

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР
_____ В.Л. Бибик
« _____ » _____ 2014 г.

Валуев Д.В.

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Издательство
Юргинского технологического института (филиала)
Томского политехнического университета
2014

УДК 620.18: 669. 14. 018. 252

Микроскопическое исследование структуры алюминиевых сплавов: методические указания к выполнению практической работы по курсу «Термическая обработка металлов и сплавов» для бакалавров по направлению 150400 «Металлургия» очной формы обучения / Сост. Д.В. Валуев. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2014. – 16с.

Рецензент

доктор технических наук, доцент

С.Б. Сапожков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
МЧМ ЮТИ ТПУ
«__» _____ 2014 г.

Зав. кафедрой МЧМ

канд. тех. наук,

_____ А.А. Сапрыкин

Председатель

учебно-методической комиссии

_____ И.С. Сулимова

Рецензент

Кандидат технических наук,

доцент

С.Б. Сапожков

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ЮТИ ТПУ, 2014

© Валуев Д.В., 2014

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить микроструктуру литых и деформируемых алюминиевых сплавов. Научиться самостоятельно проводить микроанализ этих материалов.

ЗАДАНИЕ

1. Начертить диаграмму состояния $Al - Si$, заштриховать область соответствующую силумину, содержащему 12 – 13% Si , пунктирной линией нанести на диаграмму линии ликвидуса и солидуса для немодифицированных сплавов.

2. При двухсоткратном увеличении микроскопа проанализировать микроструктуру доэвтектического, эвтектического, заэвтектического и модифицированного силуминов. Объяснить как влияет модифицирование на механические и литейные свойства силуминов.

3. Начертить участок диаграммы состояния $Al - Cu$ (до 10 % Cu) нанести фигуративную линию сплава, содержащего 4 % Cu . Точками обозначить температуры оплавления – 600 °С, закалки – 530 °С и искусственного старения – 200 °С.

4. При двухсоткратном увеличении микроскопа проанализировать микроструктуры образцов сплава Д1 в закаленном, состаренном состояниях и после перегрева. Объяснить влияние термической обработки на механические свойства сплава.

Алюминий характеризуется высокими технологическими свойствами. Из него могут быть изготовлены любые полуфабрикаты различных габаритов. Благодаря высокой пластичности полуфабрикаты из алюминия легко можно подвергать деформации без существенных нагревов. Сварка может осуществляться практически всеми методами, включая сварку плавлением. Обрабатываемость резанием вследствие высокой вязкости у алюминия плохая.

Он используется в электротехнической промышленности и теплообменниках. Высокая отражательная способность алюминия используется для производства зеркал, мощных рефлекторов. Алюминий практически не взаимодействует с азотной кислотой, органическими кислотами и пищевыми продуктами. Из него изготавливается тара для транспортировки пищевых продуктов, домашняя утварь. Листовой алюминий широко применяется как упаковочный материал. Значительно выросло применение алюминия в строительстве и на транспорте.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В зависимости от способа производства промышленные алюминиевые сплавы делятся на спеченные, литейные и деформируемые (рис.1).

Литейные сплавы претерпевают эвтектическое превращение, а деформируемые – нет. Последние в свою очередь бывают термически неупрочняемые (сплавы в которых нет фазовых превращений в твердом состоянии) и деформируемые, термически упрочняемые (сплавы, упрочняемые закалкой и старением).

Алюминиевые сплавы обычно легируют *Cu*, *Mg*, *Si*, *Mn*, *Zn*, реже *Li*, *Ni*, *Ti*.

1.3. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, НЕУПРОЧНЯЕМЫЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

К этой группе сплавов относятся технический алюминий и термически неупрочняемые свариваемые коррозионностойкие сплавы (сплавы алюминия с марганцем и магнием). Сплавы АМц относятся к системе *Al – Mn* (рис.2).

