

**Министерство образования Иркутской области**

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Иркутской области «Иркутский авиационный техникум»  
(ГБПОУИО «ИАТ»)



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ГБПОУИО «ИАТ»  
А.Н. Якубовский

**Комплект методических указаний по выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине**

**ОП.04 Материаловедение**

по специальности

15.02.08 Технология машиностроения

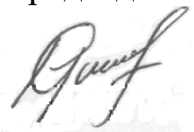
Иркутск 2017

РАССМОТРЕНЫ

ВЦК ТМ

Протокол № 11 от 11.05.2017 г.

Председатель ЦК



Кусакин С.Л.

Методические указания разрабо-  
таны на основе рабочей про-  
граммы дисциплины  
ОП.04 Материаловедение,  
учебного плана специальности  
15.02.08 Технология машино-  
строения

**Разработчик:**

Стещенко Александр Иванович

## Перечень лабораторных и практических работ

№ работы	Название работы (в соответствии с рабочей программой)	Объём часов на выполнение работы	Страница
1	Определение твёрдости металлов по методу Бринелля	2	
2	Определение твёрдости металлов по методу Роквелла	2	
3	Построение кривых охлаждения сплавов железа – цементит (Fe – Fe <sub>3</sub> C). (Диаграмма состояния Fe–Fe <sub>3</sub> C).	2	
4	. Экскурсия на Иркутский авиазавод (ИАЗ) в центральную заводскую лабораторию (ЦЗЛ). Химические, физические и механические испытания металлов и неметаллов	2	
5	(ИАЗ). Ознакомление с оборудованием, разрушающими и неразрушающими методами контроля.	2	
6	(ИАЗ). Цех 3. Ознакомление с металлургическим производством.	2	
7	Определение свойств легированных инструментальных сталей по справочнику «Марочник сталей и сплавов».	2	
8	Термообработка алюминиевых сплавов	2	
9	Изучение микроструктуры алюминиевых сплавов	2	
10	Маркировка магниевых и титановых сплавов. Определение свойств титановых сплавов по справочнику.	2	
11	Микроанализ марок титановых и магниевых сплавов	2	
12	Сплавы меди с цинком-латуни, меди и других элементов-бронзы	2	
13	Анализ состава и свойств сталей с особыми свойствами.	2	
14	Анализ свойств керамических и сверхтвёрдых материалов, применяемых для деталей летательных аппаратов	2	
15	Анализ свойств порошковых, антифрикционных, фрикционных материалов применяемых для деталей летательных	2	

	аппаратов		
16	Анализ свойств композиционных материалов применяемых для производства летательных аппаратов	2	
<b>ИТОГО</b>		<b>32 час.</b>	

# Лабораторная работа 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ

Цель работы: ознакомление с методикой определения твердости по методу Бринелля, определение механических свойств стали по ее твердости.

### Содержание работы

Студенту выдаются образцы сталей в отожженном и закаленном состояниях и сплавов цветных металлов. Он изучает устройство прибора, готовит образцы, выбирает нагрузку и наконечники, готовит прибор, проводит испытания, оформляет отчет.

#### Техники безопасности

1. Все студенты, приступая к лабораторным работам, должны ознакомиться с правилами работы в лаборатории и расписаться в журнале по технике безопасности.
2. Работы проводятся только с разрешения преподавателя.
3. Все электроприборы должны быть заземлены.
4. Студенты обязаны осторожно обращаться с приборами и оборудованием.
5. По окончании работы приборы должны быть отключены от сети.

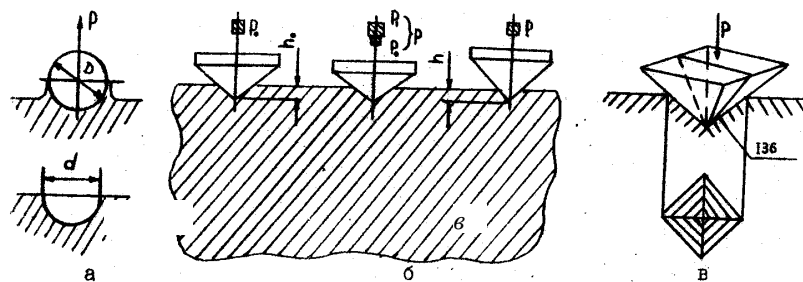
### Теоретические сведения

Твердостью называется свойство материала оказывать сопротивление местной пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое. Измерение твердости вследствие простоты и скорости осуществления, а также возможности без разрушения изделия суждения о его свойствах, получило широкое применение для контроля качества металлических изделий.

Существует несколько методов определения твердости.

*Определение твердости по Бринеллю HB (ГОСТ 9012-59).* Метод основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливается под постоянной нагрузкой  $P$  закаленный стальной шарик (рис.3, а).

Рис.3. Схема определения твердости по Бринеллю (а); Роквеллу (б); Виккерсу (в)



После снятия нагрузки в испытуемом материале образуется отпечаток (лунка). Твердость по Бринеллю, в МПа, определяется по формуле

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

где  $P$  - нагрузка, Н;

$D$  - диаметр шарика, мм;

$d$  - диаметр отпечатка, мм.

Диаметр шарика и нагрузка  $P$  выбираются в зависимости от вида испытуемого материала:

для стали и чугуна  $D = 10$  мм,  $P = 30000$  Н ( $P = 300D^2$ );  
 для меди и сплавов  $D = 10$  мм,  $P = 10000$  Н ( $P = 100D^2$ );  
 для очень мягких сплавов (алюминий, баббиты и др.)  $D = 10$  мм,  
 $P = 2500$  Н ( $P = 25D^2$ )

При расчете твердости  $HB$  измеряют диаметр лунки  $d$  и по нему находят твердость по прилагаемым к прибору таблицам. Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов с твердостью более 450, так как шарик может деформироваться, что исказит результаты измерений.

*Методика выполнения работы*

1. Провести испытания не менее трех раз на каждом образце.
2. Определить твердость по Бринеллю измерив диаметр лунки, и сравнить с результатами по прилагаемым к прибору таблицам.
3. Определить свойства образцов, используя формулу

$$\sigma_s = KHB,$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от материала. Для стали с твердостью  $120 \div 450 HB$   $K \approx 0,34$ ; для меди, латуни, бронзы отожженных  $K \approx 0,55$ , наклепанных  $K \approx 0,40$ ; для алюминия и алюминиевых сплавов с твердостью  $20 \div 45 HB$   $K \approx 0,35$ .

4. Внести результаты испытаний в таблицу следующей формы:

Таблица записей результатов испытания

№ п/п	Марка материала	Нагрузка на шарик $P$ (Н)	Время выдержки (с)	Диаметр шарика $D$ (мм)	Диаметр отпечатка (мм)				Твердость по Бринеллю $HB$ (МПа)	Предел прочности $\sigma_b$ (МПа)
					$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_{cp}$		

Таблица 3

Ориентировочный перевод значений твердости, определяемых различными методами

$HV$ , МПа	$HB$ , МПа	$HR$ по шкале			$HV$ , МПа	$HB$ , МПа	$HR$ по шкале		
		$C$	$A$	$B$			$C$	$A$	$B$
12340	7800	72	84	--	2280	2290	20	61	100
11160	7450	70	83	--	2220	2230	19	60	99
10220	7120	68	82	--	2170	2170	17	60	98
9410	6820	66	81	--	2130	2120	15	59	97
8680	6730	64	80	--	2080	2070	14	59	95
8040	6270	62	79	--	2010	2010	13	58	94
7460	6010	60	78	--	1970	1970	12	58	93
6940	5780	58	78	--	1920	1920	11	57	92
6500	5550	56	77	--	1860	1870	9	57	92
6060	5340	54	76	--	1830	1830	8	56	90
5870	5140	52	75	--	1780	1790	7	56	90
5510	4950	50	74	--	1740	1740	6	55	89
5340	4770	49	74	--	1710	1700	4	55	88
5020	4610	48	73	--	1660	1670	3	54	87
4740	4440	46	73	--	1620	1630	2	53	86
4600	4290	45	72	--	1590	1590	1	53	85
4350	4150	43	72	--	1550	1560	-	-	84
4230	4010	42	71	--	1520	1520	-	-	83
4010	3880	41	71	--	1490	1490	-	-	82
3900	3750	40	70	--	1480	1460	-	-	81

3860	3630	39	70	--	1430	1430	-	-	80
3610	3520	38	69	--	1400	1400	-	-	79
3440	3410	36	68	--	1380	1370	-	-	78
3340	3310	35	67	--	1340	1340	-	-	77
3200	3210	33	67	--	1310	1310	-	-	76
3110	3110	32	66	--	1290	1280	-	-	75
3030	3020	31	66	--	1270	1260	-	-	74
2920	2930	30	65	--	1230	1230	-	-	73
2850	2850	29	65	--	1210	1210	-	-	72
2780	2770	28	64	--	1180	1180	-	-	71
2700	2690	27	64	--	1160	1160	-	-	70
2610	2620	26	63	--	1150	1140	-	-	68
2550	2550	25	63	--	1130	1110	-	-	67
2490	2480	24	62	--	1100	1100	-	-	66
2400	2410	23	62	102	1090	1090	-	-	65
2350	2350	21	61	101	1080	1070	-	-	64

### Необходимое оборудование и материалы

1. Автоматический рычажный пресс для определения твердости.
2. Портативный твердомер ТН 170.
3. Образцы сплавов цветных металлов и сталей в отожженном и закаленном состояниях.
4. Шлифовальная бумага.

