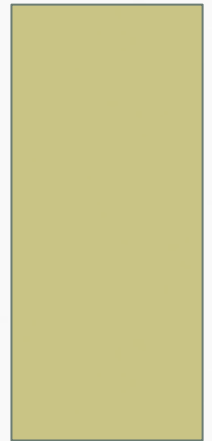


Тема 2.3. Цветные металлы и сплавы

АЛЮМИНИЕВЫЕ И МАГНИЙВЫЕ СПЛАВЫ

МАРКИРОВКА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМОСТЬ



Алюминий и алюминиевые сплавы

Алюминий:

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

Механические свойства чистого алюминия:

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

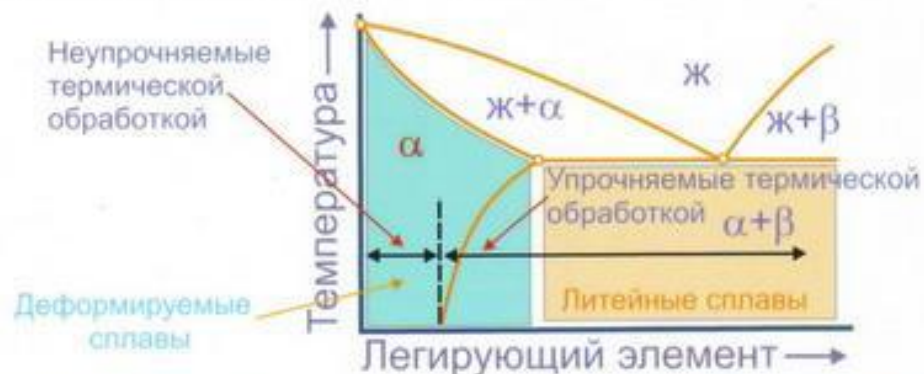
Маркировка первичного алюминия:

- *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.



Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой

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

Диаграмма состояний системы Al-Mn

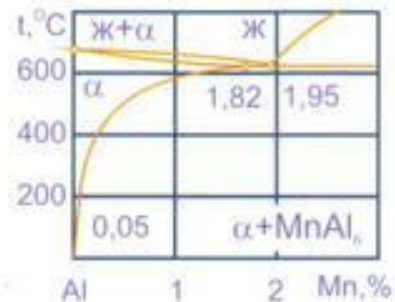
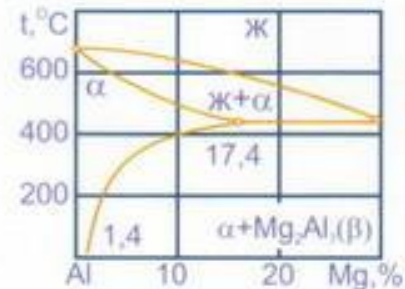


Диаграмма состояний системы Al-Mg



Структура сплава АМг



x200

Состав и механические свойства сплавов в отожженном состоянии

Марка сплава	Содержание, %		σ_B , МПа	δ , %
	Mg	Mn		
AMц	<0,2	1,0-1,6	130	23
AMr1	0,7-1,6	<0,2	110	28
AMr2	1,8-2,6	0,3-0,6	200	23
AMГ4	3,2-3,8	0,3-0,6	220	23
AMГ5	4,8-5,8	0,3-0,8	300	20
AMГ6	5,8-6,8	0,5-0,8	340	18

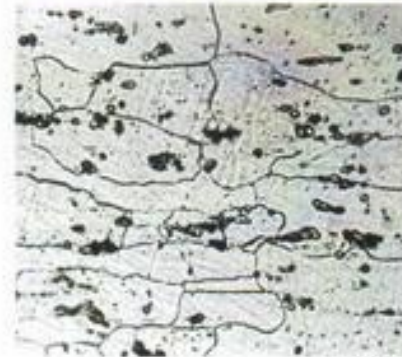
Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

I. 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 полу-фабриката	Термическая обработка	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
Д1	листы	Закалка от $500-505^{\circ}\text{C}$ + естественное старение	400	20
Д16	листы	Закалка от $495-505^{\circ}\text{C}$ + естественное старение	440	18
	листы	Закалка от $495-505^{\circ}\text{C}$ + старение 190°C , 12ч	440	16
	прессованный профиль	Закалка от $495-505^{\circ}\text{C}$ + естественное старение (прессэффект)	530	11

