

## **Лекция 13.**

**Алюминий и его сплавы, их характеристика. Деформируемые сплавы алюминия. Деформируемые и литейные сплавы алюминия. Порошковые сплавы.**

# Алюминий и алюминиевые сплавы

## Алюминий:

- температура плавления -  $660^{\circ}\text{C}$ ;
- плотность при  $20^{\circ}\text{C}$  -  $2,7 \text{ г/см}^3$
- кристаллическая решетка - **ранецентрированная кубическая**;

Механические свойства чистого алюминия:

$$\sigma_B = 40 \text{ МПа}; \delta = 50\%.$$

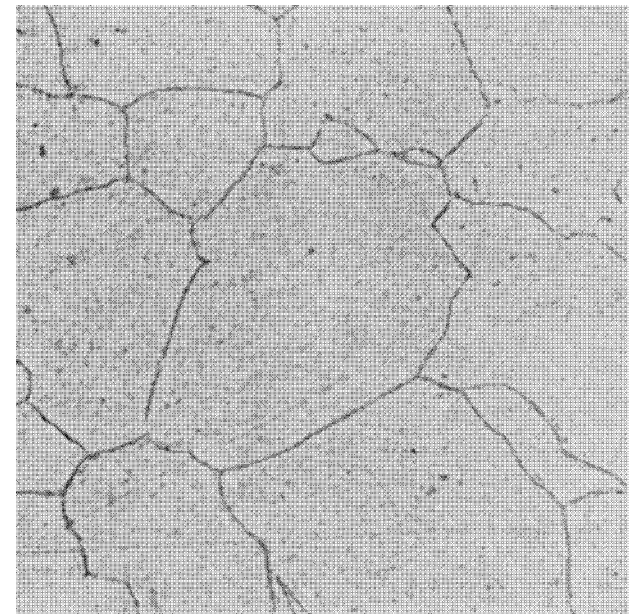
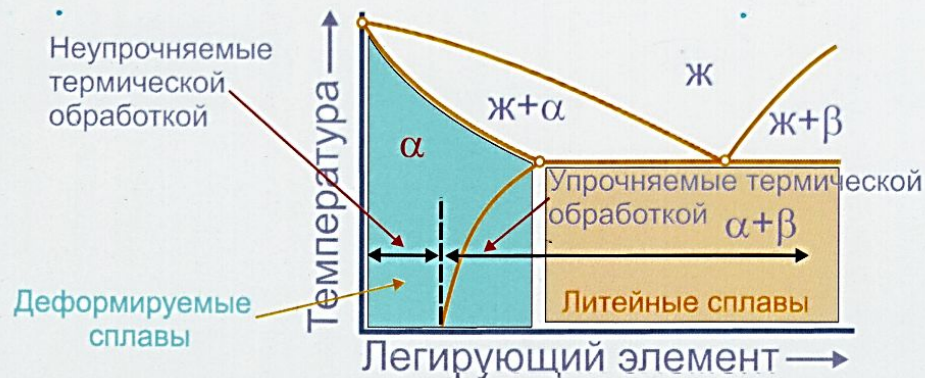
Маркировка первичного алюминия:

- *особой чистоты* **A999** (99,999%Al);
- *высокой чистоты* **A995** (99,995%Al), **A99** (99,99%Al), **A97** (99,97%Al), **A95** (99,95%Al);
- *технической чистоты* **A85** (99,85Al%), **A8** (99,8%Al), **A7** (99,7%Al), **A6** (99,6%Al), **A5** (99,5%Al) и **A0** (99,0%Al).

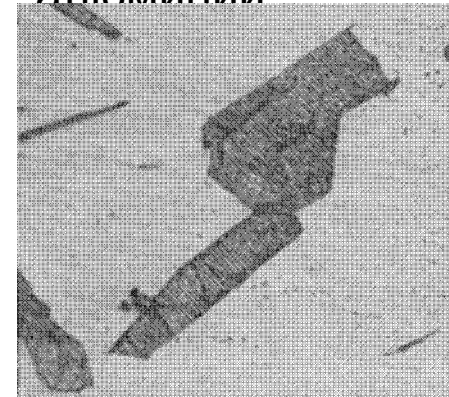
Маркировка деформируемого технического алюминия:

- AD00** (99,7%Al), **AD0** (99,5%Al), **AD1** (99,3%Al), **AD** (98,8%Al).