### Содержание отчета

1. Краткая характеристика методов определения твердости металлов.
2. Таблица испытаний твердости образцов металлов.
3. Определение механических свойства материалов.

### Контрольные вопросы

1. Какие методы определения твердости Вам известны?
2. Каковы единицы измерения твердости, определяемой различными способами?
3. По каким формулам определяются числа твердости по различным методам?
4. Как проводится подготовка образца для измерения твердости?
5. Как проводятся испытания твердости на Автоматическом рычажном прессе?
6. Почему измерения твердости по Бринеллю нельзя применять для тонких образцов?
7. Каковы зависимости между твердостью и пределом прочности?

### Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА

Цель работы: ознакомление с методикой определения твердости по методу Роквелла, определение механических свойств стали по ее твердости.

### Содержание работы

Студенту выдаются образцы сталей в отожженном и закаленном состояниях и сплавов цветных металлов. Он изучает устройство прибора, готовит образцы, выбирает нагрузку и наконечники, готовит прибор, проводит испытания, оформляет отчет.

#### Техники безопасности

6. Все студенты, приступая к лабораторным работам, должны ознакомиться с правилами работы в лаборатории и расписаться в журнале по технике безопасности.
7. Работы проводятся только с разрешения преподавателя.
8. Все электроприборы должны быть заземлены.
9. Студенты обязаны осторожно обращаться с приборами и оборудованием.
10. По окончании работы приборы должны быть отключены от сети.

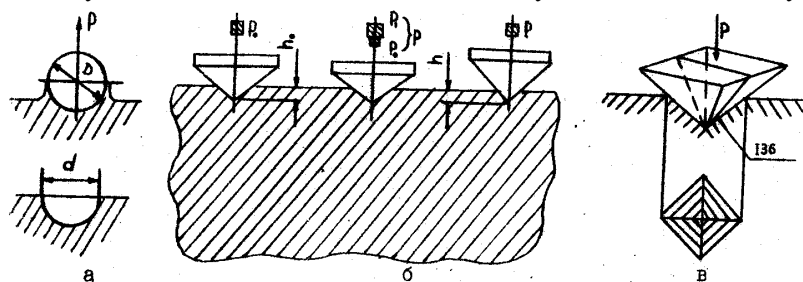
### Теоретические сведения

Твердостью называется свойство материала оказывать сопротивление местной пластической деформации при контактом воздействии в поверхностном слое. Измерение твердости вследствие быстроты и простоты

осуществления, а также возможности без разрушения изделия суждения о его свойствах, получило широкое применение для контроля качества металлических изделий.

Существует несколько методов определения твердости.

*Определение твердости по Роквеллу HR (ГОСТ 9013-59 и ГОСТ 22975-78).* При этом методе твердость определяют по глубине отпечатка. Наконечником служит алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  или стальной



закаленный шарик ( $D = 1,588$  мм). Алмазный конус применяют для твердых, а шарик – для мягких металлов. Конус и шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками (рис.3, б): предварительной  $P_0 = 100$  Н и общей  $P = P_0 + P_{\square}$  (где  $P_{\square}$  – основная нагрузка). Основная нагрузка для шарика 900 Н (шкала В), для алмазного конуса 1400 Н (шкала С) и 500 Н при испытании очень твердых и тонких металлов (шкала А). Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принято значение осевого перемещения наконечника на 0,002 мм. Твердость по Роквеллу  $HR$  определяют по формулам  $HR = 100 - l$  (при измерении по шкалам А и С),  $HR = 130 - l$  (при измерении по шкале В). Значение  $l$ , мм:

$$l = \frac{h - h_0}{0,002},$$

где  $h$  – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки  $P$ , измеренная после снятия основной нагрузки  $P_1$  с оставлением предварительной нагрузки  $P_0$ , мм;

$h_0$  – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием нагрузки  $P_0$ , мм.

Твердость по Роквеллу обозначается  $HRA$  при нагрузке 600 Н (испытание алмазным конусом).  $HRC$  при нагрузке 1500 Н и  $HRB$  при нагрузке 1000 Н (испытание стальным шариком). Значения твердости сразу считывают по шкале прибора.

Для определения твердости по Роквеллу широко применяется прибор ТК-2, так как он позволяет испытывать различные материалы, а также тонкие слои. Значения твердости по Роквеллу могут быть приближенно переведены в значения твердости по Бринеллю.

При испытании нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого материала по табл. 2.

Таблица 2

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твердости	Пределы измерения твердости в единицах $HR$
A	Алмазный конус	600	$HRA$	70-85
B	Стальной шарик	1000	$HRB$	25-100
C	Алмазный конус	1500	$HRC$	20-67

При испытании неотчетливых деталей твердостью (20-50)  $HRC$  допускается применение наконечника из твердого сплава.

Образец для испытаний должен иметь плоские и параллельные друг другу поверхности, без дефектов и окалины, поэтому сначала проводится зачистка поверхностей напильником, шлифовальным кругом или шлифовальной бумагой. Правильность показаний прибора периодически проверяют по эталонным образцам с известной твердостью.



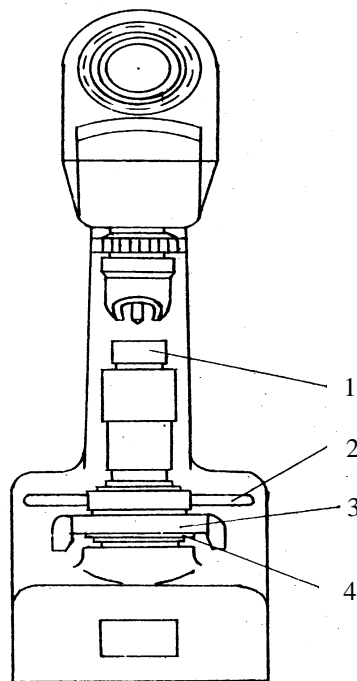


Рис. 4. Прибор ТК-2

Подготовленный образец помещают на столе прибора 1 (рис. 4), вращением маховика 2 по часовой стрелке устанавливают маленькую стрелку против красной точки, а вращением барабана 3 – нуль шкалы “С” против конца большой стрелки индикатора. Плавным нажатием на клавишу 4 включают привод механизма нагружения. После окончания цикла нагружения производят отсчет по шкале индикатора. Вращением маховика 2 опускают стол, и повторяют испытание не менее трех раз.

*Определение твердости при вдавливании алмазной пирамиды по Виккерсу HV (ГОСТ 2999-75).* Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Твердость определяют, вдавливая в испытываемую поверхность (шлифованную или полированную) четырехгранную алмазную пирамиду (рис. 3, в), с углом при вершине 136°. Твердость по Виккерсу рассчитывают по формуле:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

где  $P$  – нагрузка на пирамиду 50, 100, 200, 300, 500, 1000 или 1200 Н (обозначения:  $HV_5$ ,  $HV_{10}$ ,  $HV_{20}$  и т.д.);

$d$  – среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеряемых после снятия нагрузки, мм.

Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка. Твердость по Виккерсу определяется с помощью специальных таблиц по измеряемым значениям  $d$  в мм.

*Микротвердость ( $H_\mu$ ).* Определение микротвердости применяется для изделий мелких размеров и отдельных структурных составляющих сплавов. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,02-2 Н. Микротвердость  $H_\mu$  определяется по той же формуле, что и твердость по Виккерсу. Образцы для измерений подготавливаются так же, как микрошлифы.

#### Методика выполнения работы

1. Провести испытания не менее трех раз на каждом образце.
2. Перевести твердость по Роквеллу в твердость по Бринеллю по табл. 3.
3. Определить свойства образцов, используя формулу

$$\sigma_s = KHB,$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от материала. Для стали с твердостью 120 ÷ 450  $HV$   $K \approx 0,34$ ; для меди, латуни, бронзы отожженных  $K \approx 0,55$ , наклепанных  $K \approx 0,40$ ; для алюминия и алюминиевых сплавов с твердостью 20 ÷ 45  $HV$   $K \approx 0,35$ .

5. Внести результаты испытаний в таблицу следующей формы:

Таблица записей результатов испытания

№ п/п	Марка материала	Нагрузка на шарик (Н)	Шкала	Число твердости <b>HR</b> (ед.)				Твердость <b>HB</b> МПа (перевод)
				1	2	3	ср	

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

Таблица 3  
определяемых

Ориентировочный перевод значений твердости, различными методами

HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале			HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале		
		C	A	B			C	A	B
12340	7800	72	84	--	2280	2290	20	61	100
11160	7450	70	83	--	2220	2230	19	60	99
10220	7120	68	82	--	2170	2170	17	60	98
9410	6820	66	81	--	2130	2120	15	59	97
8680	6730	64	80	--	2080	2070	14	59	95
8040	6270	62	79	--	2010	2010	13	58	94
7460	6010	60	78	--	1970	1970	12	58	93
6940	5780	58	78	--	1920	1920	11	57	92
6500	5550	56	77	--	1860	1870	9	57	92
6060	5340	54	76	--	1830	1830	8	56	90
5870	5140	52	75	--	1780	1790	7	56	90
5510	4950	50	74	--	1740	1740	6	55	89
5340	4770	49	74	--	1710	1700	4	55	88
5020	4610	48	73	--	1660	1670	3	54	87
4740	4440	46	73	--	1620	1630	2	53	86
4600	4290	45	72	--	1590	1590	1	53	85
4350	4150	43	72	--	1550	1560	-	-	84
4230	4010	42	71	--	1520	1520	-	-	83
4010	3880	41	71	--	1490	1490	-	-	82
3900	3750	40	70	--	1480	1460	-	-	81
3860	3630	39	70	--	1430	1430	-	-	80
3610	3520	38	69	--	1400	1400	-	-	79
3440	3410	36	68	--	1380	1370	-	-	78
3340	3310	35	67	--	1340	1340	-	-	77
3200	3210	33	67	--	1310	1310	-	-	76
3110	3110	32	66	--	1290	1280	-	-	75
3030	3020	31	66	--	1270	1260	-	-	74
2920	2930	30	65	--	1230	1230	-	-	73
2850	2850	29	65	--	1210	1210	-	-	72
2780	2770	28	64	--	1180	1180	-	-	71
2700	2690	27	64	--	1160	1160	-	-	70
2610	2620	26	63	--	1150	1140	-	-	68
2550	2550	25	63	--	1130	1110	-	-	67
2490	2480	24	62	--	1100	1100	-	-	66
2400	2410	23	62	102	1090	1090	-	-	65
2350	2350	21	61	101	1080	1070	-	-	64

### Необходимое оборудование и материалы

1. Твердомер типа ТК-2.
2. Портативный твердомер ТН 170.
3. Образцы сплавов цветных металлов и сталей в отожженном и закаленном состояниях.
4. Шлифовальная бумага.

