

---

# ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Сплавы на основе железа - сталь, чугун - даже самые прочные имеют все же высокую плотность, и тем самым очень тяжелы для изготовления ряда изделий. Например, в самолетостроении необходимы прочные и легкие материалы. Легкими принято считать металлы и сплавы, плотность которых меньше половины плотности железа - это около  $3.5 \text{ г/см}^3$ . К ним относятся алюминий Al ( $2.7 \text{ г/см}^3$ ), магний Mg ( $1.74 \text{ г/см}^3$ ), бериллий Be ( $1.82 \text{ г/см}^3$ ). Наибольшее распространение получили материалы на основе алюминия

---

# АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ



## Алюминий и его сплавы

---

- Алюминий - металл серебристо-белого цвета с матовым оттенком - имеет гранецентрированную кубическую решетку с параметром 0.404 нм. Температура плавления 660°C, кипения - 2060°C. Алюминий не имеет полиморфных превращений.
- Алюминий высокой чистоты имеет низкие механические свойства:  $\sigma_B = 50 - 60$  МПа;  $\sigma_{0.2} = 15 - 20$  МПа; твердость - 25НВ;  $\delta = 40\%$ ;  $\phi = 85\%$ .

# Марки алюминия

---

- Согласно ГОСТа 11069-74 существует алюминий **особой чистоты** (марка А999, который имеет 0.001% примесей), **высокой чистоты** (марки А995; А99; А97; А95, где 0.005% и более примесей) и **технической чистоты** (марки А85; А8; А7; А6; А0 - (0,15–1% примесей)). Токоведущие детали изготавливают из алюминия технической чистоты марок А85, А8, А7, А6.

# Классификация по технологическим свойствам

---

- Алюминиевые сплавы подразделяются в основном на деформируемые и литейные.
- Деформируемые сплавы легко поддаются обработке давлением и предназначены для прокатки,ковки, прессования.
- Литейные сплавы имеют хорошую жидкотекучесть, хорошо заполняют литейные формы, их используют для фасонного литья.
- Деформируемые сплавы - в зависимости от химического состава, делятся на сплавы с **естественной твердостью**, т. е. не поддающиеся упрочнению при термической обработке, и **термически упрочняемые сплавы**.

# Деформируемые сплавы

---

- Первая группа сплавов содержит мало легирующих элементов (Mg, Mn) и применяется вместо чистого алюминия в тех случаях, когда его прочность недостаточна. Легируют обычно магнием в количестве 0.5 - 5%, а марганцем - до 1.2%. прочность материалов увеличивают холодной деформацией (наклепом).

---

Вторая группа, деформируемых алюминиевых сплавов, большая - упрочняемые термической обработкой. Имеется очень много сплавов, которые упрочняются закалкой с последующим старением. Это обычно многокомпонентные сплавы, которые вводятся с целью повышения: прочностных свойств - Cu, Mg, Zn; жаропрочности - Fe, антикоррозионных свойств - Mg, Mn.

# Маркировка алюминиевых сплавов

---

- Алюминиевые сплавы маркируются следующим образом. Сначала указывается тип сплава:
- Д – дуралюмин; А – технический алюминий; АК – алюминиевый ковочный сплав; АЛ – алюминиевый литейный сплав; В – высокопрочный сплав.
- Далее указывается условный номер сплава и обозначение, характеризующее состояние сплава:
- Т – термически обработанный (закалка плюс старение); М – мягкий (отожженный); Н – наклепанный.

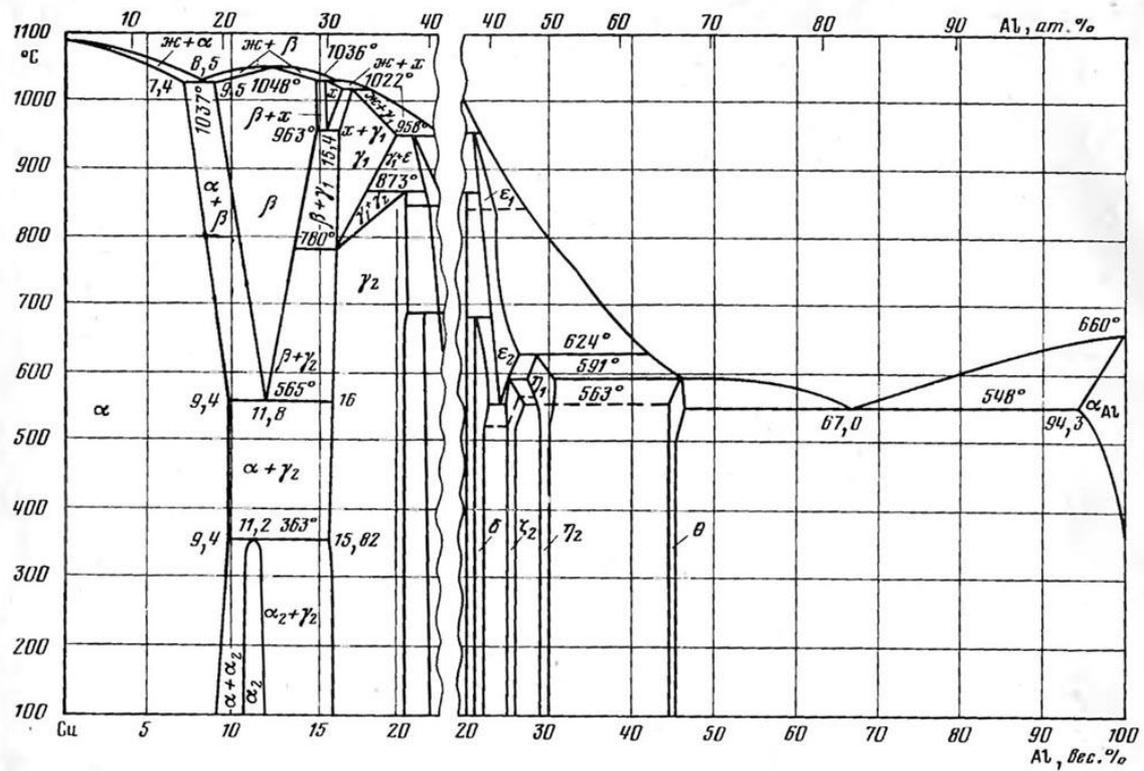
# Химический состав и механические свойства некоторых деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Основные элементы (% по массе) <sup>1</sup>					Типичны е механич. свойства <sup>3</sup>		
	Cu	Mg	Zn	Si	Mn	предел прочности $s_b$ , Мн/м <sup>2</sup>	предел текучести $s_{0,2}$ , мн/м <sup>2</sup>	относит. удлинение $d$ , %
АМг1	< 0,01	0,5-0,8		< 0,05		120	50	27,0
АМг6	< 0,1	5,8-6,8	< 0,2	< 0,4	0,5-0,8	340	170	20,0
АК6	1,8—2,6	0,4-0,8	< 0,3	0,7-1,2	0,4-0,8	390	300	10,0
АК8	3,9—4,8	0,4-0,8	< 0,3	0,6-1,2	0,4—1,0	470	380	10,0
Д1	3,8—4,8	0,4-0,8	< 0,3	< 0,7	0,4-0,8	380	220	12,0
Д16	3,8—4,9	1,2-1,8	< 0,3	< 0,5	0,3-0,9	440	220	19,0
Д19	3,8—4,3	1,7-2,3	< 0,1	< 0,5	0,5-1,0	460	340	12,0
В65	3,9—4,5	0,15-0,3	< 0,1	< 0,25	0,3-0,5	400	--	20,0
В92	< 0,05	3,9-4,6	2,9-3,6	< 0,2	0,6-1,0	450	320	13,0
В93	0,8—1,2	1,6-2,2	6,5-7,3	< 0,2	< 0,1	480	440	2,5
В95	1,4—2,0	1,8-2,8	5,0-7,0	< 0,5	0,2-0,6	560	530	7,0
В96	2,2—2,8	2,5-3,5	7,6-8,6	< 0,3	0,2-0,5	670	630	7,0