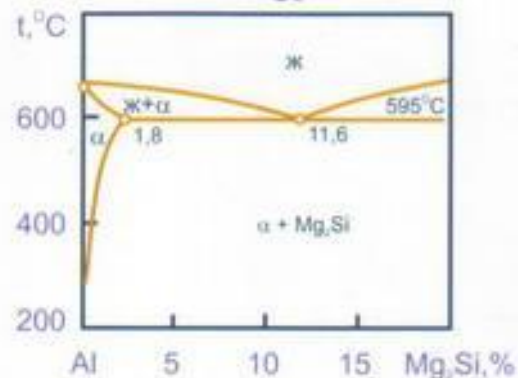
Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

2. Сплавы системы *AL-Mg-Si* (авиали)

Основная фаза - упрочнитель - β (Mg_2Si)

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

Квазибинарный разрез $Al-Mg_2Si$



Свойства сплавов

Марка сплава	Вид полу-фабриката	Термическая обработка	σ_{B1} , МПа	δ , %
АД31	прессованный профиль	Закалка от 510-530°C + естественное старение	170	22
		Закалка от 510-530°C + старение 160-170°C, 12ч	240	12
АВ	лист	Закалка от 510-530°C + старение 160-170°C, 12ч	330	14
	прессованный профиль	Закалка от 510-530°C + старение 160-170°C, 12ч (прессэфект)	380	12

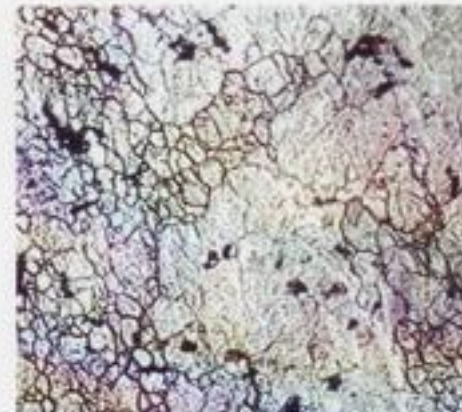
Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

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

Основные фазы - упрочнители: W ($Cu_2Mg_8Si_6Al_5$), θ ($CuAl_2$), β (Mg_2Si)

Марка сплава	Содержание, %			
	Cu	Mg	Mn	Si
AK6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2
AK8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1,0	0,6-1,2

Структура сплава АК6



x300

Свойства сплавов

Марка сплава	Вид полу-фабриката	Термическая обработка	$\sigma_{в1}$, МПа	δ , %
AK6	поковки	Закалка от $505-525^{\circ}C$ + старение $160^{\circ}C$, 10-15ч	400	12
AK8	поковки	Закалка от $495-505^{\circ}C$ + старение $160^{\circ}C$, 10-15ч	480	9

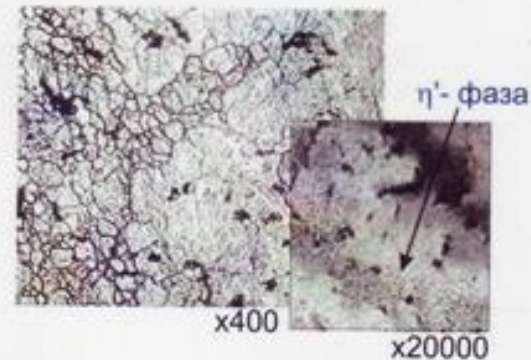
Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

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

Основные фазы - упрочнители: η (MgZn₂), T(Al₂Zn₃Mg₃), S(CuMgAl₂).

Структура горячедеформированного сплава В95 после закалки и старения

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



Свойства сплавов

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

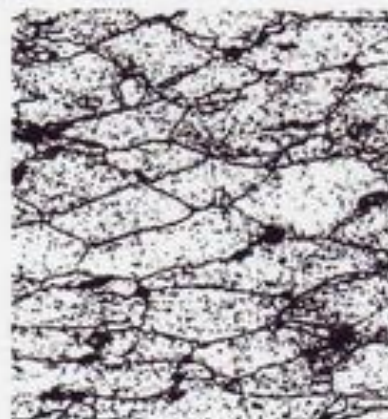
Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

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 полуфабриката	Термическая обработка	$\sigma_{в1}$, МПа	δ , %
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

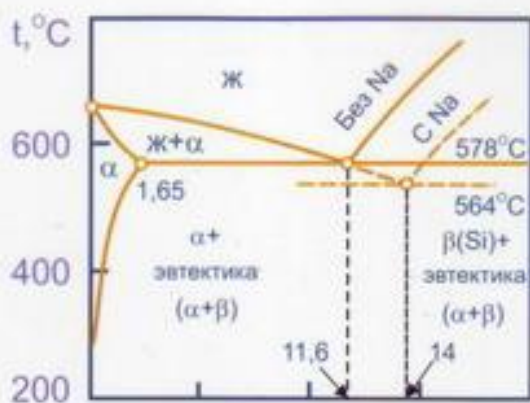
Химический состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %					Термо-обр-ка	σ_B , МПа	δ , %
	Si	Mg	Cu	Mn	Другие			
	Система Al-Si							
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
	Система Al-Cu							
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
	Система Al-Mg							
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