### Содержание отчета

1. Краткая характеристика методов определения твердости металлов.
2. Таблица испытаний твердости образцов металлов.
3. Определение механических свойства материалов.

### Контрольные вопросы

1. Какие методы определения твердости Вам известны?
2. Каковы единицы измерения твердости, определяемой различными способами?
3. По каким формулам определяются числа твердости по различным методам?
4. Как проводится подготовка образца для измерения твердости?
5. Как проводятся испытания твердости на приборе ТК-2?
6. В каких случаях используют при измерении шарик, алмазный конус, твердосплавный конус?

7. Почему измерения твердости по Бринеллю нельзя применять для тонких образцов?
8. Почему широко применяется метод измерения твердости по методу Роквелла?
9. Каковы зависимости между твердостью и пределом прочности?

### **Практическая работа 1** **ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ** **СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ**

**Цель работы:** ознакомление с принципами построения диаграмм состояния сплавов, изучение диаграммы состояния железо-цементит и превращений в железоуглеродистых сплавах в равновесных условиях.

#### **Содержание работы**

Студент изучает диаграмму состояния железо-цементит, строит кривую охлаждения (или нагрева) сплава заданного состава, зарисовывает структуру сплава при комнатной температуре.

#### **Теоретические сведения**

Существует много методов построения диаграммы состояния (дилатометрический, электрический, магнитотермический, термический и др.). Сущность любого из них сводится к нахождению критических точек при нагреве или охлаждении металлов и сплавов. Критическими точками называются температуры, при которых начинаются и/или заканчиваются какие-либо превращения в сплавах. Определив экспериментально критические точки серии сплавов, строят полную диаграмму состояния в координатах "температура – концентрация".

Диаграмма состояния железо-цементит (рис. 5) охватывает сплавы, содержащие углерод в количестве от 0 до 6,67 %\*. При содержании 6,67 % углерода он образует химическое соединение с железом  $\text{Fe}_3\text{C}$  – карбид железа, называемый также цементитом. Один из компонентов сплавов – железо – имеет несколько аллотропических модификаций: до 911 °С железо имеет объемноцентрированную кубическую (ОЦК) кристаллическую решетку с периодом 0,286 нм, в интервале температур 911-1392 °С – гранецентрированную кубическую (ГЦК) кристаллическую решетку, а

\*Здесь и далее приведены массовые %.

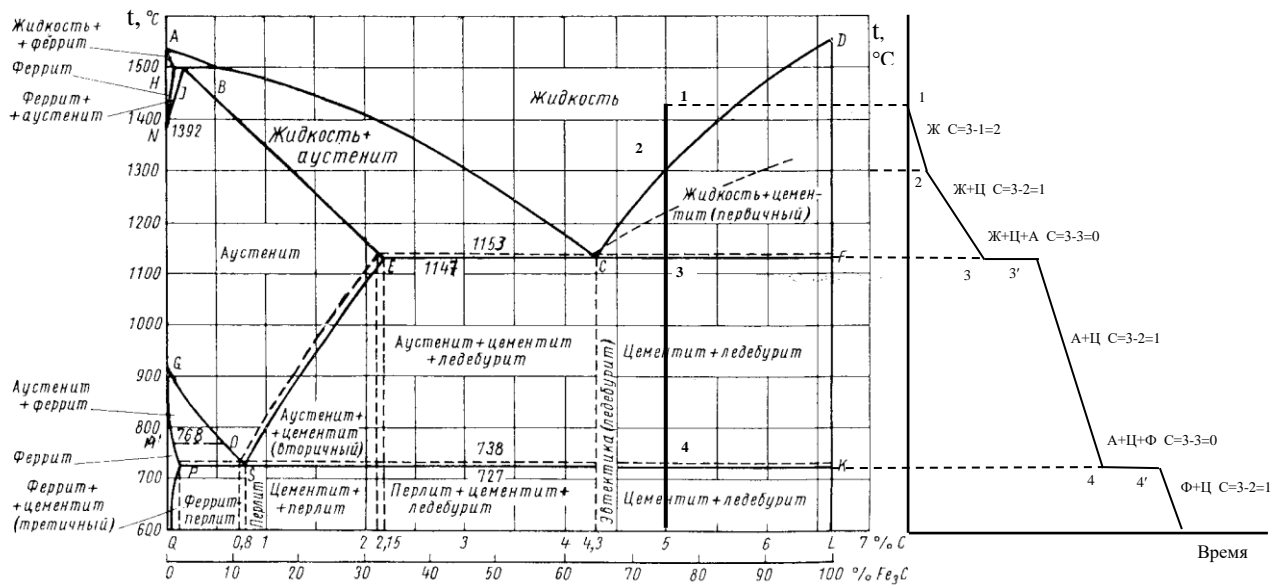


Рис. 5. Диаграмма состояния системы железо – цементит (слева) и кривая охлаждения чугуна содержащего 5 % углерода (справа)

выше 1392 °С – снова объемноцентрированную кубическую кристаллическую решетку, но с другим периодом – 0,293 нм.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы подразделяются на техническое железо ( $\leq 0,02$  % С), углеродистые стали (от 0,02 до 2,14 % С) и чугуны (от 2,14 до 6,67 % С). Стали в свою очередь подразделяются на доэвтектоидные (0,02-0,8 % С), эвтектоидные (0,8 % С), заэвтектоидные (0,8-2,14 % С). Чугуны бывают доэвтектическими (2,14-4,3 % С), эвтектическими (4,30 % С), заэвтектическими (4,30-6,67 % С).

Процессы, происходящие в сплавах при их фазовых превращениях, подчинены общему закону равновесия, который носит название правила фаз и выражает зависимость числа степеней свободы системы «с» от количества компонентов «к», фаз « $\phi$ » и внешних переменных факторов « $n$ » в условиях равновесия:

$$c = k + n - \phi.$$

При рассмотрении равновесия в металлических сплавах, находящихся под воздействием атмосферного давления, единственным внешним переменным фактором является температура и поэтому  $n = 1$ . Система железо-цементит является двухкомпонентной, то есть  $k = 2$ . Отсюда следует, что

$$c = 2 + 1 - \phi = 3 - \phi.$$

Для построения кривой охлаждения (или нагрева) сплава прежде всего необходимо найти на концентрационной оси диаграммы состояния координату, соответствующую содержанию углерода в сплаве. Затем из найденной точки следует восстановить перпендикуляр до области существования жидкой фазы. Кривая охлаждения (или нагрева) строится справа от диаграммы состояния в координатах температура (ось ординат) - время (ось абсцисс). Масштаб оси времени произвольный, а масштаб оси температуры такой же, как и на диаграмме состояния.

Во время охлаждения сплава в нем происходят фазовые превращения. Каждое превращение протекает за определенный промежуток времени, поэтому соответствующие им участки кривой охлаждения имеют различные углы наклона по отношению к горизонтальной оси. Чем быстрее происходит превращение, тем круче кривая. Перитектическое, эвтектическое и эвтектоидное

превращения идут во времени при постоянной температуре (так как  $c = 0$ ), следовательно им на кривой охлаждения будут соответствовать горизонтальные участки.

Построение кривой охлаждения рассмотрим на примере чугуна, содержащего 5 % углерода (рис. 5). Восстанавливаем перпендикуляр из отметки 5 % углерода на оси абсцисс до точки 1, находящейся в области жидкого состояния сплавов. Переносим пунктиром температуру точки 1 на ось температур нашего графика. В точке 1 рассматриваемый сплав находится в жидком состоянии (то есть существует только одна фаза – жидкий раствор углерода в железе), следовательно  $c = 3 - 1 = 2$ . При двух степенях свободы равновесие в системе не нарушается даже при одновременном изменении температуры и концентрации сплава в определенных пределах. При понижении температуры в сплаве не будет происходить никаких превращений, и температура будет падать быстро, кривая охлаждения идет круто вниз до точки 2.

Точкой 2 обозначено пересечение нашей вертикали с линией CD диаграммы состояния, соответствующей началу кристаллизации цементита. Следовательно, в сплаве появляется вторая фаза – цементит, число степеней свободы уменьшается ( $c = 3 - 2 = 1$ ), кривая охлаждения станет более пологой до температуры, соответствующей следующей критической точке 3. На участке кривой 1-2 указываем фазовое состояние сплава “ж” и число степеней свободы, равное 2, соответственно на участке 2-3 фазовое состояние “ж+ц”, а число степеней свободы  $c = 1$ . При изменении температуры в пределах точек 2 и 3 изменяется соотношение между жидкой и твердой фазами, но равновесие не нарушается.