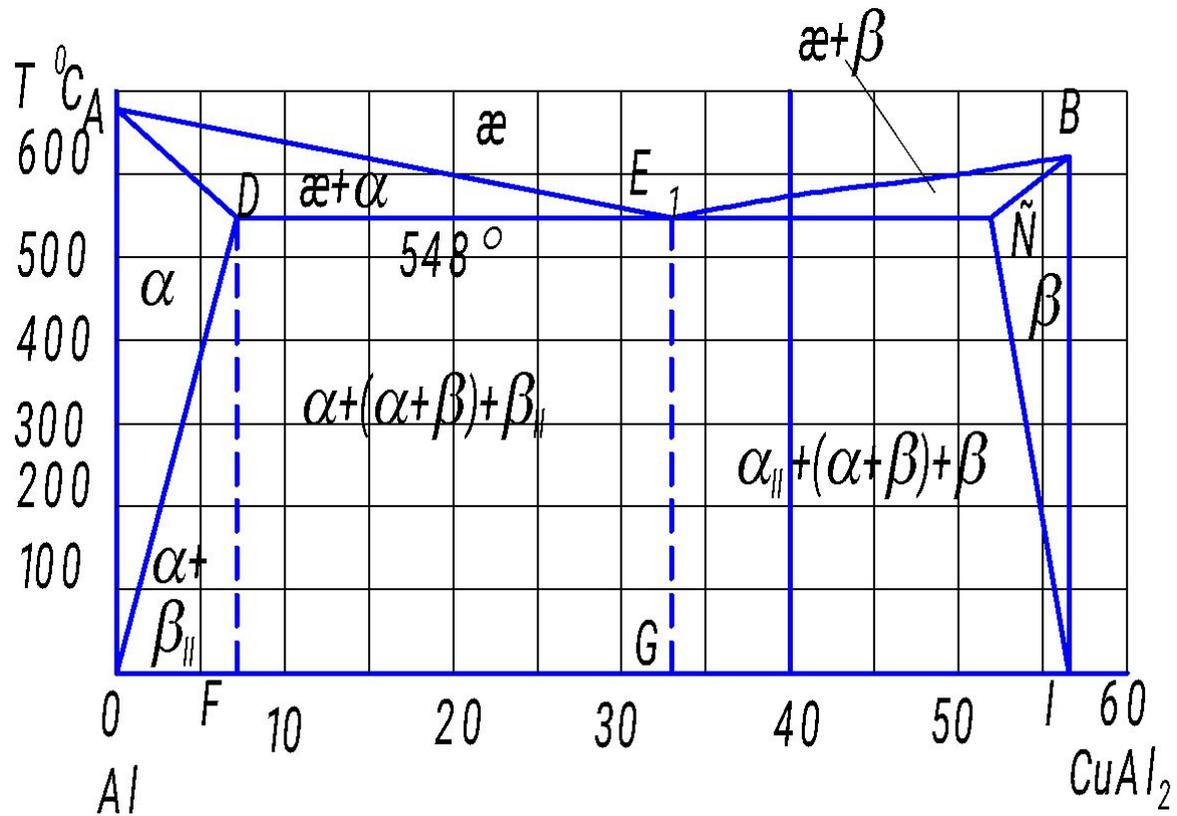
# Химический состав и механические свойства некоторых литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Элементы (% по массе)				Типичные механические свойства		
	Cu	Mg	Mn	Si	предел прочности $s_b$ , Мн/м <sup>2</sup>	предел текучести $s_{0,2}$ , мн/м <sup>2</sup>	относит. удлинение d, %
АЛ8		9,5-11,5	0,1	0,3	320	170	11,0
АЛ2	0,8	—	0,5	10-13	200	110	3,0
АЛ9	0,2	0,2-0,4	0,5	6-8	230	130	7,0
АЛ4	0,3	0,17-0,3	0,25-0,5	8-10,5	260	200	4,0
АЛ5	1,0-1,5	0,35-0,6	0,5	4,5-5,5	240	180	1,0
АЛ3	1,5-3,5	0,2-0,8	0,2-0,8	4,0-6,0	230	170	1,0
АЛ25	1,5-3,0	0,8-1,2	0,3-0,6	11-13	200	180	0,5
АЛ30	0,8-1,5	0,8-1,3	0,2	11-13	200	180	0,7
АЛ7	4-5	0,03	—	1,2	230	150	5,0
АЛ1	3,75-4,5	1,25-1,75	—	0,7	260	220	0,5
АЛ19	4,5-5,3	20,05	0,6-1,0	0,3	370	260	5,0
АЛ24	0,2	1,5-2,0	0,2-0,5	0,3	290	—	3,0