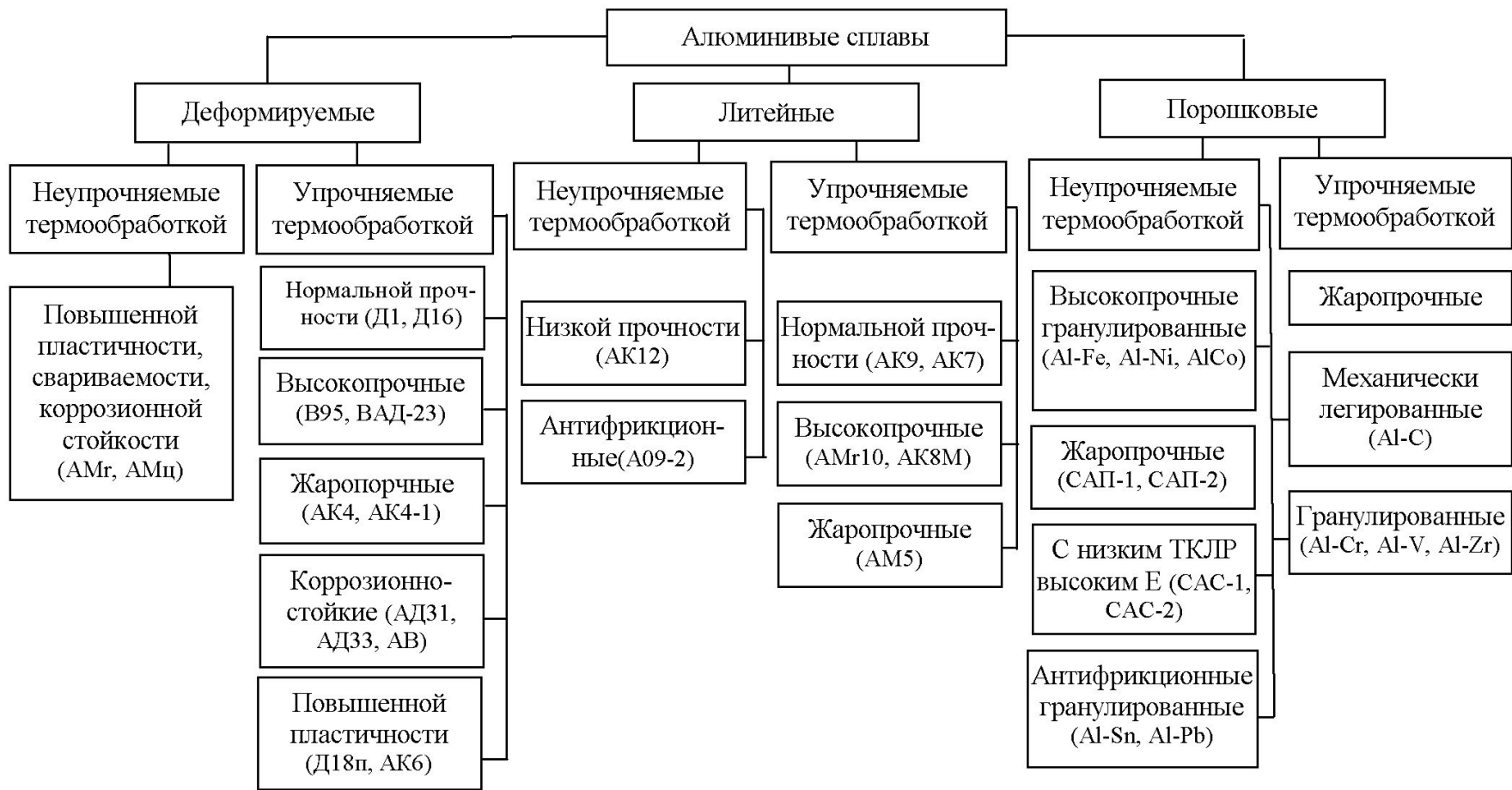
Алюминиевые сплавы подразделяются на **деформируемые** и **литейные**. Они могут быть **неупрочняемыми** и **упрочняемыми** термической обработкой.