Точка 3 (пересечение вертикали с линией ECF) соответствует эвтектическому превращению, то есть совместной кристаллизации цементита и аустенита с образованием ледебурита. При этом одновременно существуют три фазы – жидкость, цементит и аустенит, следовательно число степеней свободы  $c = 3 - 3 = 0$ , и система невариантна, три фазы могут находиться в равновесии только при строго постоянной температуре. На кривой охлаждения это отражено отрезком 3-3'.

Между точками 3 и 4 сплав имеет двухфазное состояние (аустенит и цементит) и  $c = 3 - 2 = 1$ . При температуре, соответствующей точке 4, в сплаве происходит эвтектоидное превращение, аналогичное эвтектическому. Отличие только в том, что в нем участвуют только твердые фазы – аустенит, цементит и феррит. На кривой охлаждения делаем соответствующие записи.

### **Содержание отчета**

1. Диаграмма состояния железо-цементит с обозначением критических точек и областей диаграммы.
2. Кривая охлаждения (или нагрева) сплава с заданной концентрацией углерода.
3. Определение феррита, аустенита, перлита, ледебурита и зарисовка их структур.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое фаза?
2. Что называется структурной составляющей?
3. Дайте определения понятиям: феррит, аустенит, цементит, перлит, ледебулит.
4. Что такое критическая точка?
5. Как обозначаются критические точки?
6. Что такое эвтектическое превращение?
7. Чем эвтектоидное превращение отличается от эвтектического?
8. Напишите и расшифруйте правило фаз.
9. Как строятся кривые охлаждения?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Цель работы:** изучить влияние закалки и режимов старения на свойства алюминиевых сплавов.

#### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Из цветных сплавов конструкционного назначения широко используются алюминиевые сплавы. У них отсутствуют мартенситные превращения, как в сплавах железо-углерод. Поэтому типовая упрочняющая термическая обработка стальных деталей, заключающаяся в проведении закалки с получением мартенситной структуры и последующего отпуска, для алюминиевых сплавов неприменима. Такие сплавы обычно характеризуются ограниченной переменной растворимостью легирующих элементов в алюминии в твердом состоянии. Для них разработан особый вид двухэтапной упрочняющей термической обработки

1. Закалка с получением перенасыщенного, термодинамически неустойчивого твердого раствора легирующих элементов в алюминии.

2. Старение путем повторного нагрева закаленного сплава до невысоких температур (в некоторых сплавах проводится без нагрева путем выдержки в течение нескольких суток при комнатных температурах).

При проведении старения в результате диффузии атомов легирующих элементов в зависимости от температуры нагрева происходит образование в твердом растворе особых малых микрообъемов, называемых зонами, обогащенных атомами легирующих элементов до 50 % и более, или мелкодисперсных частиц метастабильных промежуточных химических соединений. Такие структурные изменения создают повышенные препятствия движению дислокаций, что и упрочняет сплав.

Применительно к алюминиевым сплавам закалка и старение используются как для деформируемых (дуралюмины марок 1110,



1380), так и для литейных сплавов (АК7ч, АК9ч и др.). Данные о химическом составе, обработке и механических свойствах некоторых сплавов алюминия приведены в табл. 18 и 19.

Марка сплава		Химический состав, мас. %				
цифровая	буквенная	медь	магний	марганец	кремний	железо
1160	Д16	3,8...4,5	1,2...1,8	0,3...0,9	0,5	0,5
1360	АК6	1,8...2,6	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7...1,2	0,6
-	АК7ч	-	0,2...0,4	-	6,0...8,0	0,3... 1,0

Таблица 18. Химический состав некоторых алюминиевых сплавов

Марка сплава		Полуфабрикат и обработка	Механические свойства		
цифровая	буквенная		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1160	Д16	Отжиг	220	110	18
		Закалка	300	-	23
		Закалка и старение: прутки прессованные, листы	540 440	400 330	11 18
1360	АК6	Закалка и старение:			
		Штамповка: вдоль детали поперек детали	400 370	290 280	12 10
-	АК7ч	Закалка	200	-	6
		Закалка и старение: отливки	240	210	2

Таблица 19. Механические свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов

Процессы закалки и старения подробно изучены для сплавов алюминий-медь, которые можно рассматривать как основу дуралюминов (рис. 15).

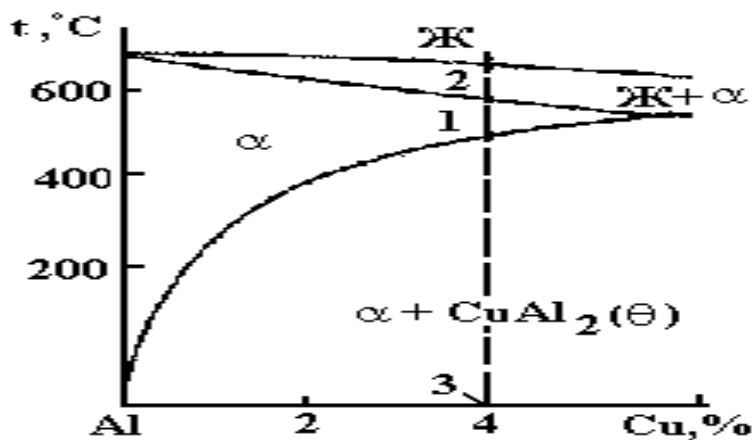


Рис. 15. Диаграмма состояния алюминий-медь

Содержание меди таких сплавов назначается в интервале переменной растворимости меди в алюминии. Закалку, например, сплава  $X_1 = 4\%$  меди проводят путем

нагрева выше температуры  $t_1$ , но ниже  $t_2$ . В процессе нагрева и выдержки должно происходить полное растворение относительно крупных частиц химического соединения  $\text{CuAl}_2$  в твердом растворе  $\alpha$  меди в алюминии.

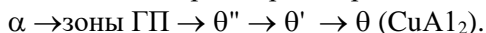
После выдержки при температуре нагрева под закалку и получения  $\alpha$  – твердого раствора ведется охлаждение со скоростью больше критической скорости закалки ( $V_{\text{охл}} > V_{\text{крит}}$ ).

В результате полной закалки высокотемпературное состояние твердого раствора  $\alpha$  с содержанием  $X_1 = 4\%$  меди сохраняется до комнатных температур  $t_3$ . При температуре  $t_3$  сплав получает структуру  $\alpha$  – твердого раствора меди в алюминии, который перенасыщен медью по сравнению с равновесным состоянием, когда растворимость составляет  $0,5\%$  меди. Получаемое в результате закалки состояние раствора  $\alpha$  ( $4\% \text{ Cu} > 0,5\% \text{ Cu}$ ) является термодинамически неустойчивым.

При повторном нагреве закаленного сплав не выше  $t_1$  т.е. при старении происходит распад перенасыщенного твердого раствора и изменение структуры. Процесс распада развивается в несколько стадий в зависимости от температуры и времени старения. В случае пониженных температур старения (в том числе и комнатных) путем диффузии атомов меди в твердом растворе образуются тонкопластинчатые дискообразные зоны с повышенной концентрацией меди. Эти зоны имеют кристаллическую решетку гранецентрированного куба, как и твердый раствор  $\alpha$ . Между зонами и окружающим их твердым раствором нет границ раздела (когерентные «границы»). Такие высоколегированные по составу зоны в твердом растворе получили название зон Гинье - Престона (сокращенно: зоны ГП).

При повышенных температурах старения образуются мелкодисперсные частицы метастабильных промежуточных фаз  $\theta''$  и  $\theta'$ , по составу соответствующих химическому соединению  $\text{CuAl}_2$  ( $\theta$ -фазе). Кристаллические решетки фаз  $\theta''$  и  $\theta'$  тетрагональные, а границы с твердым раствором  $\alpha$  у фазы  $\theta''$  полностью когерентные, а у фазы  $\theta'$  частично когерентные.

Следовательно, в случае двухкомпонентных сплавов алюминий-медь происходят следующие стадии распада закаленного перенасыщенного твердого раствора  $\alpha$ :



Величина достигаемого упрочнения материала при термической обработке зависит преимущественно от структурных факторов: типа выделяющихся фаз, размера, формы и др. Большое влияние на повышение твердости и прочности материала оказывает температурный фактор, обеспечивающий соответствующие изменения структуры выделяющихся фаз.

## **2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ**

В работе используются лабораторные муфельные электрические печи, автоматические потенциометры для регулирования температуры в печи, бачок с водой для охлаждения при закалке, твердомер, щипцы для загрузки образцов в печь и выгрузки, образцы алюминиевого сплава. Описание оборудования и приборов дано в лабораторной работе № 3.

Твердость алюминиевых сплавов измеряется методом Роквелла путем вдавливания закаленного стального шарика диаметром 1,588 мм под нагрузкой 589 Н (60 кгс) в поверхность образца. Получаемое число твердости обозначается HRF.

## **3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

В работе несколько студентов выполняют одно из практических заданий по термической обработке алюминиевого сплава. На небольших образцах сплава в лабораторных условиях имитируется реальная термическая обработка изделий. Практические задания даны ниже.

**Задание 1 .** *Изучение влияния температуры старения на твердость дуралюмина.* Четыре образца дуралюмина одной марки подвергнуть закалке от температуры нагрева 500...510 °С (время нагрева и выдержки 30...40 мин) в воде. Измерить твердость до закалки и после закалки у каждого образца.