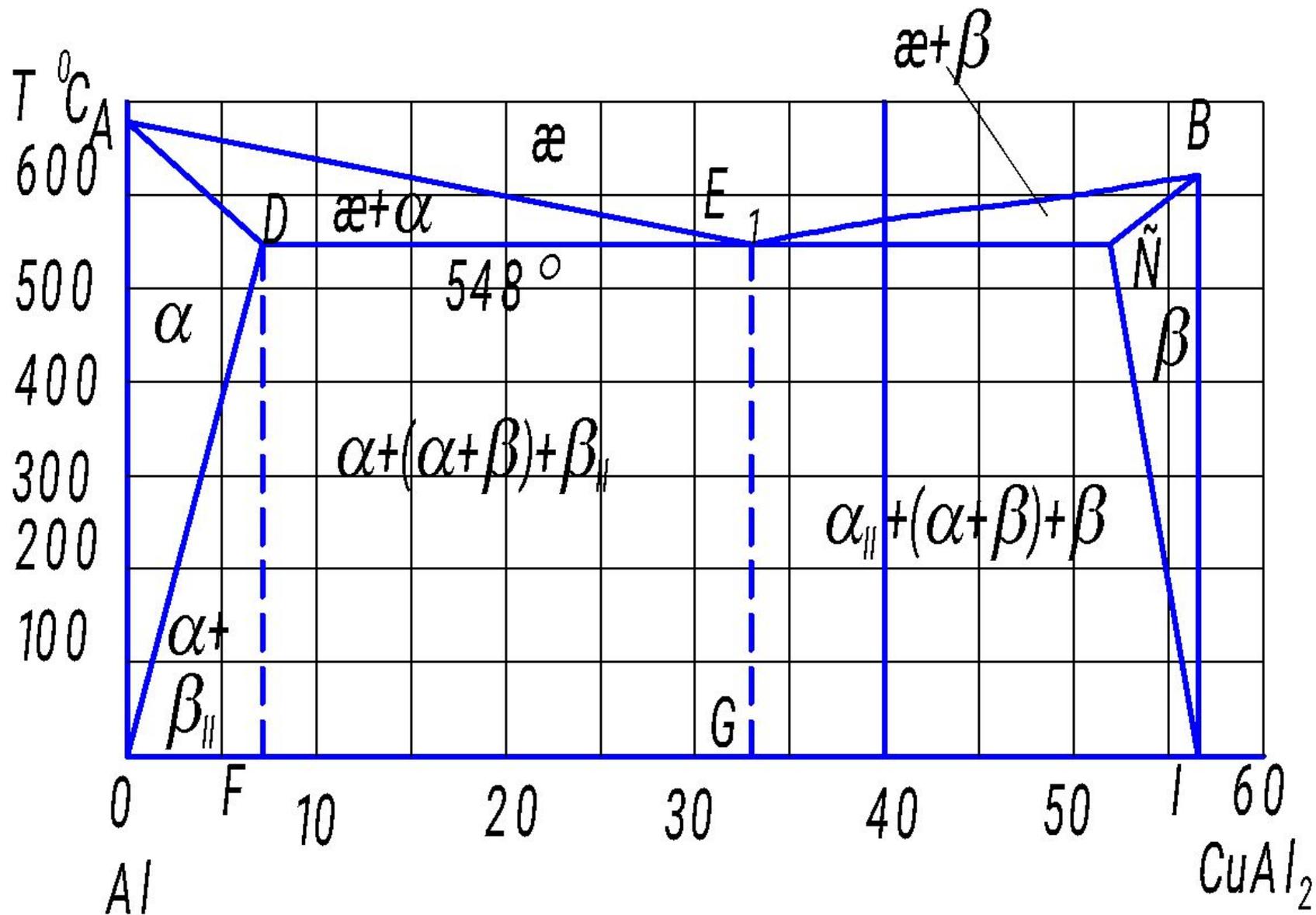
# Диаграмма состояния Cu - Al



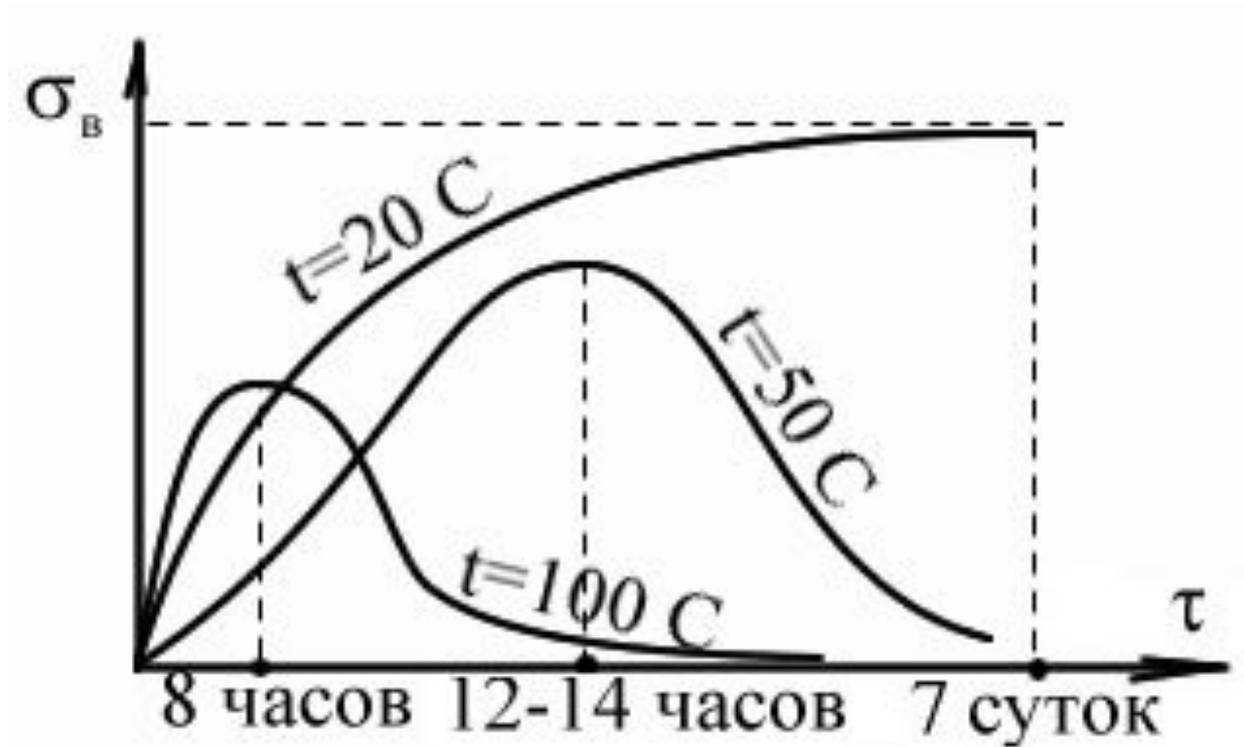
# Термическая обработка



# Термическая обработка

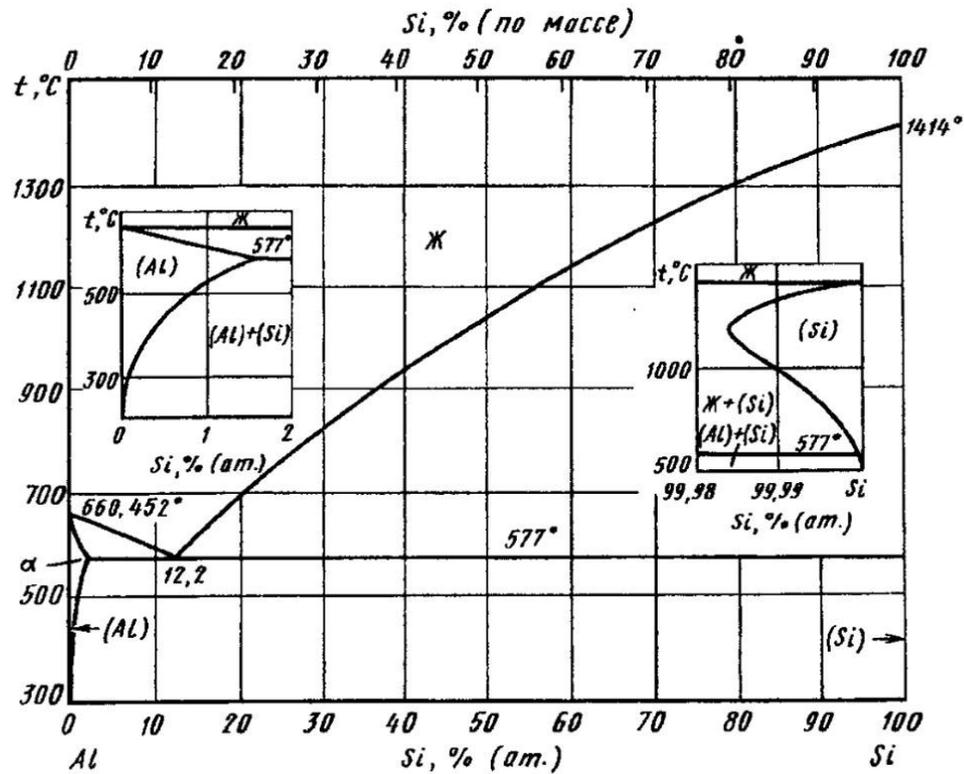


# Свойства сплава после старения



# Литейные алюминиевые сплавы

## СИЛУМИН



## Свойства силумина

---

- Механические свойства обычного силумина низки -  $\sigma_{\text{в}} = 100 - 120 \text{ МПа}$  и  $\delta = 3-5\%$ . Улучшения структуры, а также повышения механических свойств добиваются модифицированием, что позволяет получить  $\sigma_{\text{в}} = 240 - 260 \text{ МПа}$  при  $\delta = 18 - 20 \%$ .
- Для повышения механических и эксплуатационных свойств силумин иногда легируют Mg, Cu, Mn, Ni - при этом не подвергают закалке и последующему искусственному старению

# Спеченные алюминиевые сплавы (САС)

---

- Спеченные алюминиевые сплавы получают методом порошковой металлургии. Частицы имеют диаметр от нескольких микрон до миллиметров и характеризуются малой ликвацией. Высокая скорость охлаждения частиц ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ) достигаемая, например, распылением жидкого металла струей нейтрального газа, позволяет получать аномально пересыщенные твердые растворы: предельная растворимость легирующих элементов увеличивается в 2,5–5 раз.

## Спеченные алюминиевые сплавы (САС)

---

- Особый интерес представляют САС с элементами, которые практически нерастворимы в алюминии при обычных условиях. Сплавы представляют собой алюминиевую матрицу с равномерно распределенными дисперсными включениями второй фазы. В процессе технологической операции горячего прессования (400–450 °С) из пересыщенного твердого раствора выпадают дисперсные частицы интерметаллидных фаз, которые и увеличивают прочность при нормальных и повышенных температурах. Прочность материалов при повышенном содержании переходных металлов достигает 800 МПа, предел текучести – 330 МПа.

# Спеченная алюминиевая пудра (САП)

- Спеченная алюминиевая пудра (САП) упрочняется дисперсными частицами окиси алюминия, нерастворимой в алюминии. При размоле пудры в шаровых мельницах на ее частицах образуется тончайшая пленка окислов алюминия. Различают САП по содержанию  $Al_2O_3$ . Марки САП, применяемые в России, содержат 6–23 %  $Al_2O_3$ . Различают САП-1 с содержанием 6–9, САП-2 — с 9–13, САП-3 — с 13–18 %  $Al_2O_3$ . С увеличением объемной концентрации оксида алюминия возрастает прочность композиционных материалов. При комнатной температуре характеристики прочности САП-1 -  $\sigma_B = 280$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 220$  МПа; САП-3 -  $\sigma_B = 420$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 340$  МПа.

# Спеченная алюминиевая пудра (САП)

---

- Материалы типа САП обладают высокой жаропрочностью и превосходят все деформируемые алюминиевые сплавы. Даже при температуре 500 °С их  $\sigma_{\text{в}}$  не менее 60–110 МПа. Жаропрочность объясняется тормозящим действием дисперсных частиц на процесс рекристаллизации. Характеристики прочности сплавов типа САП весьма стабильны. Испытания длительной прочности сплавов типа САП-3 в течение 2 лет практически не повлияли на уровень свойств как при комнатной температуре, так и при нагреве до 500 °С. При 400 °С прочность САП в 5 раз выше прочности стареющих алюминиевых сплавов.

# Влияние температуры испытаний на механические свойства сплавов САП

---

<b><math>T_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}</math></b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>
<b><math>\sigma_{0,2}, \text{МПа}</math></b>	<b>265</b>	<b>235</b>	<b>190</b>	<b>155</b>	<b>120</b>	<b>105</b>
<b><math>\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}</math></b>	<b>380</b>	<b>315</b>	<b>235</b>	<b>175</b>	<b>130</b>	<b>105</b>
<b><math>\delta, \%</math></b>	<b>7,0</b>	<b>6,5</b>	<b>5,0</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>