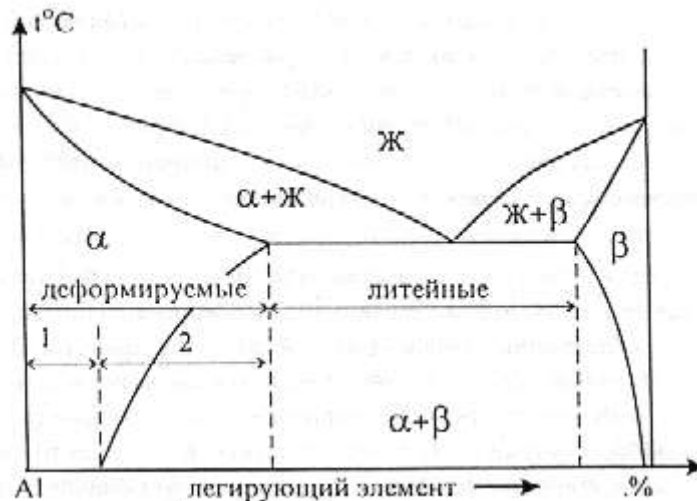


Рис.1. Диаграмма состояний “алюминий – легирующий элемент”: 1– деформируемые, термически неупрочняемые сплавы; 2– деформируемые, термически упрочняемые сплавы.

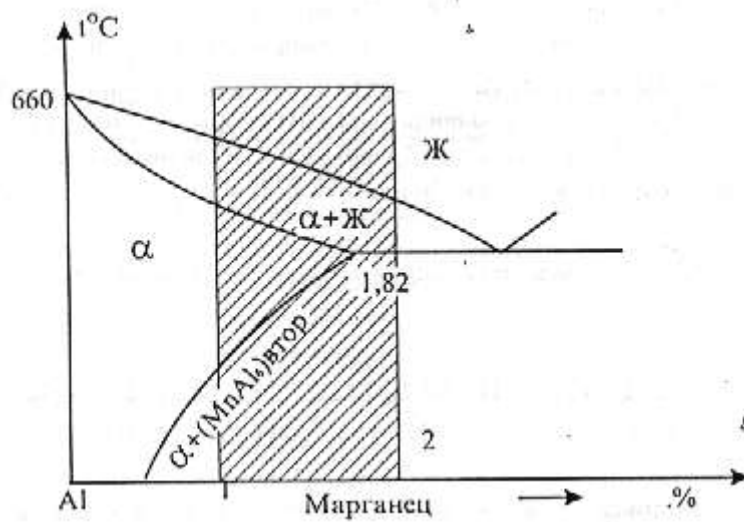


Рис.2. Диаграмма состояния “алюминий – марганец”:
 □ –концентрация Mn в промышленных сплавах.

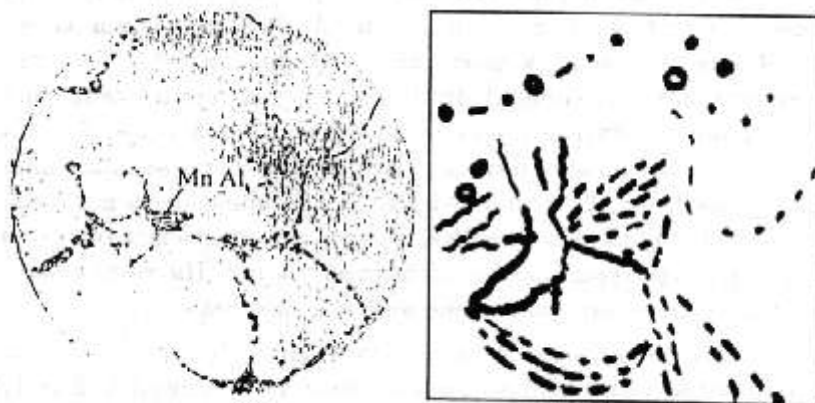


Рис. 3 Микроструктура сплава АМЦ.