Провести старение закаленных образцов при температуре: первого - 100 °С, второго - 180 °С, третьего - 250 °С, четвертого - 350 °С. Время нагрева и выдержки 30 мин. Измерить твердость после старения .

По полученным данным построить график зависимости твердости от температуры старения. Сделать вывод о влиянии закалки и температуры старения закаленного дуралюмина на его твердость. Указать, при какой температуре старения достигается максимальная твердость дуралюмина.

**Задание 2.** *Изучение влияния времени старения при температуре 180 °С на твердость дуралюмина.* Три образца дуралюмина одной марки подвергнуть закалке от температуры нагрева 500-510 °С (время нагрева и выдержки 30...40 мин) в воде. Измерить твердость до и после закалки у каждого образца. Провести старение закаленных образцов при температуре 180 °С и времени нагрева и выдержки: первого - 10 мин, второго - 20 мин, третьего - 40 мин Измерить твердость после старения.

По полученным данным построить график зависимости твердости от времени старения. Сделать вывод о влиянии времени старения при температуре 180 °С закаленного дуралюмина на его твердость.

**Задание 3.** *Изучение влияния времени старения при температуре 250 °С на твердость дуралюмина.* Проводится закалка пяти образцов, как указано в задании 2. Провести старение закаленных образцов при температуре 250 °С и времени нагрева и выдержки: первого - 2 мин, второго - 5 мин, третьего - 10 мин, четвертого - 20 мин, пятого - 40 мин.

По полученным данным построить график зависимости твердости от времени старения при температуре 250 °С закаленного дуралюмина. Сделать вывод о влиянии времени старения при 250 °С на твердость дуралюмина.

Далее студенты переходят в лабораторию термической обработки для проведения закалки и старения.

Как правило, образцы для проведения закалки заранее лаборантом загружаются в печь и проводится нагрев и выдержка в течение 30...40 мин. После прихода студентов в лабораторию выполняется последний этап проведения закалки: охлаждение образцов в воде.

После охлаждения измеряется твердость закаленного дуралюмина одного из образцов на приборе Роквелла по шкале HRF. Твердость образцов до закалки измеряется заранее и сообщается студентам лаборантом.

Закаленные образцы далее подвергаются старению в соответствии с заданными температурно-временными режимами. С помощью щипцов образец загружается в печь, имеющую требуемую по режиму температуру. После завершения указанного в задании времени нагрева, и выдержки образцы щипцами выгружаются из печи, помещаются на керамическую подставку или кирпич и охлаждаются на воздухе до комнатной температуры.

У охлажденных образцов лаборант измеряет твердость на приборе Роквелла по шкале HRF. Все данные о твердости по заданию записывают в таблицу. Форма таблицы для записи результатов термической обработки дана ниже.

**Таблица. Влияние термической обработки на твердость алюминиевого сплава**

Марка алюминиевого сплава. Вид термообработки (ТО)	Режим термообработки			Твердость HRF	
	t, °C	t, мин	среда охлаждения	до ТО	после ТО

Дуралюмин 1160: Закалка Старение					
--	--	--	--	--	--

После завершения экспериментальной части работы студенты по полученным данным под руководством преподавателя приступают к построению графиков следующих зависимостей:

- зависимость твердости HRF сплава от температуры старения (время нагрева и выдержки 30 мин);

- зависимость твердости HRF сплава от времени старения (две кривые при температурах 180 °С и 250 °С).

Для построения графиков каждый студент отмечает на доске и у себя в отчете в соответствующих координатах экспериментальные точки в виде крестиков, небольших кружочков и т. д, строят графики. Далее студенты по своим заданиям формулируют выводы, которые записываются в отчет. Выводы в отчете приводятся каждым студентом по всем заданиям.

#### 4. 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: понятия о закалке и старении сплавов.  
Зарисовки диаграммы состояния алюминий-медь. Описание структурных изменений при старении закаленных сплавов алюминий-медь,
4. Методика проведения работы и полученные результаты. Задание по



термической обработке, марка алюминиевого сплава, таблица результатов термической обработки по всему заданию. Два графика зависимости твердости от изучаемых факторов по всем заданиям.

5. Выводы по работе.

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

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ И САМОПРОВЕРКИ**

1. Какая упрочняющая термическая обработка применяется для алюминиевых сплавов?
2. Какие структурные изменения происходят в процессе закалки алюминиевых сплавов?
3. Какие стадии распада пересыщенного твердого происходят при разных температурах старения в сплавах алюминий-медь?
4. Что представляют собой зоны Гинье - Престона (зоны ГП)?
5. Как изменяется твердость дуралюмина в зависимости от температуры старения?
6. Какое влияние оказывает время старения на твердость дуралюмина?

## ***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 4**

# **ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Цель работы: изучение взаимосвязи состава и микро-  
структуры алюминиевых сплавов.

### **Содержание работы**

Студенты рассматривают микрошлифы алюминиевых сплавов, расшифровывают их химический состав по известной марке, и сравнивают наблюдаемую микроструктуру с ожидаемой структурой по химическому составу.

### **Теоретические сведения**

Алюминий является важнейшим металлом, широко применяемым для изготовления разнообразных алюминиевых сплавов.

Цвет алюминия серебристо-белый со своеобразным тусклым оттенком. Кристаллизуется алюминий в пространственной решетке гранцентрированного куба, аллотропических превращений у него не обнаружено.

Алюминий имеет малую плотность ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ), высокую электропроводность (составляющую около 60 % электропроводности чистой меди) и значительную теплопроводность.

В результате окисления алюминия кислородом воздуха на его поверхности образуется защитная оксидная пленка. Наличием этой пленки объясняется высокая коррозионная стойкость алюминия и многих алюминиевых сплавов.

Алюминий достаточно стоек в обычных атмосферных условиях и против действия концентрированной (90-98 %) азотной кислоты, однако он легко разрушается при действии большинства других минеральных кислот (серная, соляная), а также щелочей. Он обладает высокой пластичностью как в холодном, так и горячем состоянии, хорошо сваривается газовой и контактной сваркой,

но плохо обрабатывается резанием и отличается низкими литейными свойствами.

Для прокатанного и отожженного алюминия характерны следующие механические свойства:  $\sigma_6 = 80-100$  МПа,  $\delta = 35-40$  %,  $HB = 250-300$  МПа.

При нагартовке прочность алюминия повышается, а пластичность снижается. Соответственно степени деформации различают отожженный (АД-М), полунагартованный (АД-П) и нагартованный (АД-Н) алюминий. Отжиг алюминия для снятия наклепа проводится при 350-410 °С.

Чистый алюминий находит разнообразное применение. Из технического алюминия АД1 и АД, содержащего соответственно не менее 99,3 и 98,8 % Al, изготавливают полуфабрикаты – листы, трубы, профили, проволоку для заклепок. В электротехнике алюминий служит для замены более дорогой и тяжелой меди при изготовлении проводов, кабелей, конденсаторов, выпрямителей и т.п.

Важнейшими элементами, вводимыми в алюминиевые сплавы, являются медь, кремний, магний и цинк.

Алюминий с медью образует твердые растворы переменной концентрации. При температуре 0 °С растворимость меди в алюминии равна 0,3 %, а при температуре эвтектики 548 °С она увеличивается до 5,6 %. Алюминий и медь в соотношении 46:54 образуют стойкое химическое соединение  $CuAl_2$ .

Рассмотрим состояние сплавов алюминия с медью в зависимости от их состава и температуры (рис. 16). Линия CDE на диаграмме представляет собой линию ликвидуса, а линия CNDF является линией солидуса. Горизонтальный участок линии солидуса NDF называется также эвтектической линией.

Линия MN показывает переменную по температуре растворимость меди в алюминии. Следовательно, линия MN является границей между ненасыщенными твердыми растворами и растворами насыщенными. Поэтому эту линию часто называют также линией предельной растворимости.

В области I любой сплав будет представлять собой однородный жидкий раствор алюминия с медью, т.е.  $Al \rightleftharpoons Cu$ .

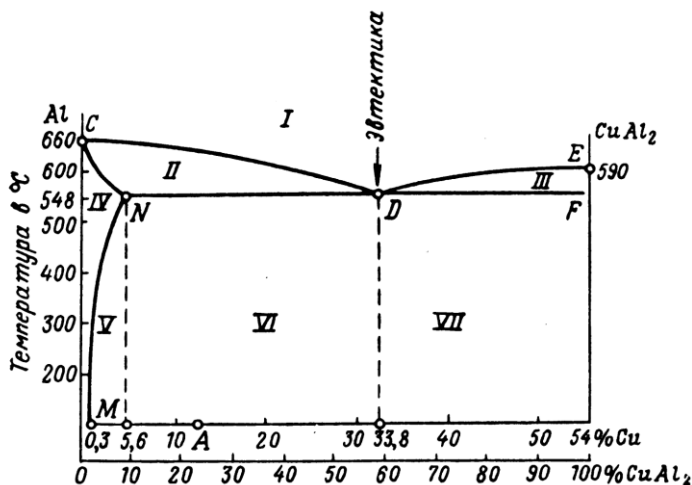


Рис. 16. Диаграмма состояния системы Al – CuAl<sub>2</sub>

В областях II и III сплавы будут находиться частично в жидком и частично в твердом состояниях. В области II твердой фазой будет твердый раствор меди в алюминии, а жидкой – жидкий раствор алюминия и меди, т.е. Al(Cu) + (Al  $\rightleftharpoons$  Cu), если твердый раствор ограниченной растворимости меди в алюминии условимся обозначать как Al(Cu).