---

# МЕДЬ И ЕЁ СПЛАВЫ

## Медь и ее сплавы

---

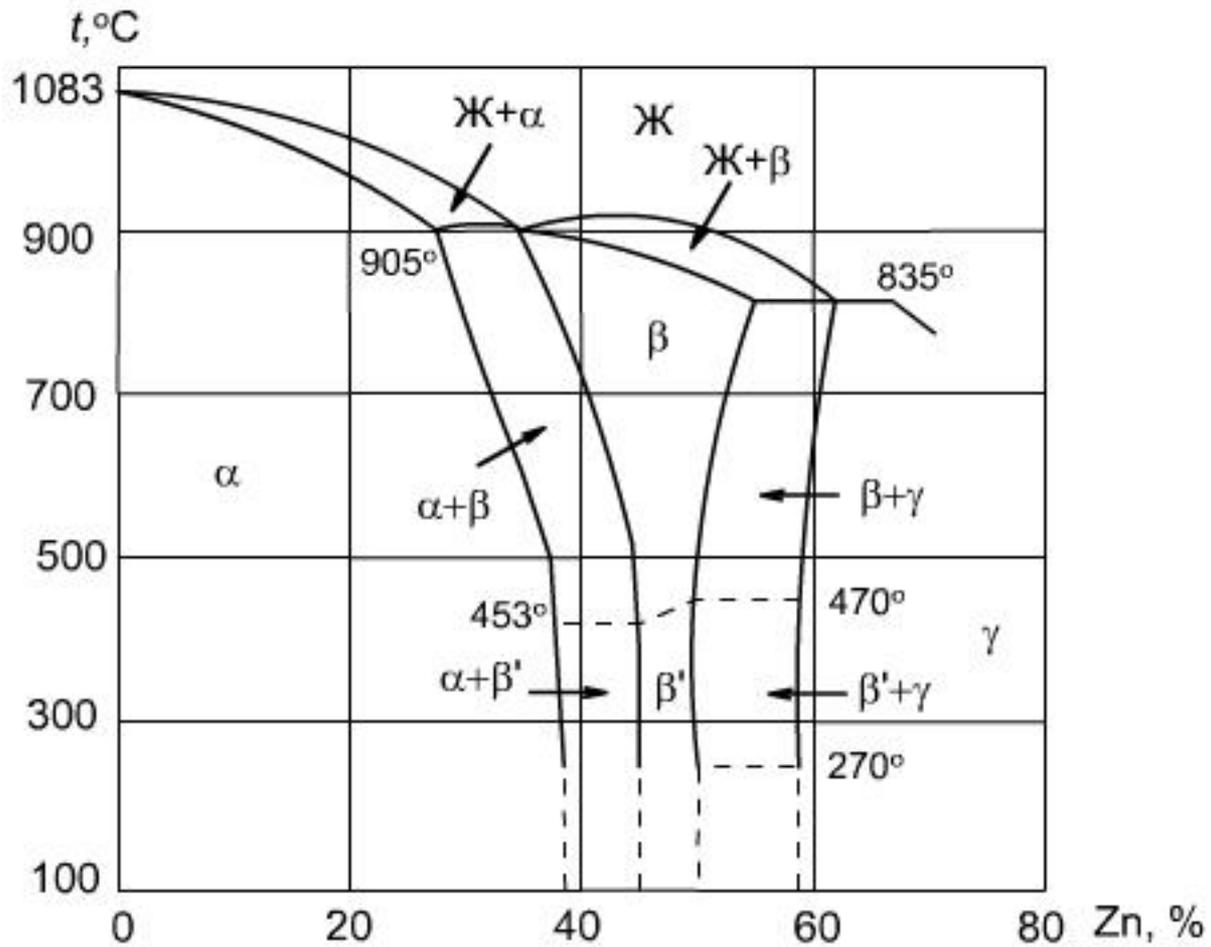
- Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку с параметром 3.61 А. Полиморфных превращений нет, температура плавления - 1083° С. Медь - металл очень технологичен - хорошо сваривается, паяется, легко обрабатывается давлением. В отожженном состоянии медь имеет  $\sigma_B = 200 - 250 \text{ МПа}$  и  $\delta = 40 - 50\%$ . Медь имеет высокую теплопроводность и электропроводность, примеси уменьшают эти свойства

## Маркировка меди

---

□ В зависимости от количества примесей различают следующие марки меди: М00 (99.99% Cu), М0 (99.97% Cu), М2 (99.7% Cu) и т.д. по ГОСТ 859-78

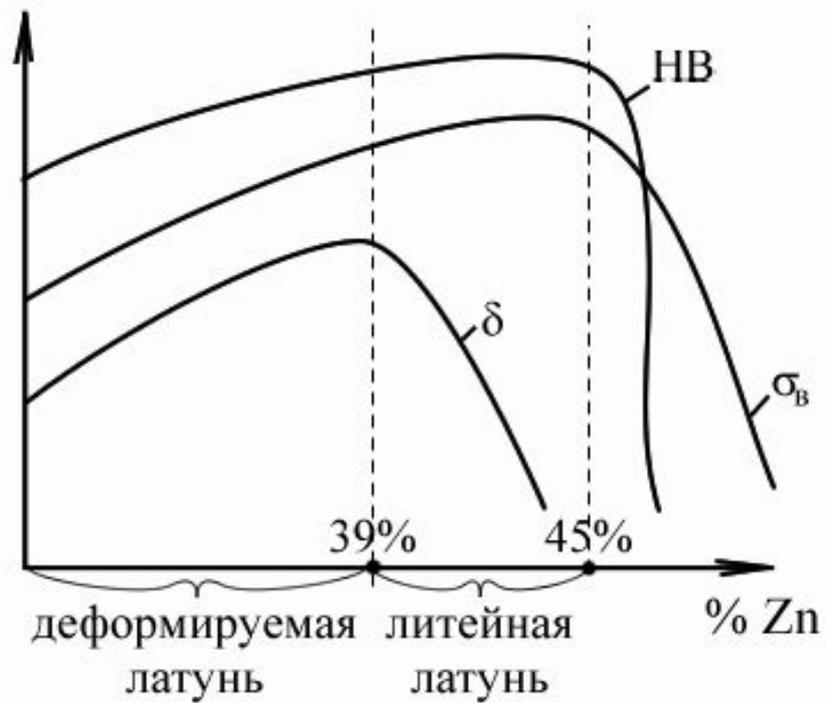
# Латуни



## Маркировка латуни

- Маркируются двойные латуни буквой Л - латунь, а затем цифра, показывающая содержание меди в %. В специальных латунях после буквы Л следуют буквы русского алфавита, обозначающие легирующий элемент: А - Al, Н - Ni, К - Si, С - Pb, О - Sn, Ж - Fe, Мц - Mn, Ф - P, Б - Be. После букв ставятся цифры, показывающие среднее содержание меди и легирующих элементов в %:
- Л96 - 96%Cu + 4%Zn; Л68 - 68% Cu + 32% Zn; ЛО70-1 - 70% Cu + 1% Sn+29% Zn; ЛК80-3 - 80%Cu+3%Si+ 17% Zn; ЛН65-5 - 65%Cu+5%Ni+30%Zn.

# Свойства латуни



# Бронзы

---

- Бронзы - это сплавы меди со всеми другими элементами, кроме цинка, и называют их с прилагательным, указывающим на второй компонент. В зависимости от легирования механические свойства бронзы сильно изменяются - от 200 до 750МПа. Бронзы подразделяются на: алюминидные, оловянистые, кремнистые, берилловые и т.д.