Чистый алюминий



Сплав



# Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой

К этой группе относятся сплавы систем Al-Mn и Al-Mg

Диаграмма состояний системы Al-Mn

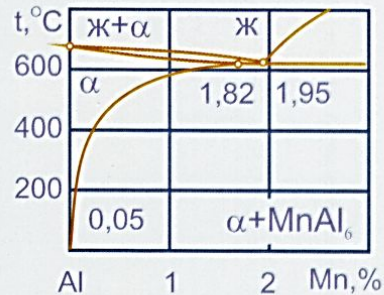
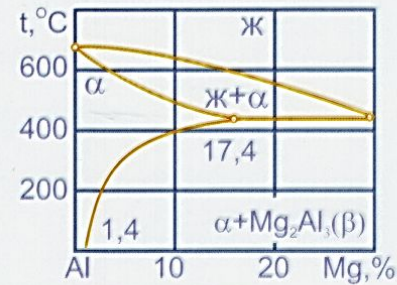
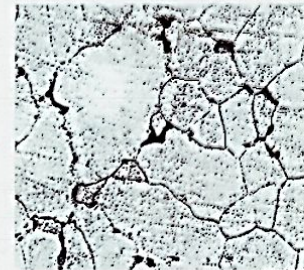


Диаграмма состояний системы Al-Mg



Структура сплава АМг



x200

Состав и механические свойства сплавов в отожженном состоянии

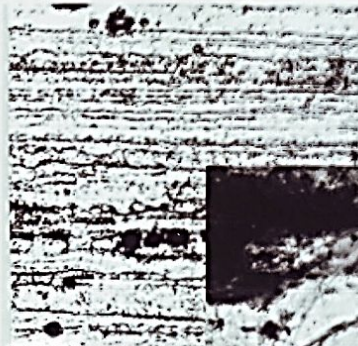
Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	Mg	Mn		
АМц	<0,2	1,0-1,6	130	23
АМг1	0,7-1,6	<0,2	110	28
АМг2	1,8-2,6	0,3-0,6	200	23
АМГ4	3,2-3,8	0,3-0,6	220	23
АМГ5	4,8-5,8	0,3-0,8	300	20
АМГ6	5,8-6,8	0,5-0,8	340	18

# Прессэффект при обработке деформируемых алюминиевых сплавов

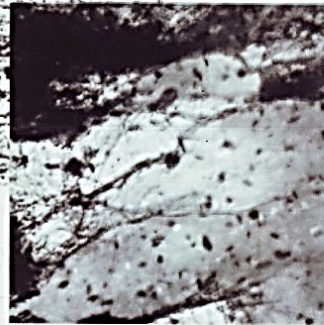
Под **прессэффектом** понимают дополнительное повышение прочности вследствие сохранения при термической обработке нерекристаллизованной структуры, созданной горячим прессованием.

Сплав **Al-Zn-Mg** (горячекатанный лист)

После горячей деформации

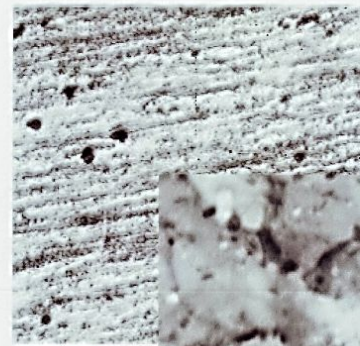


X500



X14500

После закалки от 470°C и старения



X500



X14500

Свойства сплава после закалки от 470°C и старения 120°C, 12ч

- **рекристаллизованная** структура;  $\sigma_{0,2} = 410$  МПа,  $\sigma_B = 495$  МПа,  $\delta = 15\%$
- **нерекристаллизованная** структура (**прессэффект**).  $\sigma_{0,2} = 450$  МПа,  $\sigma_B = 526$  МПа,  $\delta = 13\%$

Проявлению прессэффекта способствует легирование небольшими добавками **Mn, Cr, Zr, Ti**.

# Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

## 1. Сплавы системы *Al-Cu-Mg* (дуралюмины)

Основные фазы упрочнители :  $\theta(\text{CuAl}_2)$  и  $S(\text{CuMgAl}_2)$

Структура сплава Д16

Марка сплава	Содержание, %		
	Cu	Mg	Mn
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9



X300

## Свойства сплавов

Марка сплава	Вид полуфабриката	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
Д1	листы	Закалка от <b>500-505°C</b> + естественное старение	400	20
Д16	листы	Закалка от <b>495-505°C</b> + естественное старение	440	18
	листы	Закалка от <b>495-505°C</b> + старение 190°C, 12ч	440	16
	прессованный профиль	Закалка от <b>495-505°C</b> + естественное старение (прессэффект)	530	11

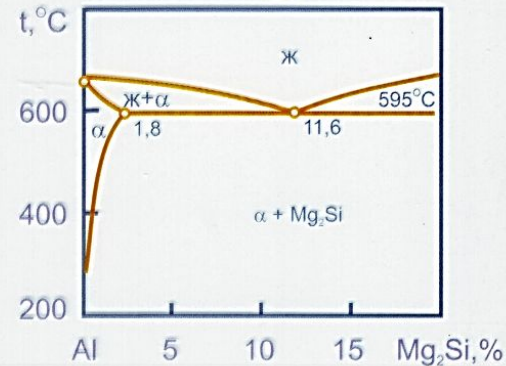
# Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

## 2. Сплавы системы **AL-Mg-Si** (авиали)

Основная фаза - упрочнитель -  $\beta$  ( $Mg_2Si$ )

Квазибинарный разрез  
Al-Mg<sub>2</sub>Si

Марка сплава	Содержание, %			
	Cu	Mg	Mn	Si
АД31	<0,1	0,4-0,9	<0,1	0,3-0,7
АВ	0,1-0,5	0,4-0,9	0,15-0,35	0,5-1,2



### Свойства сплавов

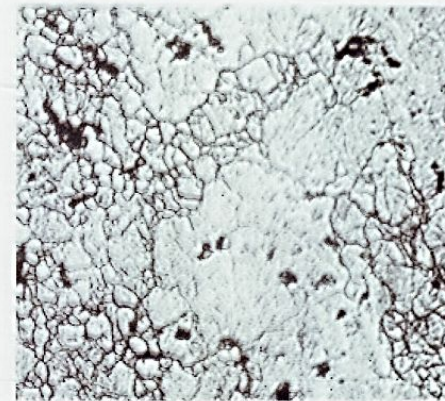
Марка сплава	Вид полуфабриката	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
АД31	прессованный профиль	Закалка от $510-530^\circ\text{C}$ + естественное старение	170	22
		Закалка от $510-530^\circ\text{C}$ + старение $160-170^\circ\text{C}$ , 12ч	240	12
АВ	лист	Закалка от $510-530^\circ\text{C}$ + старение $160-170^\circ\text{C}$ , 12ч	330	14
	прессованный профиль	Закалка от $510-530^\circ\text{C}$ + старение $160-170^\circ\text{C}$ , 12ч (прессэфект)	380	12

# Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

## 3. Сплавы системы **AL-Mg-Si-Cu** (ковочные)

Основные фазы - упрочнители:  $W$  ( $Cu_2Mg_8Si_6Al_5$ ),  $\theta$  ( $CuAl_2$ ),  $\beta$  ( $Mg_2Si$ )

Структура сплава АК6



x300

Марка сплава	Содержание, %			
	Cu	Mg	Mn	Si
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1,0	0,6-1,2

Свойства сплавов

Марка сплава	Вид полу-фабриката	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
<b>АК6</b>	поковки	Закалка от <b>505-525°C</b> + старение 160°C, 10-15ч	400	12
<b>АК8</b>	поковки	Закалка от <b>495-505°C</b> + старение 160°C, 10-15ч	480	9