В области III жидкой фазой будет являться также жидкий раствор алюминия и меди, а твердой – металлическое соединение CuAl<sub>2</sub>, т.е. CuAl<sub>2</sub>I + (Al  $\rightleftharpoons$  Cu). Индекс «I» (первичный) показывает, что CuAl<sub>2</sub> образовалось при кристаллизации из жидкого состояния. В остальных областях полностью затвердевшие сплавы будут иметь следующее строение:

в области IV – однородный твердый раствор меди в алюминии, т.е. Al(Cu);

в области V – твердый раствор меди в алюминии и вторичный CuAl<sub>2</sub>II;

в области VI – твердый раствор меди в алюминии, вторичный  $\text{CuAl}_2$  и эвтектика, т.е.  $\text{Al}(\text{Cu}) + \text{CuAl}_{2\text{II}} + [\text{Al}(\text{Cu}) + \text{CuAl}_2]$ ;

в области VII – первичный  $\text{CuAl}_2$  и эвтектика, т.е.

$\text{CuAl}_{2\text{I}} + [\text{Al}(\text{Cu}) + \text{CuAl}_2]$ .

Эвтектика этих сплавов представляет собой особую механическую смесь чередующихся мельчайших кристаллов твердого раствора меди в алюминии и металлического соединения  $\text{CuAl}_2$ , т.е.  $[\text{Al}(\text{Cu}) + \text{CuAl}_2]$ .

Все сплавы системы  $\text{Al} - \text{CuAl}_2$  по структуре и концентрации можно разделить на четыре группы:

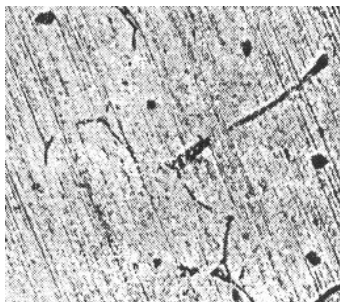
1-я группа содержит меди от 0 до 0,3 %;

2-я группа содержит меди от 0,3 до 5,6 %;

3-я группа содержит меди от 5,6 до 33,8 %;

4-я группа содержит меди от 33,8 до 54 %.

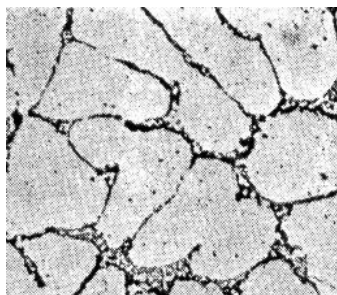
Рассмотрим строение сплавов системы  $\text{Al} - \text{CuAl}_2$ . На рис. 17, а показана структура сплава первой группы, состоящая из зерен твердого раствора меди в алюминии. Структура сплава второй группы приведена на рис. 17, б: видны зерна твердого раствора меди в алюминии и кристаллы вторичного  $\text{CuAl}_2$ . Структура доэвтектического сплава (твердый раствор меди в алюминии, кристаллы вторичного  $\text{CuAl}_2$  и эвтектика) приведена на рис. 17, в. Структура эвтектического сплава – эвтектика, состоящая из мельчайших кристалликов твердого раствора меди в алюминии и  $\text{CuAl}_2$  дана на рис. 17, г. На рис. 17, д приведена структура заэвтектического сплава, состоящая из первичных кристаллов  $\text{CuAl}_2$  и эвтектики.



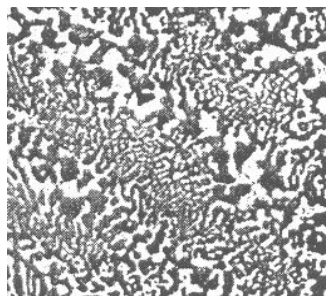
*a*



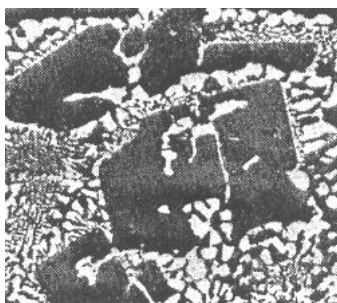
*б*



*в*



*г*



*д*

Рис.17. Микроструктуры сплавов алюминия с медью:  
*a* – 0,2 % Cu; *б* – 3 % Cu; *в* – 14 % Cu; *г* – 33,8 % Cu; *д* – 40 % Cu

В сплавах, содержащих эвтектику, можно по структуре определить содержание меди. Однако в этом случае надо учитывать количество меди, находящееся в эвтектике и в твердом растворе. Например, в доэвтектическом сплаве, содержащем 30 % эвтектики и 70 % твердого раствора, количество меди в эвтектике

$$k_x = \frac{30 \cdot 33,8}{100} = 10,14 \%,$$

а в твердом растворе

$$k_y = \frac{70 \cdot 5,6}{100} = 3,92 \%.$$

Следовательно, исследуемый сплав содержит

$$k_x + k_y = 14,06 \% \text{ меди,}$$

что соответствует точке А, лежащей на оси абсцисс диаграммы состояния системы Al – CuAl<sub>2</sub> (рис. 16).

При определении состава заэвтектических сплавов рассчитывают количество меди, находящееся в эвтектике и в химическом соединении CuAl<sub>2</sub>. Сумма этих количеств будет соответствовать содержанию меди в заэвтектическом сплаве. Химическое соединение CuAl<sub>2</sub> отличается большой твердостью и хрупкостью.

В технике применяются преимущественно алюминиевые сплавы, содержащие 2-5 % меди, которые называются дуралюминами. Они хорошо обрабатываются давлением и имеют высокие механические свойства после термической обработки и нагартовки. Дуралюмины применяют для изготовления деталей и элементов конструкций средней и повышенной прочности ( $\sigma_s = 420-520$  МПа), требующих долговечности при переменных нагрузках, в строительных конструкциях. Из дуралюмина изготавливают обшивки, шпангоуты, стрингеры и лонжероны самолетов, силовые каркасы и кузова грузовых автомобилей и т.д.

Сплавы Al с Si называют силуминами. Они обладают хорошими литейными свойствами и содержат 4-13 % Si. Из диаграммы состояния этих сплавов (рис. 18) следует, что силумины представляют собой



доэвтектические или эвтектические сплавы, содержащие в структуре значительные количества эвтектики.

Однако при литье в обычных условиях эти сплавы приобретают неудовлетворительное строение, так как эвтектика получается грубопластинчатой, с крупными включениями хрупкого кремния, что сообщает сплавам низкие механические свойства.

На рис. 19, а представлена структура силумина марки АЛ2, содержащего 11-13 % Si. В соответствии с диаграммой состояния алюминий – кремний сплав такого состава имеет эвтектическое строение. Эвтектика состоит из  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии (светлый фон) и игольчатых крупных и хрупких кристаллов кремния. Игольчатые выделения частиц кремния создают внутренние острые надрезы в пластичном алюминии и приводят к преждевременному разрушению при нагружении.

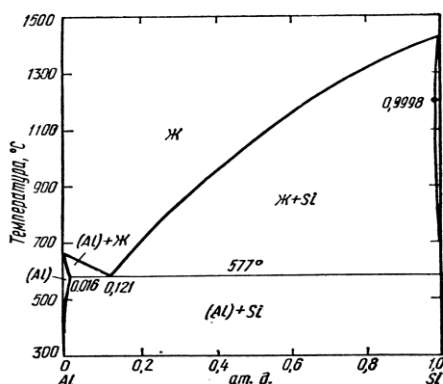


Рис. 18. Диаграмма состояния системы Al – Si

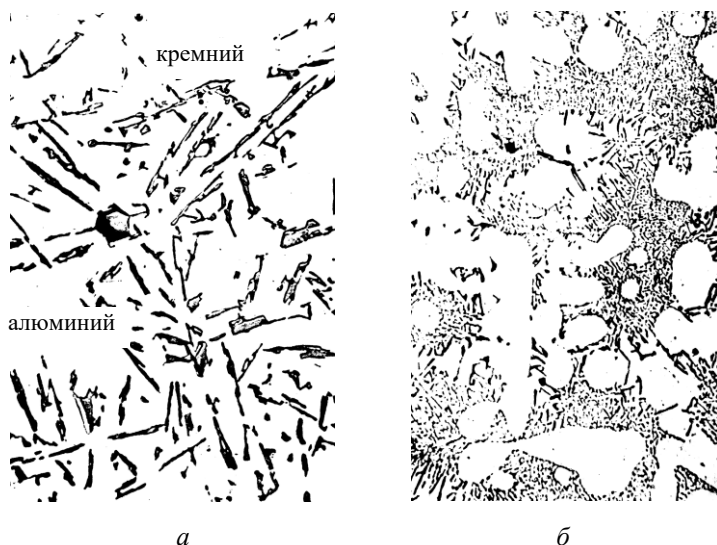


Рис.19. Силумин: *а* – до модифицирования, грубоигольчатая эвтектика (Al-Si) и первичные выделения кремния;  
*б* – после модифицирования, мелкодисперсная эвтектика (Al-Si) и дендриты твердого раствора кремния и других элементов в алюминии

Введение модификатора меняет характер кристаллизации. Происходит смещение линий диаграммы состояния так, что сплав с 11-13 % кремния становится доэвтектическим. В структуре появляются избыточные светлые зерна  $\alpha$ -твердого раствора (рис.19, б). Модификатор изменяет форму частиц кремния: вместо игольчатых выпадают мелкие равноосные, не создающие опасных концентраций напряжений при нагружении. В результате модифицирования предел прочности повышается с 130 до 160 МПа, а относительное удлинение с 2 до 4 %.