Рис.3. Микроструктура сплава АМЦ

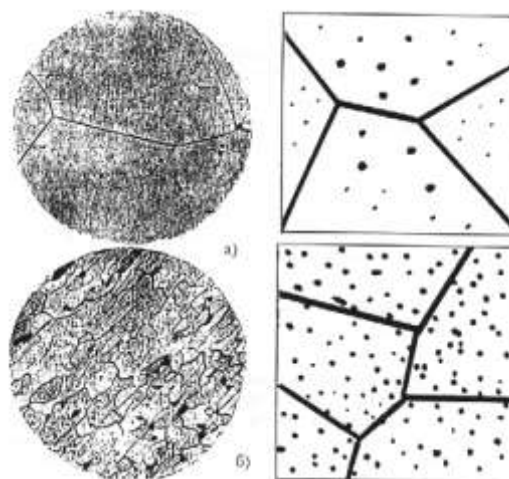


Рис.6. Микроструктура дюралюмина после:
 а) закалки в воде с температуры T_2 ;
 б) закалки и искусственного старения при T_3
 (справа – схематическое изображение)

Структура сплава Амц состоит из α -твердого раствора марганца в алюминии и вторичных выделений фазы $MnAl$ (рис.3). В присутствии железа вместо $MnAl$ образуется сложная фаза $(MnFe)Al$, практически нерастворимая в алюминии, поэтому сплав Амц и упрочняется термической обработкой.

Состав данных сплавов имеет очень узкие пределы: 1—1,7% Mn ; 0,05 – 0,20% Cu ; медь добавляют в целях уменьшения питтинговой коррозии.

Допускается до 0,6–0,7% Fe и. п 0,6—0,7% Si , что приводит к некоторому упрочнению сплавов без существенной потери сопротивления коррозии.

При понижении температуры прочность быстро растет. Поэтому сплавы этой группы нашли широкое применение в криогенной технике.

Сплавы АМг (магналий) относятся к системе $Al - Mg$ (рис.4). Магний образует с алюминием α -твердый раствор и в области концентраций от 1,4 до 17,4% Mg происходит выделение вторичной β -фазы ($MgAl$), но сплавы содержащие до 7% Mg , дают очень незначительное упрочнение при термической обработке, поэтому их упрочняют пластической деформацией–нагартовкой.

Сплавы систем $Al - Mn$. и $Al - Mg$ используются в отожженном, нагартованном и полунагартованном состояниях. В промышленных сплавах магний содержится в пределах от 0,5 до 12... 13%, сплавы с низким содержанием магния обладают наилучшей способностью к

формообразованию, сплавы с высоким содержанием магния имеют хорошие литейные свойства (табл.5) приложения.

На судах из сплавов этой группы изготовлены спасательные боты, шлюпбалки, заборные трапы, дельные вещи и т.п.

1.4 ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, УПРОЧНЯЕМЫЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

К этой группе сплавов относятся сплавы высокой и нормальной прочности. Составы некоторых деформируемых термически упрочняемых сплавов приведены в таблице 6 приложения. Типичными деформируемыми алюми-ниевыми сплавами являются дуралюмины (маркируют буквой Д) – сплавы системы $Al - Cu - Mg$. Очень упрощенно процессы, проходящие при упрочняющей термической обработке дуралюмина можно рассмотреть, используя диаграмму $Al - Cu$ (рис.5).