# Маркировка бронз

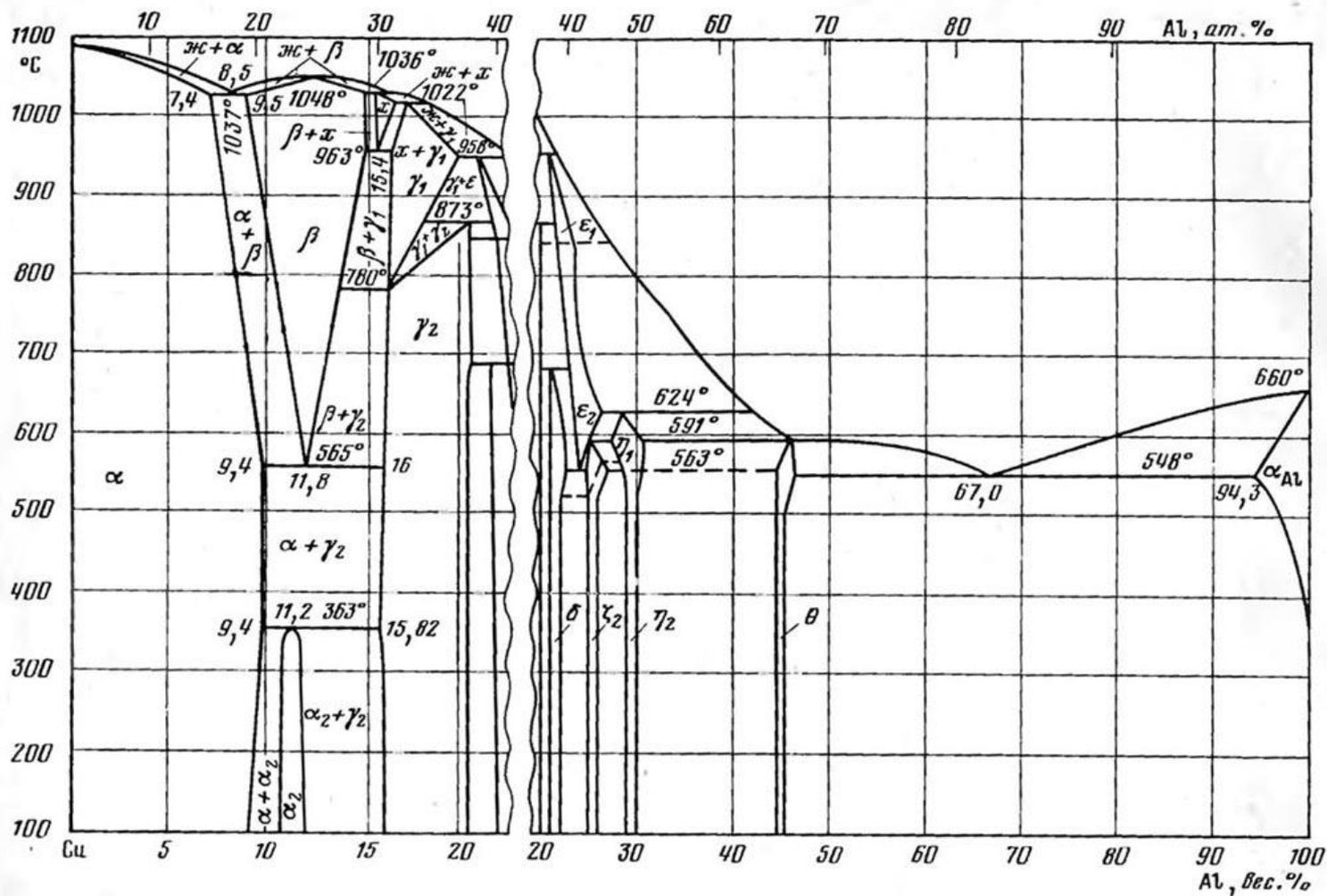
---

- Маркируют бронзы буквами «Бр», за которыми следуют буквы и цифры, указывающие на название и содержание в % легирующих элементов.
- БрОФ10-1 - 10%Sn + 1%P остальное Cu.
- БрС30 - 30%Pb остальное Cu.
- БрКМц3-1 - 3%Si + 1%Mn, остальное Cu.

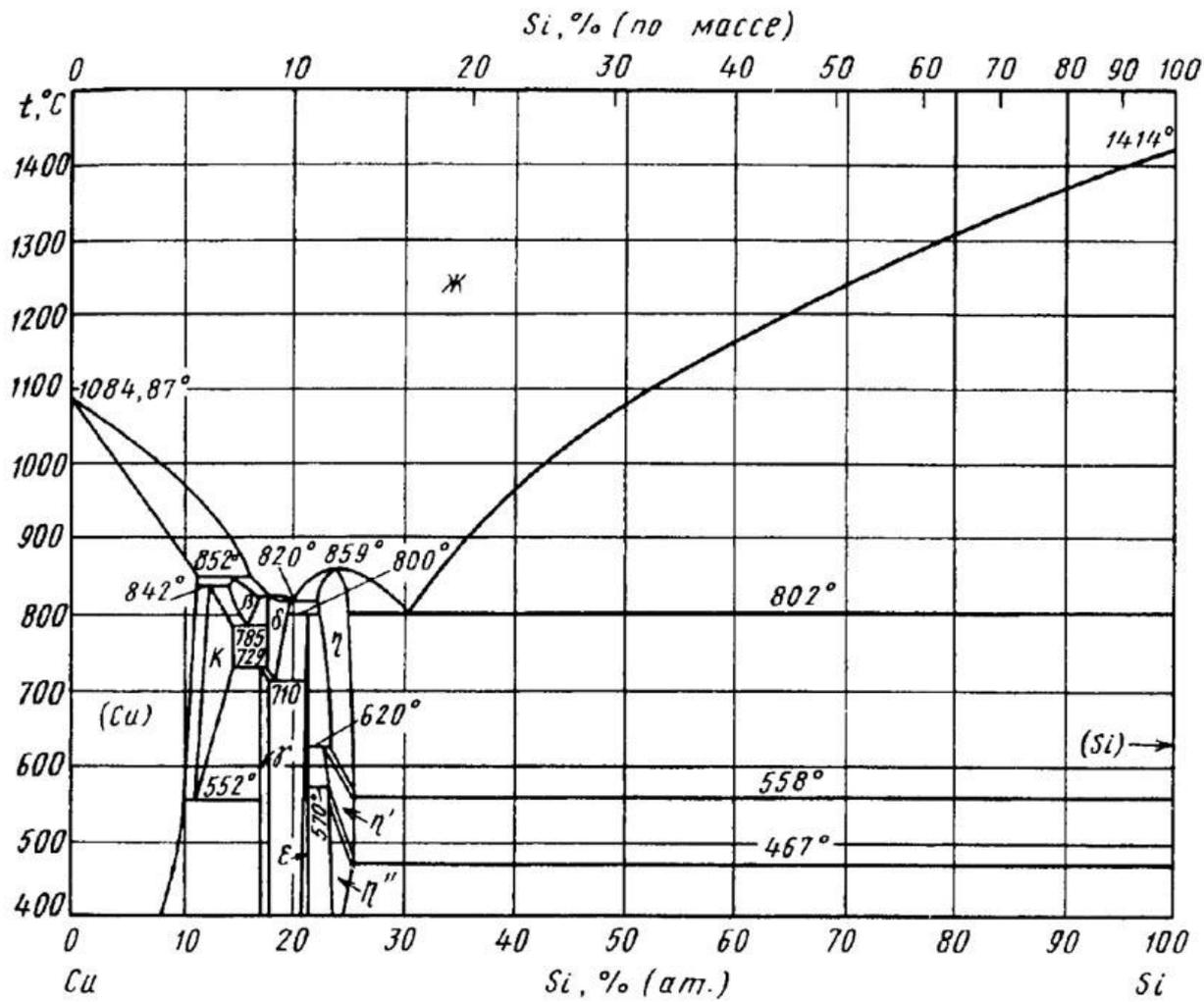


Оловянистые бронзы, как и другие цветные сплавы, делятся на деформируемые -  $< 10\%Sn$  и литейные  $>10\%Sn$ . Когда-то бронзы получали свои названия по назначению - колокольная (20 -  $30\%Sn$ ), зеркальная (30 -  $35\%Sn$ ), монетная (4 -  $10\%Sn$ ), пушечная (8 -  $18\%Sn$ )