В сплавах, обрабатываемых давлением, содержание кремния менее 1 %. В алюминиевых сплавах, содержащих магний, кремний связывается с ним в устойчивое металлическое соединение  $Mg_2Si$ ; оно образует с алюминием диаграмму состояния эвтектического типа с ограниченными твердыми растворами (рис. 20).

Соединение  $Mg_2Si$  отличается высокой твердостью, его переменная растворимость в алюминии позволяет достигать значительного упрочнения при термической обработке.

В электротехнике применяют алюминиевые сплавы типа альдрей, легированные магнием и кремнием. При старении закаленных сплавов  $Mg_2Si$  выпадает из твердого раствора и упрочняет его. В результате такой обработки удастся получить предел прочности до 350 МПа при относительном удлинении 10-15 %. Существенно, что электрическая проводимость такого сплава составляет 85 % электрической проводимости проводникового алюминия. Это обусловлено тем, что из

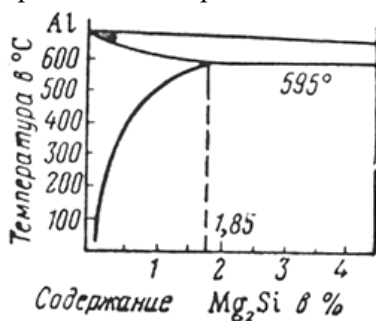


Рис. 20. Диаграмма состояния системы Al –  $Mg_2Si$

твердого раствора при старении почти полностью удаляется  $Mg_2Si$  и сплав состоит из чистого алюминия и упрочняющей фазы ( $Mg_2Si$ ).

Магний образует с алюминием твердые растворы, а также  $\beta$ -фазу на основе соединения  $Mg_2Al_3$ . В большинство алюминиевых сплавов вводится магния не более 3 %, но в некоторых литейных сплавах типа магнилия содержание его доходит до 12 %.

Как видно из рис. 21, в сплавах алюминия с магнием образуется эвтектика. Растворимость магния в алюминии сильно меняется с изменением температуры. В качестве примера можно привести сплав АЛ8. В литом состоянии он имеет структуру, состоящую из зерен твердого раствора магния в алюминии и включений хрупкого соединения  $Al_3Mg_2$ . После литья проводится гомогенизация при температуре 430 °C в течение 15-20 часов, затем следует закалка в масле.

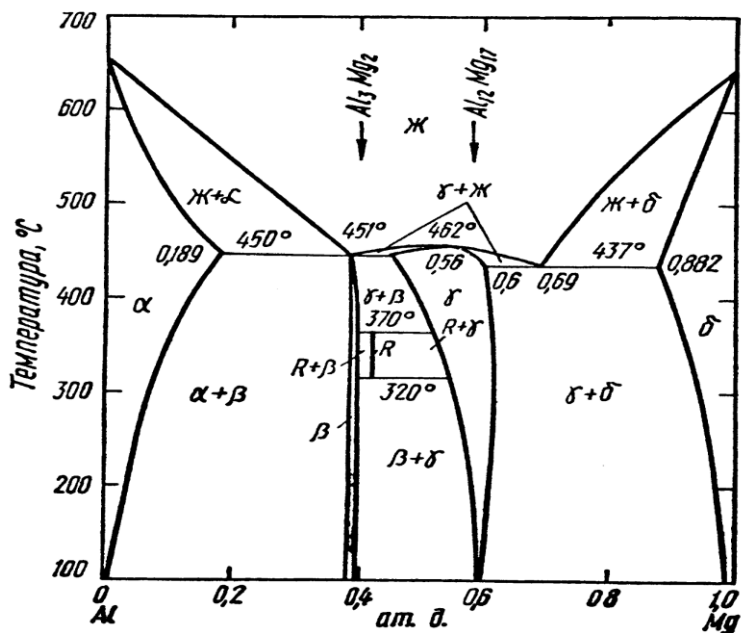


Рис.

21. Диаграмма состояния системы Al – Mg

В процессе гомогенизации включения  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  полностью переходят в твердый раствор. Закаленный сплав приобретает достаточную прочность ( $\sigma_s = 300$  МПа) и большую пластичность. Одновременно сплав приобретает высокую коррозионную стойкость. Старение для сплава АЛ8 является вредным: резко снижается пластичность и ухудшается коррозионная стойкость.

Цинк вводится в некоторые высокопрочные алюминиевые сплавы в количестве до 9 %. В двойных сплавах с алюминием при температуре выше 250 °С цинк (в этих пределах) находится в твердом растворе (рис. 22).

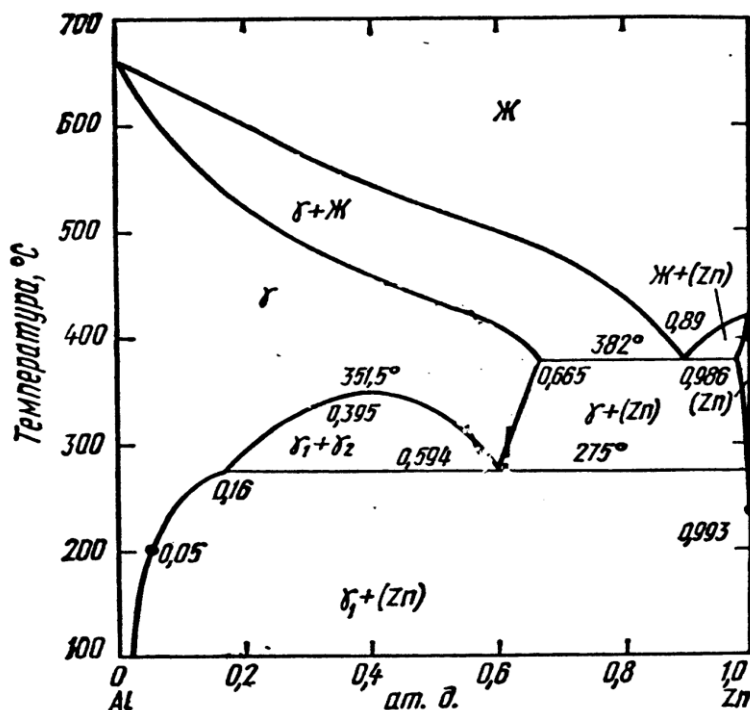


Рис.

22. Диаграмма состояния системы Al – Zn

Все высокопрочные сплавы имеют сложный химический состав. Так, сплав В95 содержит 6 % Zn, 2,3 % Mg, 1,7 % Cu, 0,4 % Mn и 0,15 % Cr. Цинк, магний и медь образуют с алюминием твердые растворы и металлические соединения  $\text{MgZn}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  – S-фаза,  $\text{Mg}_4\text{Zn}_3\text{Al}_3$  – T-фаза. При нагревании эти металлические соединения растворяются в алюминии. Например при температуре 475 °C растворимость  $\text{MgZn}_2$  в алюминии повышается до 18 % (рис. 23). После закалки и искусственного старения сплав В95 имеет  $\sigma_6 = 600$  МПа,  $\delta = 12$  %. Марганец и хром усиливают эффект старения и повышают коррозионную стойкость сплава.

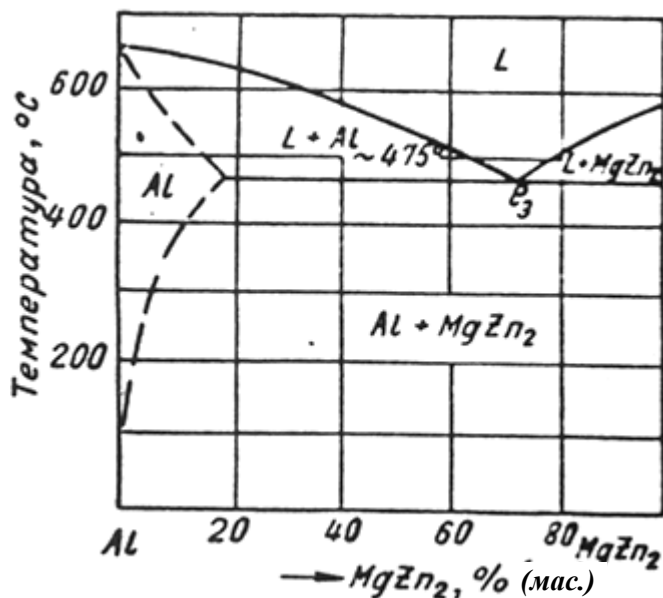


Рис. 23. Диаграмма состояния системы Al – MgZn<sub>2</sub>

### Необходимое оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп.
2. Микровизор металлографический  $\mu$ Vizo МЕТ-221
3. Набор шлифов алюминиевых сплавов.
4. Стенд с микроструктурами алюминиевых сплавов.

### Содержание отчета

1. Зарисовки микроструктур изученных сплавов с указанием фаз и структурных составляющих.
2. Копирование диаграммы фазового равновесия, указанной преподавателем.
3. Для сплава заданного состава описание всех фазовых превращений при нагреве или охлаждении и определение химического состава фаз.

## **Контрольные вопросы**

1. Почему коррозионная стойкость многих алюминиевых сплавов ниже коррозионной стойкости чистого алюминия?
2. Можно ли по микроструктуре сплава определить тип сплава – литейный или деформируемый?
3. Какова структура деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой?
4. Каким путем достигается упрочнение однофазных алюминиевых сплавов?
5. Какова упрочняющая термическая обработка двухфазных алюминиевых сплавов?
6. Что является целью закалки дуралюмина?
7. Каковы основные механические свойства дуралюмина?
8. Какие сплавы называются силуминами?
9. Какова удельная прочность алюминиевых сплавов?
10. Основные легирующие элементы в алюминиевых сплавах.