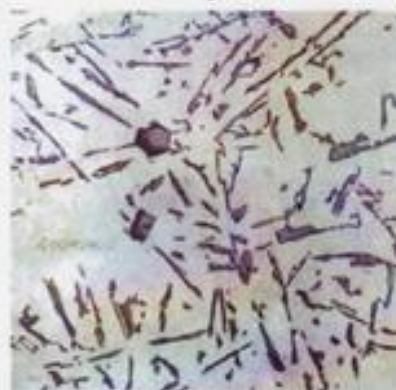
Литейные алюминиевые сплавы

Сплавы системы Al-Si (силумины)

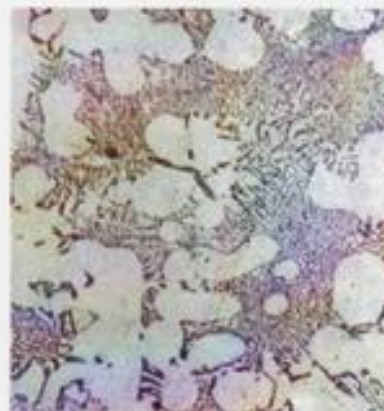
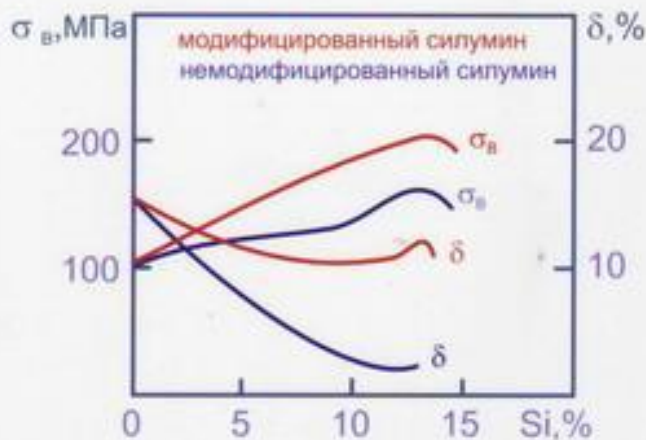
Диаграмма состояний Al-Si и влияние кремния на структуру и механические свойства сплавов



немодифицированный силумин



модифицированный силумин



x200

Магний и магниевые сплавы

Магний:

- температура плавления - 650°C ;
- плотность при 20°C - $1,740 \text{ г/см}^3$;
- кристаллическая решетка - гексагональная плотноупакованная.

Механические свойства магния:

литого - $\sigma_{\text{в}} = 80 - 110 \text{ МПа}$, $\delta = 6 - 8\%$;

деформированного - $\sigma_{\text{в}} = 180 - 200 \text{ МПа}$, $\delta = 15 - 17\%$.

Маркировка первичного магния:

Mr99 (99,96 % Mg), **Mr95** (99,95 % Mg),

Mr90 (99,90% Mg).

Основное достоинство магниевых сплавов - **высокая удельная прочность.**

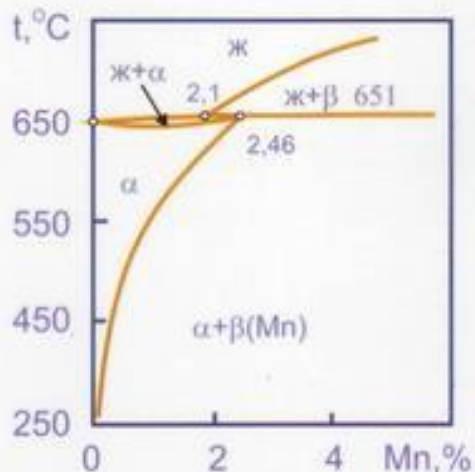
Основные легирующие элементы сплавов - **Al, Zn, Mn.**

Магниевые сплавы подразделяются на **деформируемые** и **литейные**. Деформируемые сплавы маркируются буквами **МА**, а литейные - **МЛ**, далее идут условные номера сплавов.