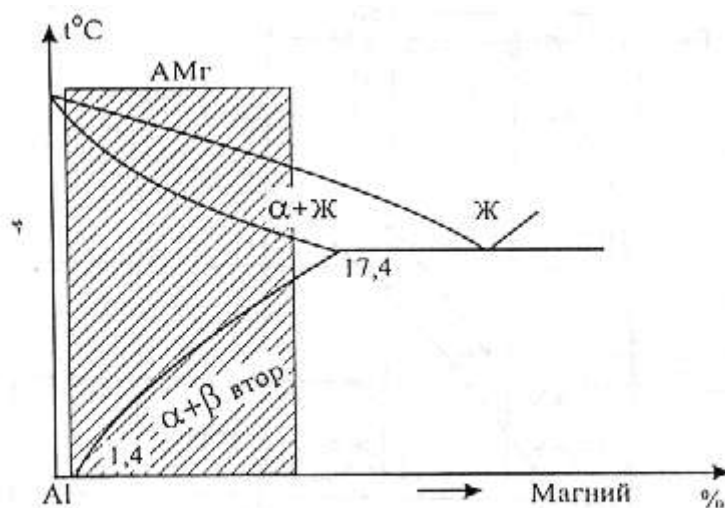


Рис. 4 Диаграмма состояния "алюминий - магний".

▨ - концентрация Mg в промышленных сплавах

Рис.4. Диаграмма состояния "алюминий – магний".

□ – концентрация Mg в промышленных сплавах.

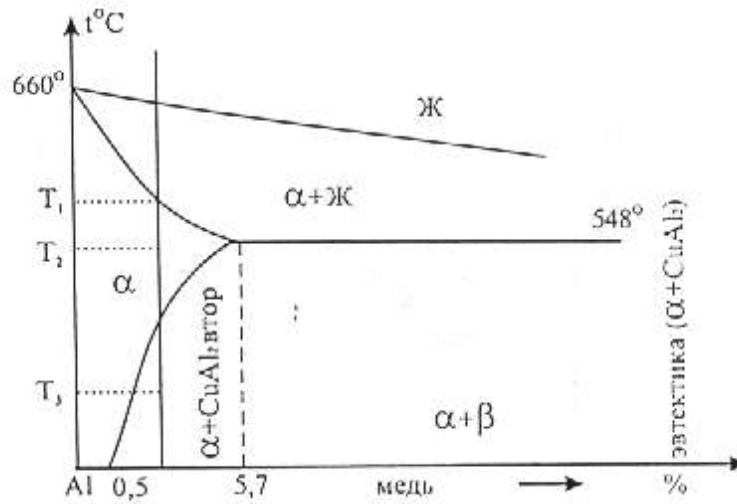
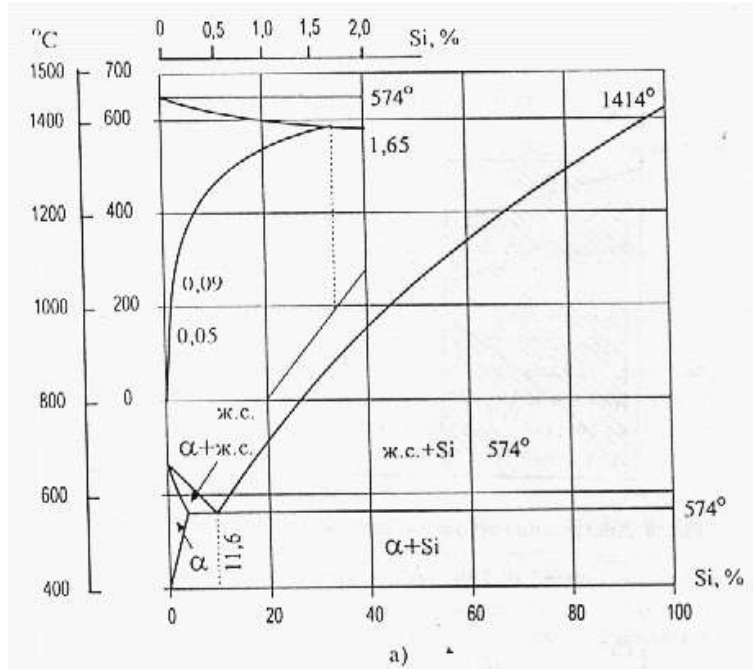


Рис. 5 Фрагмент диаграммы состояния "алюминий - медь":
 T_1 - температура оплавления;
 T_2 - температура закалки;
 T_3 - температура искусственного старения.

Рис.5. Фрагмент диаграммы состояния "алюминий – медь": T_1 – температура оплавления; T_2 – температура закалки; T_3 – температура искусственного старения.