## **Лабораторная работа 5**

### **МИКРОАНАЛИЗ ТИТАНОВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Цель работы: изучение микроструктуры магниевых (литейных и деформируемых) и титановых ( $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$ ,  $\beta$ ) сплавов.

#### **Содержание работы**

Студенты рассматривают микрошлифы магниевых и титановых сплавов, сравнивают наблюдаемую микроструктуру с ожидаемой структурой по химическому составу.

#### **Теоретические сведения**

Магниевые сплавы содержат кроме магния также алюминий, цинк и марганец. Эти элементы обладают ограниченной растворимостью в магнии, поэтому при определенном химическом составе магниевые сплавы способны подвергаться термической обработке (закалке и старению). Магниевые сплавы, как и алюминиевые, разделяют на литейные (маркируются буквами МЛ) и деформируемые (маркируются буквами МА).

Например, литейный магниевый сплав МЛ5 (7,5-9,0% Al; 0,2-0,8% Zn; 0,15-0,5% Mn, остальное магний) после литья имеет структуру состоящую из  $\alpha$  твердого раствора сложного состава (светлое поле на изображении микроструктуры) и включений  $Mg_4Al_3$ .

Структура этого сплава (МЛ5) после диффузионного отжига при 360<sup>0</sup>С и закалки от 410-415<sup>0</sup>С с охлаждением на воздухе состоит из зерен  $\alpha$ - твердого раствора, внутри и по границам, которых видны включения марганцовистой фазы и остатки нерастворившегося соединения  $Mg_4Al_3$ .

По химическому составу деформируемые магниевые сплавы близки к литейным. Например, сплав МА5 имеет состав: 7,8-9,2% Al; 0,2-0,8% Zn; 0,15-0,5% Mn; остальное- магний, и по структуре мало отличается от сплава МЛ5.



Современные титановые сплавы делят на три основные группы:  $\alpha$ -сплавы,  $\alpha+\beta$ -сплавы и  $\beta$ -сплавы.

Микроструктура  $\alpha$ -сплавов. К  $\alpha$ - сплавам относятся технический титан ВТ1 и сплавы на основе системы титан-алюминий (например, сплав ВТ5, содержащий 5% алюминия);  $\alpha$ - сплавы не упрочняются закалкой и старением, и поэтому их обычно подвергают отжигу.

Микроструктура  $\alpha$ - сплава после отжига- зерна  $\alpha$ - фазы.

Микроструктура  $\alpha+\beta$  – сплавов. Сплавы данной группы имеют наибольшее промышленное применение. Для получения в титановых сплавах  $\alpha+\beta$  –структуры их легируют в определенном количестве  $\alpha$ -стабилизаторами (алюминием) и  $\beta$ - стабилизаторами (хромом, марганцем, молибденом, ванадием, железом).

К этой группе сплавов относится большинство промышленных сплавов: ВТ3-1 (4,5-6,2% Al; 1,0-2,5 Cr; 1,0-2,8 Mo; 0,05-1,5%Fe); ВТ8 (5,8-6,5% Al; 2,8-3,8% Mo; 0,2-0,35% Si); ВТ14 (3,5-4,5% Al; 0,7-1,5% V; 2,5-3,5Mo) и др.

В отожженном состоянии микроструктура сплавов этой группы состоит из  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз. Они упрочняются термической обработкой. Закалка приводит к образованию игольчатой структуры мартенситного типа –  $\alpha^1$ - фазы. При последующем старении образуется структура, состоящая из смеси  $\alpha^1$  и  $\alpha$ - фаз.

## Необходимое оборудование и материалы

- 1.Металлографический микроскоп.
- 2.Микровизор металлографический  $\mu$ Vizo MET-221
3. Микрошлифы магниевых и титановых сплавов.

## Содержание отчета

- 1.Зарисовки микроструктур изученных сплавов с указанием фаз и структурных составляющих.

№п/ п	Наименование и марка сплава	Хим. со- став, %	Микроструктура		Свойства
			Зарисовка	Наимено- вание	

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

2. Результаты микроанализа оформить в виде протокола

3. Написать отчет по работе

## Практическая работа 2

### **Ознакомление с химическими, физическими и механическими испытаниями металлов и неметаллов**

Ц е л ь р а б о т ы : ознакомление с химическими, физическими и механическими методами испытания металлов и неметаллов

#### **Содержание работы**

В ходе экскурсии студенты знакомятся с оборудованием ЦЗЛ Иркутского авиационного завода, применяемым при различных методах испытаний металлов и неметаллов

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Оборудование ЦЗЛ Иркутского авиационного завода.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению, с описанием испытаний, которые проводятся в лабораториях.

## **Практическая работа 3**

### **Ознакомление с не разрушающими и разрушающими методами контроля**

**Цель работы:** ознакомление с не разрушающими и разрушающими методами контроля

### **Содержание работы**

В ходе экскурсии студенты знакомятся с оборудованием ЦЗЛ Иркутского авиационного завода, применяемым при не разрушающих и разрушающих методах контроля

### **Необходимое оборудование и материалы**

Оборудование ЦЗЛ Иркутского авиационного завода: Магнитный дефектоскоп, ультразвуковой дефектоскоп, люминисцентный дефектоскоп

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению, с описанием методов, которые проводятся в лабораториях.

## Практическая работа 4

### **Ознакомление с металлургическим производством**

Ц е л ь   р а б о т ы : ознакомление с металлургическим производством

#### **Содержание работы**

В ходе экскурсии студенты знакомятся с оборудованием литейного цеха Иркутского авиационного завода

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Оборудование литейного цеха Иркутского авиационного завода:

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению, с описанием работ, которые проводятся в литейном цехе ИАЗ.

## Практическая работа 5

### **Определение свойств легированных инструментальных сталей по справочнику: «Марочник стали и сплавов»**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, расшифровывать марки легированных инструментальных сталей и определять свойства легированных инструментальных сталей

### **Содержание работы**

Студент получает марку легированной инструментальной стали, кратко расшифровывает её, из «Марочника стали и сплавов» выписывает:

Назначение

Температура критических точек

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку легированной инструментальной стали.

### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник: «Марочник стали и сплавов» под редакцией Зубченко А.С., Машиностроение, 2003г., образцы легированных инструментальных сталей.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению

## Практическая работа 6

### **Определение свойств титановых и магниевых сплавов**

Цель работы: научиться работать со справочной литературой, расшифровывать марки титановых и магниевых сплавов и определять их основные свойства.

### **Содержание работы**

Студент получает марку магниевого и титанового сплава кратко расшифровывает их, из справочника выписывает:

Назначение

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку магниевого и титанового сплава.

### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник: «Сплавы цветных металлов», образцы титановых и магниевых сплавов.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению

## Практическая работа 7

### **Определение свойств медных сплавов по справочнику: «Конструкционные материалы»**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, расшифровывать марки медных сплавов и определять свойства медных сплавов

### **Содержание работы**

Студент получает марку медного сплава кратко расшифровывает его, из справочника **«Конструкционные материалы»** выписывает:

Назначение  
Химический состав  
Механические свойства  
Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку медного сплава

### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник: **«Конструкционные материалы»** под редакцией Арзамасова Б.Н., образцы медных сплавов.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению



## Практическая работа 8

### **Определение состава и свойств сталей с особыми свойствами (жаростойкие и жаропрочные)**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, расшифровывать марки жаростойких и жаропрочных сталей.

#### **Содержание работы**

Студент получает марку жаростойкой и жаропрочной стали, кратко расшифровывает её, из справочника «Марочник стали и сплавов» выписывает:

Назначение

Температура критических точек

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку жаростойкой и жаропрочной стали.

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник: «Марочник стали и сплавов» под редакцией Зубченко А.С., Машиностроение, 2003г., образцы сталей.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению

## Практическая работа 9

### **Анализ свойств керамических и сверхтвёрдых материалов, применяемых для изготовления деталей летательных аппаратов**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, анализировать свойства керамических и сверхтвёрдых материалов.

#### **Содержание работы**

Студент получает марку керамического и сверхтвёрдого материала, кратко расшифровывает её, из справочника выписывает:

Назначение

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку керамического и сверхтвёрдого материала.

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник, образцы материалов.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению

## Практическая работа 10

### **Анализ свойств порошковых, фрикционных и антифрикционных материалов, применяемых для деталей летательных аппаратов**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, анализировать свойства порошковых, фрикционных и антифрикционных материалов.

#### **Содержание работы**

Студент получает марку порошкового, фрикционного и антифрикционного материала кратко расшифровывает, из справочника выписывает:

Назначение

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку порошкового, фрикционного и антифрикционного материала.

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник, образцы материалов.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению

## Практическая работа 11

### **Анализ свойств композиционных материалов, применяемых для деталей летательных аппаратов**

**Цель работы:** научиться работать со справочной литературой, анализировать свойства композиционных материалов.

#### **Содержание работы**

Студент получает марку композиционного материала, кратко расшифровывает её, из справочника выписывает:

Назначение

Химический состав

Механические свойства

Технологические свойства

Отвечает на вопрос: Как расшифровывать марку композиционного материала.

#### **Необходимое оборудование и материалы**

Справочник, образцы КМ.

#### **Содержание отчета**

Отчет оформляется в рабочей тетради по Материаловедению