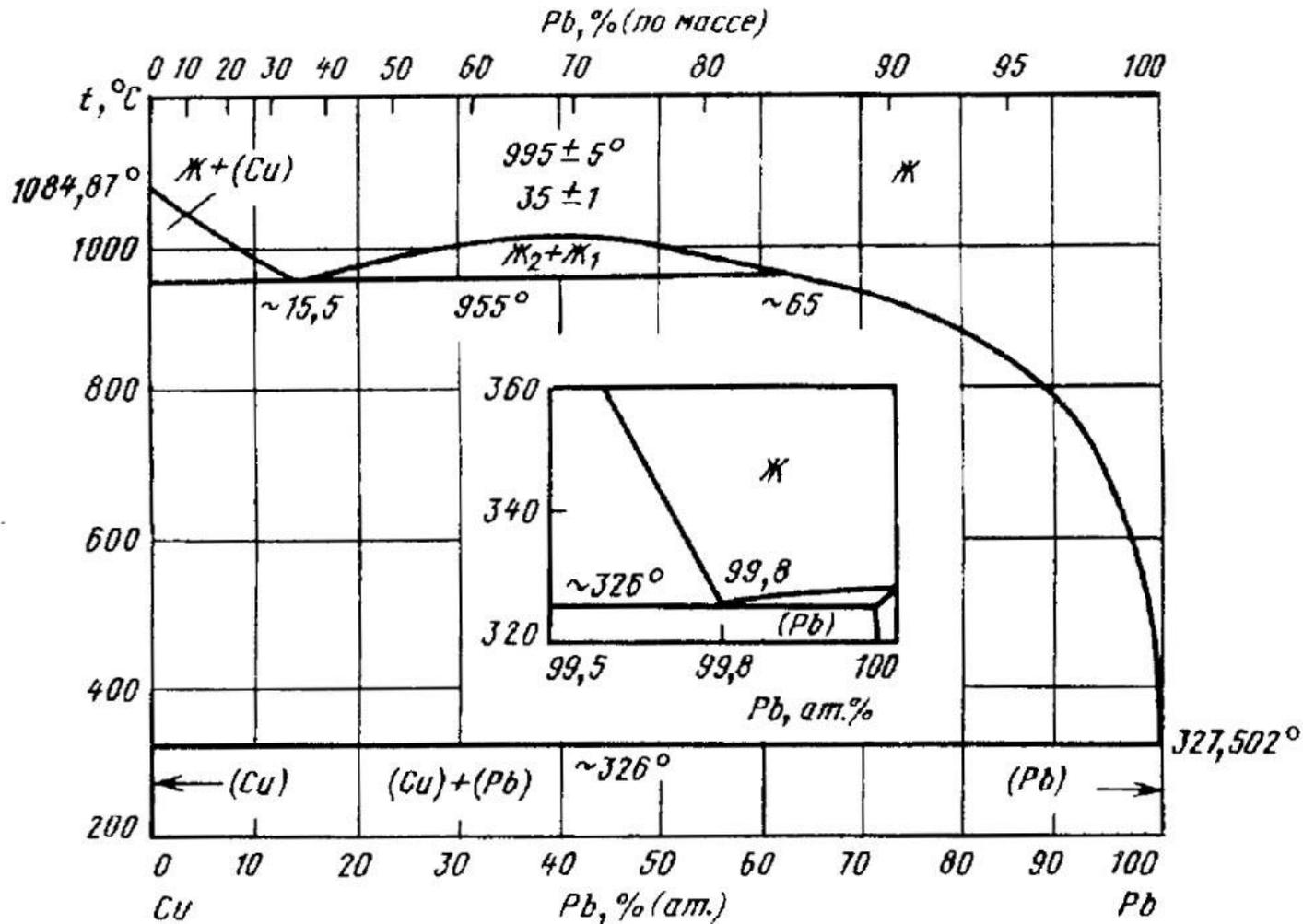
# Алюминиевые бронзы



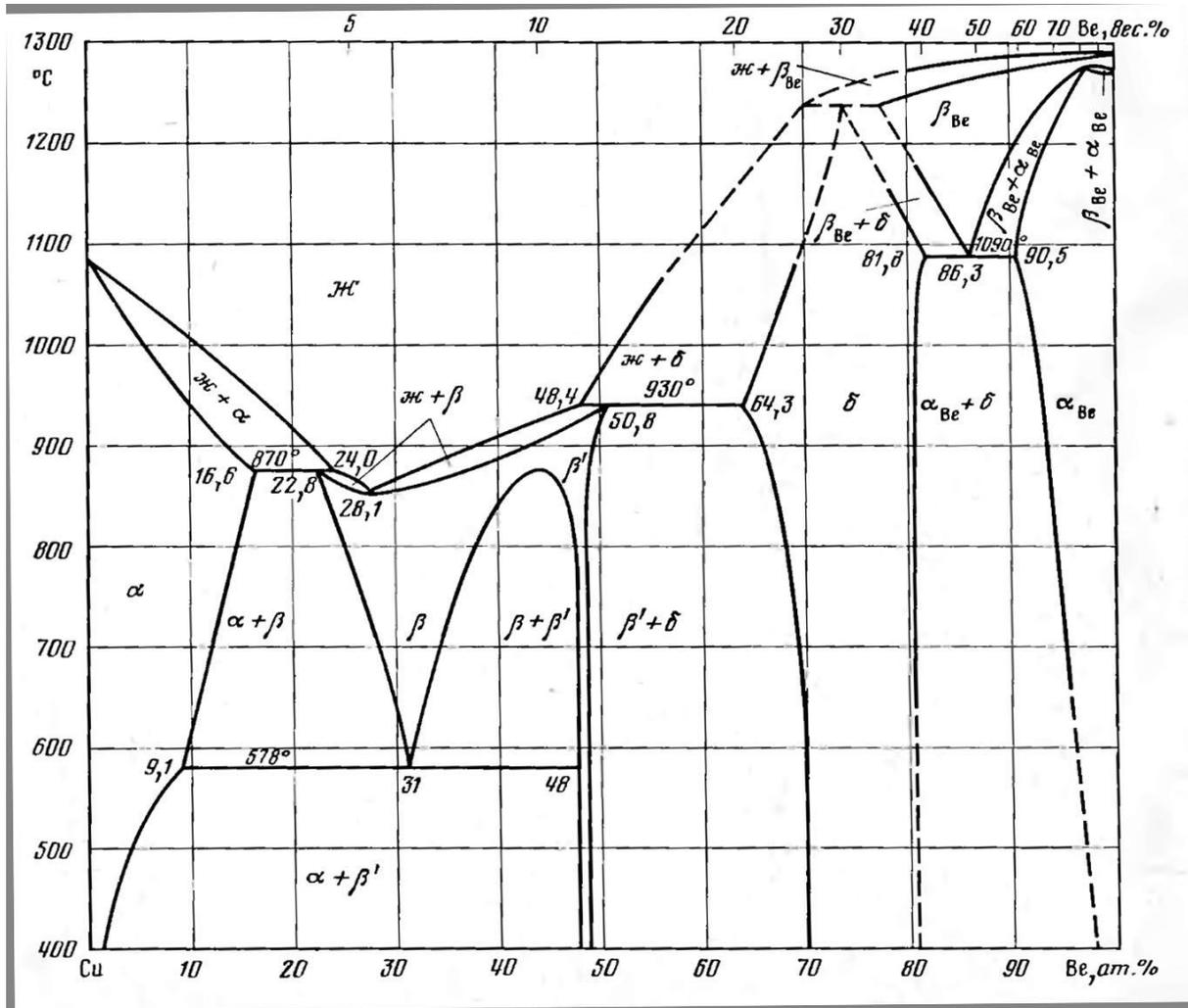
# Кремнистые бронзы



# Свинцовистые бронзы



# Бериллиевые бронзы



---

# МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

# Магний и его сплавы

---

▣ *Магний* – легкий (плотность  $\rho = 1,74$  г/см<sup>3</sup>), блестящий серебристо-белый металл с температурой плавления  $650^\circ$  С, тускнеющий на воздухе вследствие образования на поверхности окисной пленки. Магний имеет ГПУ решетку с периодами:  $a = 0,320$  нм,  $c = 0,520$  нм. Механические свойства литого магния:  $\sigma_B = 115$  МПа,  $\delta = 8\%$ .

# Деформируемые магниевые сплавы

---

- Магний плохо деформируется при нормальной температуре: в гексагональной решетке скольжение происходит по одной плоскости базиса. При повышении температуры до 200–450°C возникает скольжение по дополнительным кристаллографическим плоскостям, технологическая пластичность большинства сплавов становится высокой. Поэтому все операции по обработке давлением магниевых сплавов проводят при температурах 360–520°C и обязательно при малых скоростях деформации. Исключение – сплавы с 10–14 % Li, которые имеют ОЦК решетку и допускают обработку в холодном состоянии.

# Литейные магниевые сплавы

---

- Отливки получают всеми известными способами литья (литьем в землю, в кокиль, под давлением). Во избежание горения заливаемого металла, в состав формовочных земель вводят защитные присадки; кокили окрашивают специальными красками, в состав которых входит борная кислота. При затвердевании магниевые сплавы дают большую линейную усадку. Отливки из сплавов с цирконием имеют более мелкозернистую структуру и высокие механические свойства, чем отливки из сплавов, легированных алюминием.

# Промышленные марки магниевых сплавов

<b>Группа сплавов</b>	<b>Классификация сплавов</b>	<b>Марки литейных магниевых сплавов</b>	<b>Марки деформируемых магниевых сплавов</b>
<b>I</b>	<b>Сплавы средней прочности</b>	<b>МЛ3</b>	<b>МА1, МА2, МА8, МА2-1, МА20</b>
<b>II</b>	<b>Сплавы высокой прочности</b>	<b>МА4, МЛ5, МЛ6, МЛ8, МЛ12, МЛ15</b>	<b>МА5, МА14, МА15, МА19</b>
<b>III</b>	<b>Жаропрочные сплавы</b>	<b>МЛ9, МЛ10, МЛ11, МЛ19</b>	<b>МА11, МА12</b>
<b>IV</b>	<b>Сплавы пониженной плотности, содержащие литий</b>		<b>МА18, МА21</b>

# Химический состав промышленных сплавов

Тип сплава	Химический состав, %												
	основные компоненты					примеси, не более							
	Al	Zn	Mn	Zr	Nd	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Mn	Be	Ca
	<b>Литейные сплавы</b>												
Mg – Al – Zn	8	0.5	0.2	-	-	-	0.25	0.06	0.01	0.1	-	-	0.1
Mg – Zn – Zr	8	До 4.5	0.2	0.7	-	-	0.08	-	-	-	-	-	-
Mg – Nd – Zr	-	0.4	-	0.7	2.5	0.02	0.03	0.01	-	0.03	-	-	-
	<b>Деформируемые сплавы</b>												
Mg – Al – Zn	4	1	0.5	-	-	-	0.15	0.05	-	0.05	-	0.02	0.1
Mg – Zn – Zr	-	5.5	-	0.5	-	0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.1	0.02	-

---

# ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

# Открытие титана

---

- Первооткрывателем титана считается 28-летний английский монах Уильям Грегор. В 1790 г., проводя минералогические изыскания в своем приходе, он обратил внимание на распространенность и необычные свойства черного песка в долине Менакэна на юго-западе Англии и принялся его исследовать. В песке священник обнаружил крупницы черного блестящего минерала, притягивающегося обыкновенным магнитом. Полученный в 1925 г. Ван Аркелем и де Буром иодидным методом чистейший титан оказался пластичным и технологичным металлом со многими ценными свойствами, которые привлекли к нему внимание широкого круга конструкторов и инженеров. В 1940 г. Кроль предложил магниетермический способ извлечения титана из руд, который является основным и в настоящее время. В 1947 г. были выпущены первые 45 кг технически чистого титана.

