги, картона, пластмассы и т.д.); 5 коэффициент яркости черно-белой пластинки и шахматной доски, измеренный на белом поле, должен быть 0,80-0,85, на черном поле - не более 0,05; 6 весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г.

Черт.1. Шахматная доска



Черт.29

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Визуальный метод определения укрывистости

Сущность метода

Метод заключается в нанесении слоев лакокрасочного материала на стеклянную пластинку до тех пор, пока контуры черно-белой контрастной пластинки или шахматной доски, подложенной под стеклянную пластинку, станут невидимыми.

Метод предназначен для определения укрывистости эмалей и красок в высушенных и невысушенных покрытиях, а также пигментов в невысушенных покрытиях.

Проведение испытания

Для определения укрывистости лакокрасочный материал разбавляют до рабочей вязкости. Пигменты предварительно растирают с натуральной олифой (ГОСТ 7931-76), затем пигментную пасту разбавляют олифой до получения готовой к применению краски.

На стеклянную пластинку, подготовленную по ГОСТ 8832-76, разд.3, и взвешенную с точностью до четвертого десятичного знака, наносят один или два слоя лакокрасочного материала. Стеклянную пластинку с лакокрасочным материалом кладут на контрастную пластинку или шахматную доску и наблюдают при рассеянном дневном свете, просвечивают ли белые и черные поля. Если поля просвечивают, наносят на пластинку последовательно новые слои материала до тех пор, пока полностью не исчезнет разница между белыми и черными полями. После полного укрытия стеклянную пластинку взвешивают с точностью до четвертого десятичного знака, сушат и снова взвешивают. Перед взвешиванием и высушиванием удаляют потеки лакокрасочного материала с обратной стороны и с ребер пластинки. Каждый раз перед нанесением нового слоя лакокрасочный материал перемешивают. Пластинки размером 180x240 мм взвешивают с точностью до второго десятичного знака.

Испытания проводят не менее чем на трех пластинках.

Вид продукта для разбавления лакокрасочного материала до рабочей вязкости, величина рабочей вязкости, количество олифы и пигмента, метод нанесения

лакокрасочного материала на стеклянные пластинки, режим сушки или отсутствие сушки должны быть указаны в нормативно-технической документации на лакокрасочный материал или пигмент.

Обработка результатов

Укрывистость высушенной пленки (D), в г/м² вычисляют по формуле

$$D = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 10^6}{S},$$

где m_0 — масса неокрашенной стеклянной пластинки, г;
 m_1 — масса пластинки с высушенной пленкой, г;
 S — площадь стеклянной пластинки, мм².

(1)

Укрывистость невысушенной лакокрасочной пленки (D_n) в г/м² вычисляют по формуле

$$D_n = \frac{m_1' - m_0}{S} \cdot 10^6, \quad (1a)$$

где m_1' — масса пластинки с невысушенным лакокрасочным материалом, г.

(1a)

. Для пластинки размером 90x120 мм укрывистость вычисляют по формулам

$$D = (m_1 - m_0) \cdot 92,6; \quad (2)$$

$$D_n = (m_1' - m_0) \cdot 92,6. \quad (2a)$$

Укрывистость высушенной пленки в пересчете на лакокрасочный материал (D_M), в г/м², вычисляют по формуле

$$D_m = \frac{D \cdot 100}{X}, \quad (3)$$

где X — массовая доля нелетучих веществ в лакокрасочном материале, определенное по ГОСТ 17537, %.

Укрывистость масляных красок в пересчете на пустотертую краску в г/м² вычисляют по формуле

$$D_i = \frac{(m_1' - m_0)(100 - m_2) \cdot 10^6}{S \cdot 100}, \quad (4)$$

где m_2 — масса олифы, израсходованная для получения окраски, готовой к применению, из густотертой краски, %.

Укрывистость пигмента (D_n), в г/м², вычисляют по формуле

$$D_n = \frac{(m_1' - m_0) m_n}{S(m_3 + m_n)} \cdot 10^6, \quad (5)$$

где m_n — масса пигмента в краске, г;

m_3 — масса олифы, израсходованная для приготовления краски из пигмента, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое трех параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не должны превышать 5% от среднего арифметического значения.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите принадлежности, с помощью которых определяется укрывистость лакокрасочного материала
2. Дайте характеристику методов определения укрывистости

3. Как определяется укрывистость по формуле

ЛИТЕРАТУРА

Основные источники:

1.1 Воронин Н.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники: Учебник для вузов ж.-д. транспорта – М .: Маршрут, 2004.

1.2 Арзамасов В.Б. Материаловедение: Учебник для вузов – М .: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2004.

1.3 Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы: СПб.: Политехника 2000.

Дополнительные источники:

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

2.2 Берлин В.И. Транспортное материаловедение. Изд. Транспорт 1982.

2.3 Журавлева Н.В. Электроматериаловедение. М., 2002.

2.4 Мукосеев В.В., Сидоров И.Н. Маркировка и обозначение радиоэлементов: Справочник. М.: Горячая линия-Телеком, 2001.

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, 2006 .

2.7 Чайкина Л.Н. Методические указания «Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Компьютерное тестирование знаний студентов» Тихорецк 2010.

2.8 Чайкина Л.Н. «Справочник – экзаменатор по материаловедению» Тихорецк 2010.

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

Средства массовой информации:

1. «Материаловедение» // Форма доступа: www.nait.ru