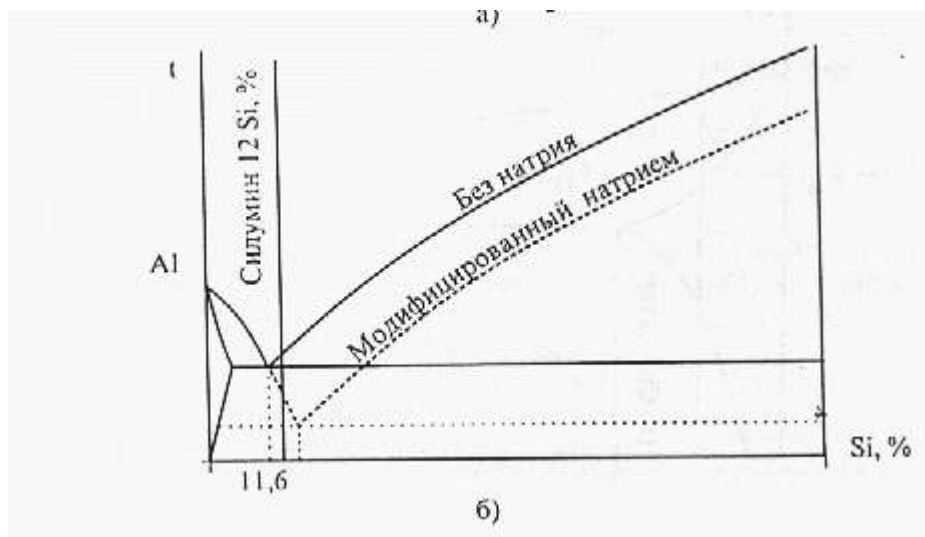


Рис.7. Диаграмма состояния “алюминий – кремний”: а) общий вид; б) после введения модификатора.

При закалке, которая заключается в нагреве сплава выше линии переменной растворимости, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении, фиксируется структура пересыщенного α – твердого раствора (светлый на рис.6а) и нерастворимых включения железистых и марганцовистых соединений (темные). Сплав в свежезакаленном состоянии имеет небольшую прочность $\sigma_6 = 30 \text{ кг/мм}^2$ (300 Мпа); $\delta = 18\%$; твердость НВ75.

Пересыщенный твердый раствор неустойчив. Наивысшая прочность достигается при последующем старении закаленного сплава. Искусственное старение заключается в выдержке при температуре 150 — 180 градусов. При этом из пересыщенного α – твердого раствора выделяются упрочняющие фазы CuAl_2 , CuMgAl_2 , $\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu}$. Микроструктура состаренного сплава представлена на рис.6б. Она состоит из твердого раствора и включений различных вышеперечисленных фаз.

1.5 ЛИТЕЙНЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Действующий в настоящее время стандарт на алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-89) предусматривает их деление на 5 групп:

I	–	сплавы	на	основе	системы	Al	–	Si	–	Mg
II	–	–	–	–	Al	–	–	Si	–	Cu
III	–	–	–	–	–	Al	–	–	–	Cu

IV — " — Al — Mg
 V – сплавы на основе системы алюминий – прочие компоненты.

В таблице 7 приложения приведены некоторые марки сплавов этой группы и их химический состав.

Характерным представителем алюминиевых литейных сплавов являются силумины – это сплавы алюминия с кремнием, обычно содержащие 10-13% *Si* (АК12) (рис.7).

Микроструктура литых доэвтектических силуминов состоит из светлых дендритов α - твердого раствора кремния в алюминии и двойной эвтектики $\alpha + Si$ игольчатого типа, рис.8в (т.к. растворимость *Al* в *Si* при комнатной температуре составляет 0,05% , допустимо считать, что в структуре сплавов при низких температурах присутствует не β -твердый раствор, кремний).