# Титан

---

- Титан – легкий металл, его плотность при  $0^{\circ}\text{C}$  составляет всего  $4,517 \text{ г/см}^3$ , а при  $100^{\circ}\text{C}$  –  $4,506 \text{ г/см}^3$ .
- Температура плавления -  $1668 \pm 3^{\circ}\text{C}$
- Имеет полиморфное превращение при температуре  $882^{\circ}\text{C}$
- $\alpha$ -титан - плотноупакованная гексагональная решетка
- $\beta$ -титан - с ОЦК решёткой

## Свойства губчатого титана

<b>Ti, %</b>	<b>99.99</b>	<b>99.8</b>	<b>99.6</b>	<b>99.5</b>	<b>99.4</b>
<b>HB</b>	<b>100</b>	<b>145</b>	<b>165</b>	<b>195</b>	<b>225</b>

# Маркировка губчатого титана

---

- Титановую губку маркируют буквами ТГ, затем следует цифра, показывающая твердость выплавленных из нее эталонных образцов (ТГ100, ТГ110 и т. д.). Очевидно, более высокая цифра показывает на меньшую чистоту металла.

## Применение титана

---

- Основная часть титана расходуется на нужды авиационной и ракетной техники и морского судостроения. Титан (ферротитан) используют в качестве лигирующей добавки к качественным сталям и как раскислитель. Технический титан идет на изготовление емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов, клапанов и других изделий, работающих в агрессивных средах. Из компактного титана изготавливают сетки и другие детали электровакуумных приборов, работающих при высоких температурах

## Легирование титана

---

- Как и в случае легирования железа, так и в данном случае основное значение имеет способность к растворению легирующего элемента в титане и влияние его на положение критической точки (температура  $\alpha=\beta$ -превращения).
- В соответствии с этим все элементы разделены на группы *A* и *B*. К группе *A* отнесем элементы, неограниченно (или значительно) растворимые в титане, а к группе *B* — ограниченно растворимые в титане, которые при сравнительно небольшом их количестве образуют химические соединения с титаном (*титаниды*).

# Твердые растворы титана

---

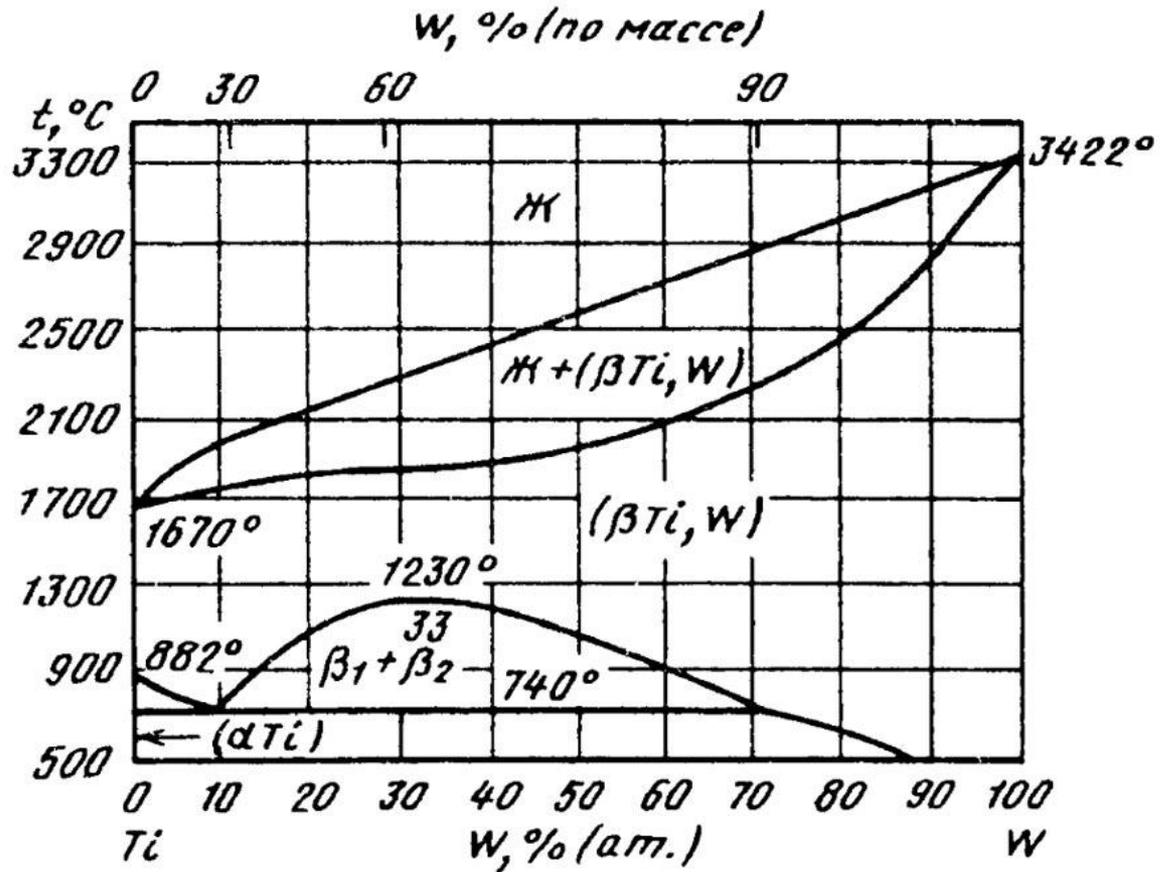
- Элементы, атомные радиусы которых не отличаются от атомного радиуса титана более чем на 12—15%, как правило, образуют неограниченные твердые растворы (группа А). В противном случае значительной растворимости быть не может, и образуются ограниченные твердые растворы и промежуточные химические соединения титана  $TiMe$  — титаниды (группа Б)

# Стабилизаторы

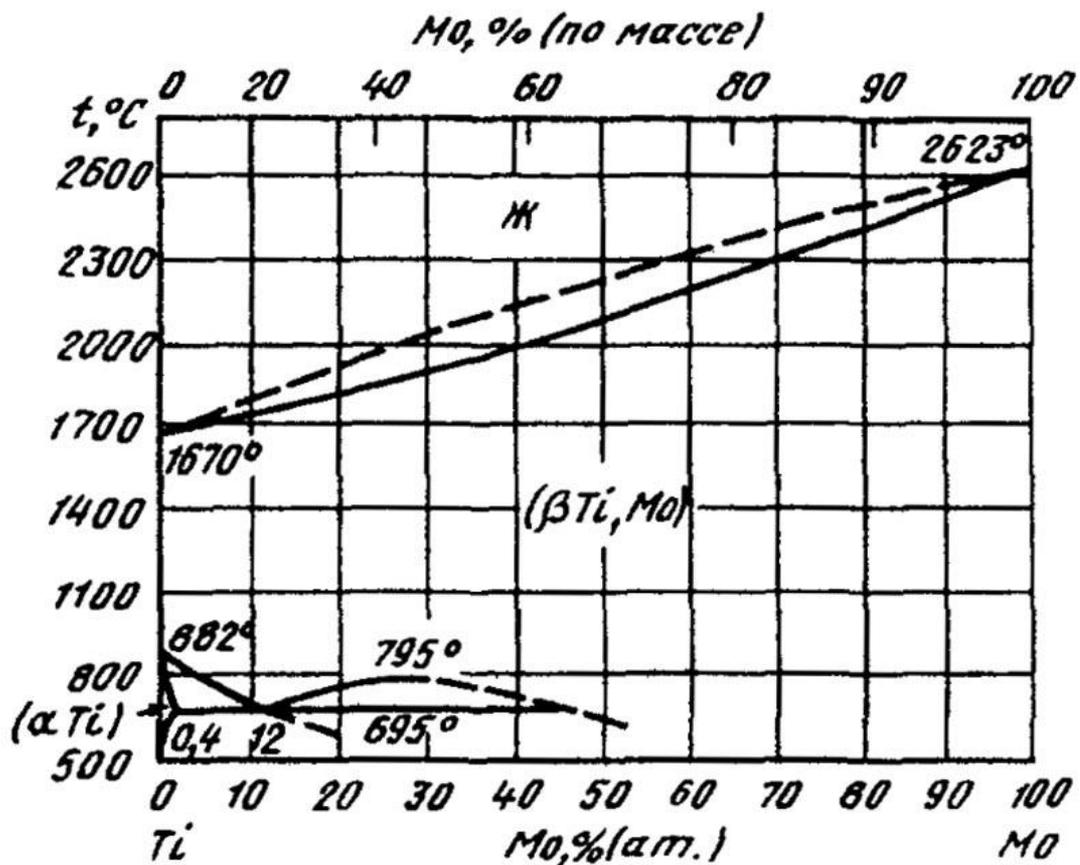
---

- Если элемент изоморфен  $\alpha$ -титану, т. е. имеет гексагональную кристаллическую решетку, то он расширяет  $\alpha$ -область (I класс); если элемент изоморфен  $\beta$ -титану, т. е. имеет кубическую объемно-центрированную решетку, то он расширяет  $\beta$ -область (II класс). Элементы I класса называют  *$\alpha$ -стабилизаторами*, элементы второго класса  *$\beta$ -стабилизаторами*
-