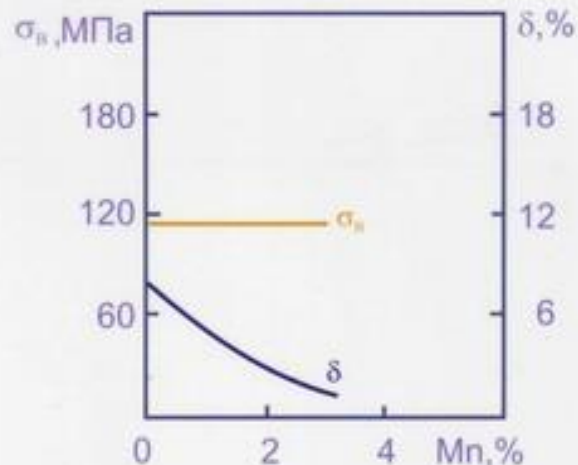
Деформируемые магниевые сплавы

1. Сплавы системы Mg-Mn

Диаграмма состояний системы Mg-Mn



Влияние Mn на механические свойства



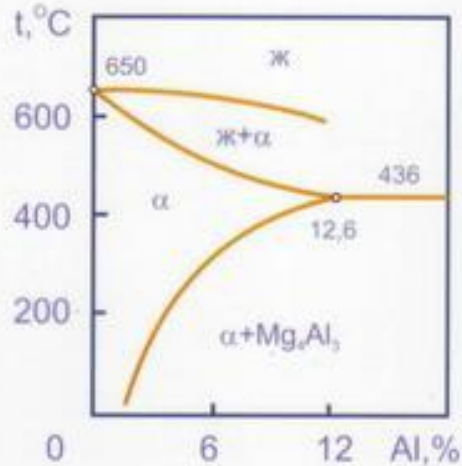
Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				σ_b, MPa	$\delta, \%$
	Al	Mn	Zn	другие		
MA1	-	1,3-2,5	-	-	-	-
MA8	-	1,3-2,2	-	Ce 0,15- 0,35	250	16

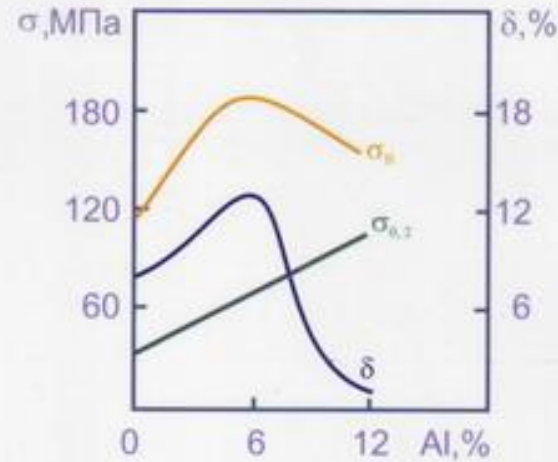
Деформируемые магниевые сплавы

2. Сплавы системы Mg-Al-Zn

Диаграмма состояний системы Mg-Al



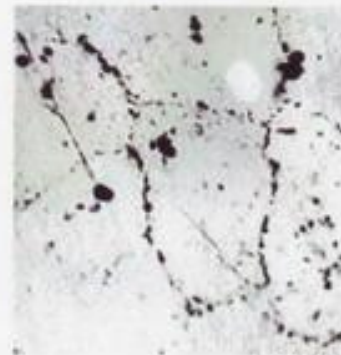
Влияние Al на механические свойства



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %			$\sigma_B, \text{МПа}$	$\delta, \%$
	Al	Mn	Zn		
MA2-1	3,8-5,0	0,3-0,7	0,8-1,5	280	12
MA5	7,8-9,2	0,15-0,5	0,2-0,8	310	8