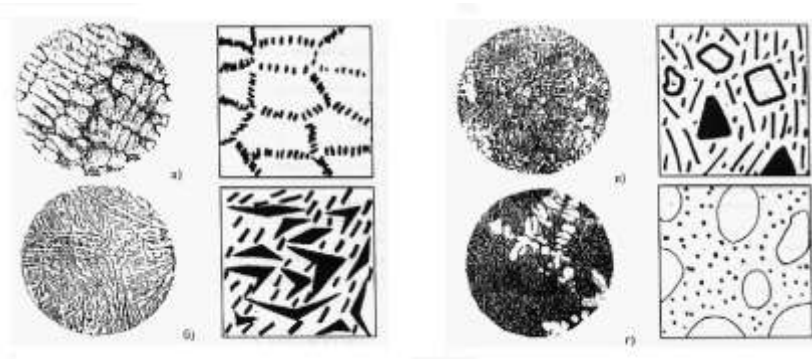


Рис.8. Микроструктура силуминов (справа – схематическое изображение): а) доэвтектический, б) эвтектический в) заэвтектический, г) модифицированный.

Микроструктура сплава эвтектического состава состоит из эвтектики $\alpha + Si$. При обычном способе литья эта эвтектика имеет грубое строение (рис.8б). Кремний в ней находится в виде грубых игл. В силуминах заэвтектического состава первично кристаллизуются многогранные кристаллы *Si*. светлосерого цвета (рис.8в). Кремний хрупок, поэтому силумины имеют низкие механические свойства ($\sigma_6 = 120 \dots 160$ МПа, $\delta = 1 \dots 2\%$). Чтобы избавиться от грубой эвтектики и первичных кристаллов, сплавы модифицируют, т.е. перед разливкой в расплав вводят небольшое количество натрия (0,05—0,08% к массе сплава) или кальция, бора. В результате модифицирования (рис.7 – пунктир) увеличивается концентрация кремния в эвтектике (с 11,7% до 15%) и сплавы переохлаждаются относительно равновесно эвтектической температуры 577 °С. Силумины заэвтектического состава, содержащие 11,7 — 15% *Si*, становятся доэвтектическими, и в их структуре вместо первичных

хрупких кристаллов кремния имеются дендриты пластического α -твердого раствора (рис.8г). Переохлаждение приводит к формированию в структуре мелкозернистой эвтектики.

Модифицирование улучшает не только механические свойства силуминов ($\sigma_6 = 170 \dots 200 \text{ МПа}$, и $\delta = 3 \dots 5\%$), но и литейные. Модифицированные силумины хорошо свариваются и имеют высокую коррозионную стойкость.

Для повышения прочности двойные силумины легируют магнием, медью и подвергают термической обработке.

По назначению конструкционные литейные алюминиевые сплавы условно разбиваются на следующие группы:

- 1) сплавы, отличающиеся высокой герметичностью (АК12, АК8);
- 2) высокопрочные жаропрочные сплавы (АМ5, АК5М);
- 3) коррозионно-стойкие сплавы (АМг10; АЦ4Мг).

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Фрагмент диаграммы состояния $Al - Cu$ (до 10% Cu).
5. Схема микроструктуры образцов дуралюмина в закаленном, состаренном состояниях и после перегрева.
6. Диаграмма состояния $Al - Si$ — равновесная и после модифицирования (пунктиром).
7. Схема микроструктур четырех образцов силуминов: доэвтектического, эвтектического, заэвтектического и модифицированного.
8. Краткие выводы об особенностях структуры и свойствах исследованных сплавов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Алюминий деформируемый

Обозначение марок	Химический состав, %	
	Прочие примеси Каждая в отдельности	Сумма приме- сей
Алюминий высокой чистоты		
АД оч	0,001	0,020
АД ч	0,005	0,05
Алюминий технической чи- стоты		
АД 000	0,02	0,20
АД 00	0,02	0,30
АД 0	0,02	0,30
АД 1	0,05	0,70
АД	0,05	1,20

Таблица 2. Алюминий первичный

Обозначение марок	Химический состав, %	
	Алюминий, не менее	Примесей не более, сумма
Алюминий особой чистоты		
А 999	99,999	0,001
Алюминий высокой чистоты		
А 995	99,995	0,005
А 99	99,99	0,010
А 95	99,95	0,05
Алюминий технической чистоты		
А 85	99,85	0,15
А 8	99,80	0,20
А 7	99,7	0,30

Таблица 3.