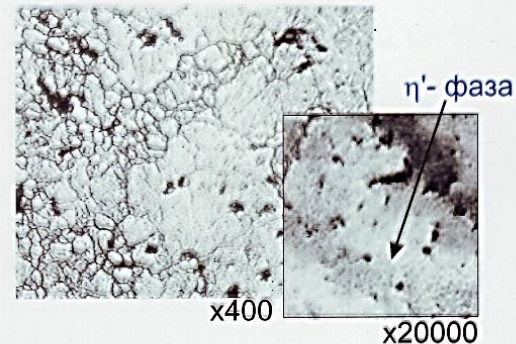
# Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

## 4. Сплавы системы **AL-Zn-Mg-Cu (высокопрочные)**

Основные фазы - упрочнители:  $\eta(\text{MgZn}_2)$ ,  $T(\text{Al}_2\text{Zn}_3\text{Mg}_3)$ ,  $S(\text{CuMgAl}_2)$ .

Структура горячедеформированного сплава В95 после закалки и старения

Марка сплава	Содержание, %			
	Cu	Mg	Mn	Zn
<b>В95</b>	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	5,0-7,0
<b>В96</b>	2,3	2,7		8,5



### Свойства сплавов

Марка сплава	Вид полуфабриката	Термическая обработка	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
<b>В95</b>	прессованный профиль	Закалка от <b>460-470°C</b> + старение 120-140°C, 15-25ч	600	8
	листы	Закалка от <b>460-470°C</b> + старение 100-120°C, 3-10ч +160-170°C, 8-10 ч	470	12
<b>В96</b>	штамповка	Закалка от <b>460-470°C</b> + старение 120-140°C, 15-25ч	670	7

# Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

## 5. Сплавы системы *Al-Mg-Li-Zr*

Основная фаза упрочнитель :  $\delta(\text{LiAl}_3)$

Марка сплава	Содержание, %			
	Mg	Li	Zr	Sc
01420	5-6	1,9-2,3	0,09-0,15	-
01421	5-6	1,9-2,3	0,09-0,15	0,14-0,21

Структура сплава 01420



x250

Свойства сплава

Марка сплава	Вид полу-фабриката	Термическая обработка	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
01420	листы	Закалка от 450°C + старение 120°C, 12-24ч	440	12
01421	листы	Закалка от 450°C + старение 120°C, 12-24ч	450	6

# Литейные алюминиевые сплавы

Для литья используют сплавы систем **Al-Si**, **Al-Cu**, **Al-Mg**.

*Маркировка литейных сплавов* при использовании первичного алюминия: буквы **АЛ** и цифры, указывающие **условный номер** сплава.

*Условные обозначения* разновидностей термической обработки:

**Режим T1** - искусственное старение без предварительного нагрева под закалку;

**Режим T2** - отжиг отливок;

**Режим T4** - закалка без последующего искусственного старения;

**Режим T5 и T6** - закалка и искусственное старение. (T6 - старение на максимальную прочность, T5 - неполное старение);

**Режим T7** - закалка и стабилизирующее старение (перестаривание).

# Литейные алюминиевые сплавы

## Химический состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %					Термо-обработка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	Si	Mg	Cu	Mn	Другие			
	<b>Система Al-Si</b>							
АЛ2	10-13	-	-	-	-		160	1,0
АЛ4	8-10,5	0,2-0,4	-	0,2-0,4	-	T6	230	3,0
АЛ9	6-8	0,2-0,4	-	-	-	T6	230	1,0
АЛ5	4,5-5,5	0,4-0,6	1,0-1,5	-	-	T5	226	0,5
	<b>Система Al-Cu</b>							
АЛ7	-	-	4,0-5,0	-	-	T6	250	5,0
АЛ19	-	-	4,5-5,3	0,6-1,0	Ti 0,15-0,35	T6	370	5,0
	<b>Система Al-Mg</b>							
АЛ23	-	6-7,0	-	-	Ti 0,05-0,15 Zr 0,05-0,2 Be 0,02-0,1		200	4,0
АЛ27	-	9,5-10,5	-	-	Ti 0,05-0,15 Zr 0,05-0,2 Be 0,05-0,1	T4	360	18,0
АЛ8	-	9,5-11,5	-	-		T4	315	11,0