Структура сплава MA5

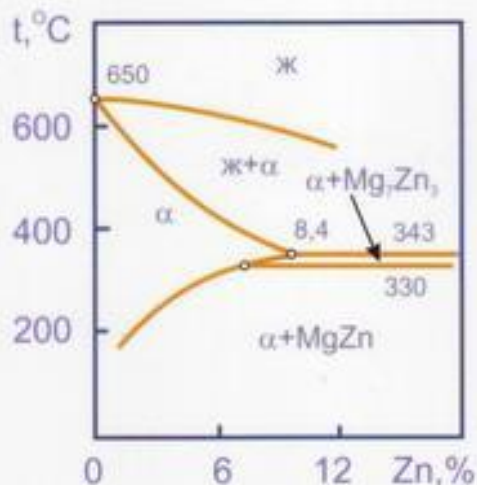


x300

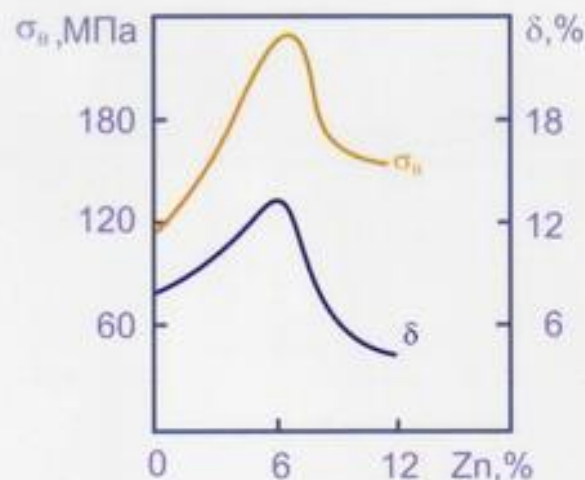
Деформируемые магниевые сплавы

3. Сплавы системы Mg-Zn-Zr

Диаграмма состояний системы Mg-Zn



Влияние Zn на механические свойства



Состав и свойства сплавов

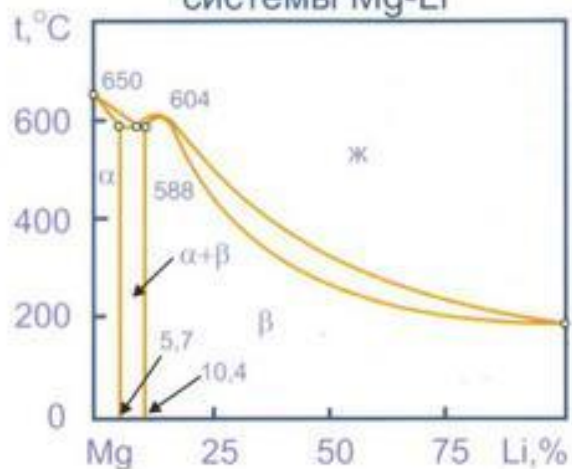
Марка сплава	Содержание, %					σ _в , МПа	δ, %
	Al	Mn	Zn	другие	Термическая обработка		
МА14	-	-	5,0-6,0	Zr 0,3-0,9	старение	340	10
МА19	-	-	5,5-7,0	Zr 0,5-1,0 Cd 0,2-1,0 Nd 1,4-2,0		380	5

Деформируемые магниевые сплавы

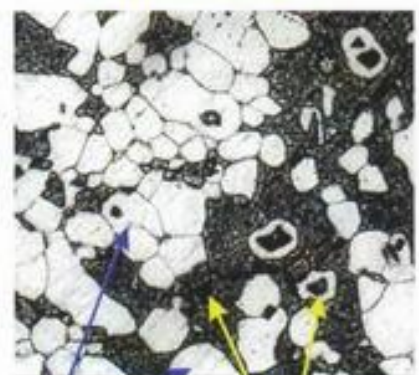
4. Сплавы системы Mg-Li

Легирование литием позволяет получить сверхлегкие сплавы с плотностью 1,5 - 1,6 г/см³

Диаграмма состояний системы Mg-Li



Структура двухфазного сплава MA21



α -фаза β -фаза

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
	Al	Mn	Zn	другие			
MA18	0,5-1,0	0,1 - 0,4	2,0 - 2,5	Ce 0,15-0,25 Li 10 - 11,5 Y 7,8 - 9,0	отжиг 150 - 175 $^\circ\text{C}$, 6-16ч	190	18
MA21	4,0-6,0	0,15 - 0,5	0,8 - 2,0	Li 7,0-10,0 Cd 3,0-5,0	отжиг 150 - 175 $^\circ\text{C}$, 6-16ч	240	16

Литейные магниевые сплавы

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %					$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Al	Mn	Zn	другие	Термическая обработка		
	Система Mg - Al - Zn						
МЛ5	7,5-9	0,15-0,5	0,2-0,8	-	T4	230	5
МЛ6	9-10,2	0,1-0,5	0,6-1,2	-	-	150	1
	Система Mg - Zn - Zr						
МЛ12	-	-	4,0-5,0	Zr 0,6-1,1	T1	230	5
МЛ15	-	-	4,0-5,0	Zr 0,7-1,1 La 0,6-1,2	T1	210	3
	Система Mg - PЗМ - Zr						
МЛ10	-	-	0,1-0,7	Zr 0,4-1,0 Nd 2,2-2,8	T6	250	5
МЛ19	-	-	0,1-0,6	Zr 0,4-1,0 Nd 1,6-2,3 Y 1,4-2,2	T6	250	5

Условные обозначения режимов термической обработки:

T1 - искусственное старение без предварительной закалки;

T2 - отжиг;

T4 - закалка;

T6 - закалка на воздухе и старение;

T61 - закалка в горячей воде и старение

Структура сплава МЛ5



X300