Механические свойства алюминия различной чистоты в отожженном состоянии

Чистота %	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B , МПа	НВ, МПа	δ %
99,99	22	49	84-112	45,5
99,80	25	61	133	38,50
99,50	28	70	126-175	31,5

Таблица 4.

Обозначение марок		Химический состав, %			
Буквенное	Цифровое	Al	Cu	Mn	Mg
АМц	1400	основа	0,1	1,0-1,6	0,2
АМг 1	1510	основа	0,1	0,2	0,7-1,6
АМг 3	1530	основа	0,1	0,3-0,6	3,2-4,0
АМг 4	1540	основа	0,1	0,5-0,8	3,8-4,0
АМг 6	1560	основа	0,1	0,3-0,8	4,8-5,8

Таблица 5. Сплавы литейные на основе системы Al – Mg

Группа сплава	Марка сплава (старое обозначение)	Массовая доля, % основных компонентов				Примесей не более железа
		Mg	Zr	Be	Ti	
Сплавы на основе системы Al, Mg	АМг 6 (АЛ 23)	6,0-7,0	0,0 5-0,2	0,0 5-0,1 5	0,0 5-0,1 5	0,2
	Амг10 (АЛ27)	9,5-10,5	-	-	-	-
	АМг11 (Ал22)	10,5-13,0	Si-0,8 -1,2	-	-	0,4

Таблица 6.

Состав некоторых деформируемых термически упрочняемых сплавов

Обозначение марок		Химический состав, %							Название состава
Буквенное	Цифровое	Cu	Mg	Mn	Zn	Ni	Fe	Si	
Д1	1110	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,5	0,3	0,1	0,7	0,7	дуралюмин
Д16	1160	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	0,3	0,1	0,5	0,5	дуралюмин
АК8	1350	3,9-4,8	3,9-4,8	0,4-1,0	0,3	0,1	0,7	0,6-1,2	супердуралюмин
В95	1950	1,4-2,0	1,8-2,0	0,2-0,6	0,3	0,1	0,05	0,5	Высокопрочный сплав

Таблица 7.

Некоторые линейные алюминиевые сплавы

Группа сплава	Марка сплава	Старая марка сплава	Массовая доля, %						
			Mg	Si	Mn	Cu	Ti		
I	АК12	АЛ2	-	10-13	-	-	-		
	АК8	АЛ34	-	6,5-8,5	-	-	-		
II	АК5М	АЛ5	0,5	5,0	-	1,2			
	АК8М	АЛ32	0,4	8,0	0,4	1,2			
III	АМ5	АЛ19	-	-	0,8	5,0	0,3	Кадм. 0,2	
	АМ4.5 Kg	ВАЛ10	-	-	0,6	4,8	0,3		

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник, 3-е издание. М.: Машиностроение, 1990, 528 с.
2. Технология материалов: под ред. Б.В.Кнозорова: М.: Metallургия, 1979, 962 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра «Металлургия черных металлов»

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Практическая работа № __

Исполнитель
студент,
номер группы

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Руководитель
(должность,
ученая степень)

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Юрга 201__

Учебное издание

ВАЛУЕВ Денис Викторович

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Термическая обработка сталей и сплавов» для бакалав-
ров по направлению 22.03.02 «Металлургия»

Печатается в редакции автора-составителя

**Отпечатано в издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.11.2014г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ. л. 0,70. Уч-изд. л. 0,63.
Тираж 20 экз. Заказ . Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.
652000, Юрга, ул. Московская, 17.