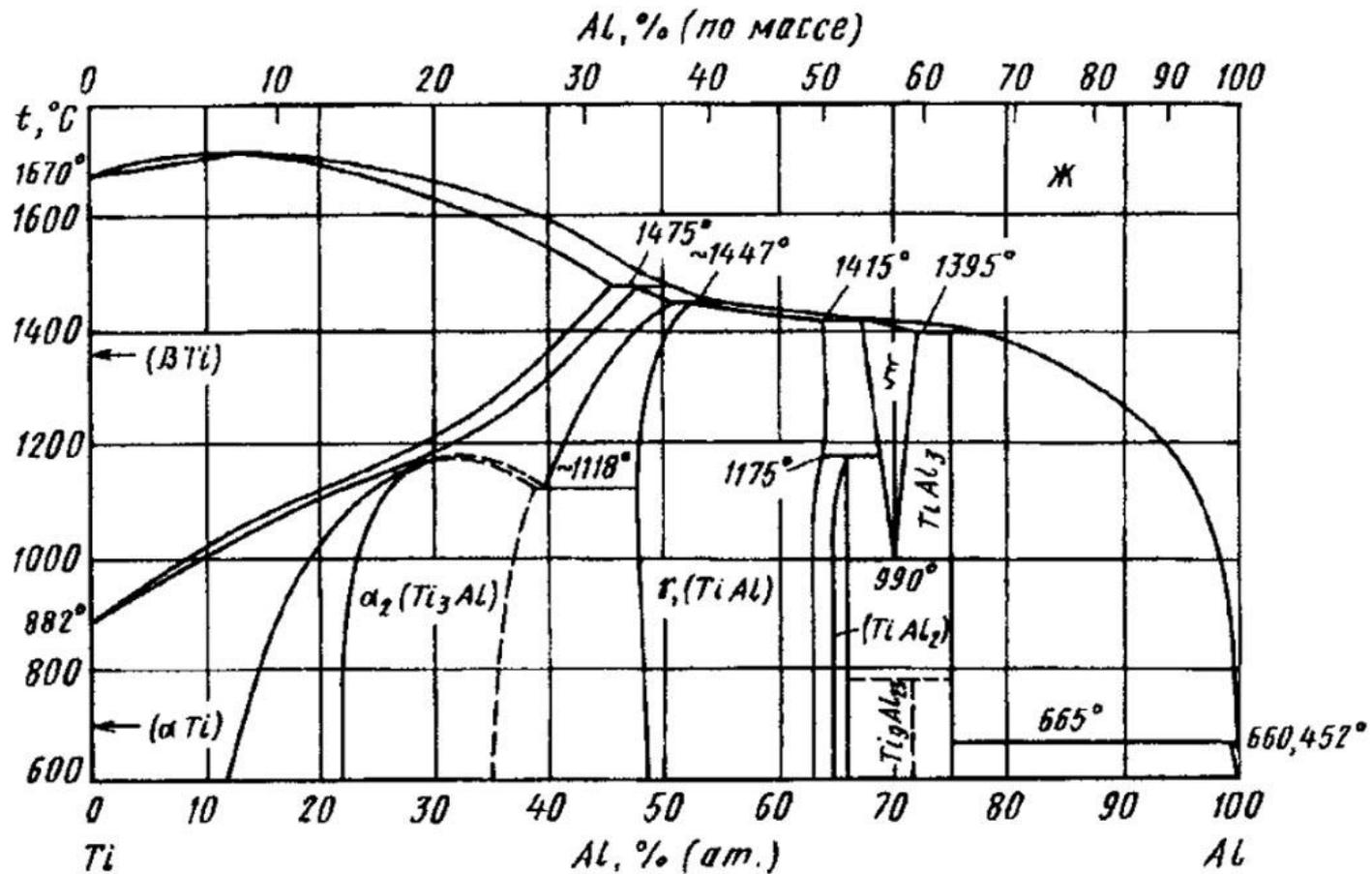
# Диаграмма состояния Ti - W



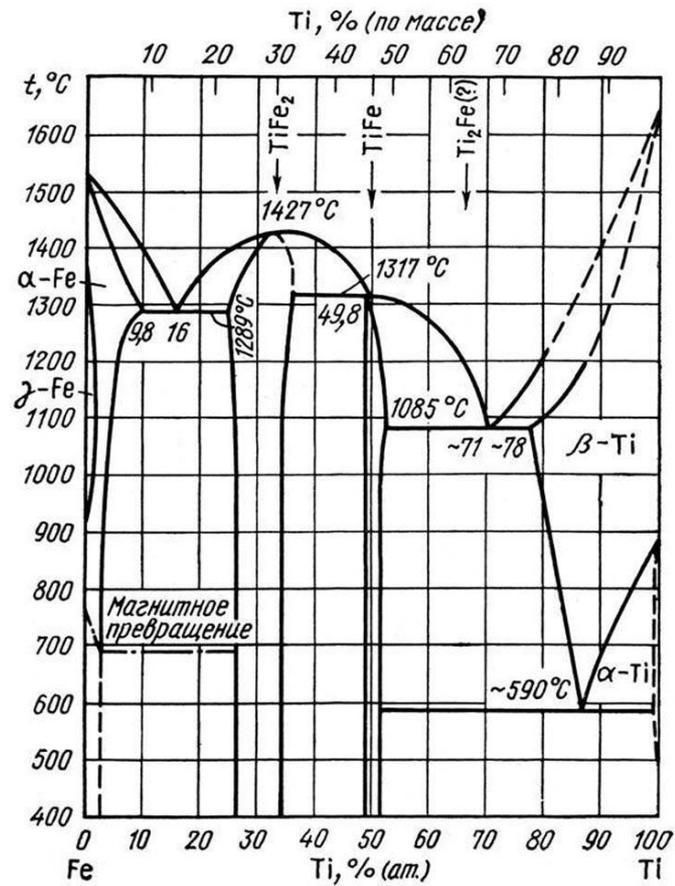
# Диаграмма состояния Ti - Mo



# Диаграмма состояния Ti - Al



# Диаграмма состояния Ti - Fe



# Фазовые превращения в титановых сплавах

- Наличие у сплавов титана высокотемпературной модификации твердого раствора ( $\beta$ ), способной к значительному переохлаждению, обуславливает получение разнообразных структур в зависимости от режимов термической обработки.
- Полиморфное  $\beta$ - $\alpha$ -превращение может иметь два различных механизма.
- При высоких температурах, т. е. при небольшом переохлаждении относительно равновесной температуры  $\beta$ - $\alpha$ -перехода, превращение происходит обычным диффузионным путем, а при значительном переохлаждении и, следовательно, при низкой температуре, когда подвижность атомов мала — по бездиффузионному мартенситному механизму. В первом случае образуется полиэдрическая структура сс-твердого раствора, во втором — игольчатая (пластинчатая) мартенситная структура, обозначаемая обычно как  $\alpha'$ .



# Механические свойства титановых сплавов

Марка сплава	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0.2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_H$ , кгс-м/см <sup>2</sup>
<b><math>\alpha</math>-сплавы</b>					
BT4	80 - 90	70 - 80	15 - 22	20 - 30	3.5 - 6.5
BT5	70 - 85	55 - 65	15 - 17	25 - 55	-
<b><math>\alpha</math>-<math>\beta</math>-сплавы</b>					
BT6	90 - 100	80 - 90	8 - 13	30 - 45	4 - 8
BT8	105 - 118	95 - 110	9 - 15	30 - 55	3 - 6

# Термическая обработка ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

- Рекристаллизационный отжиг титана и его сплавов проводят при 700—800°C, что значительно превосходит температуру рекристаллизации (500°C). Эта температура достаточна для быстрого устранения наклепа. Наиболее важна термическая обработка, в результате которой измельчаются зерна при фазовой перекристаллизации и повышаются пластические свойства. Механические свойства закаленного сплава определяются соотношением ( $\alpha$  и  $\beta$ -фаз, причем упрочнение достигается главным образом за счет  $\alpha$ -фазы (искаженная  $\alpha'$ -фаза тоже мартенситного происхождения). Количество  $\alpha$ -фазы зависит от температуры нагрева под закалку, скорости охлаждения и количества легирующих элементов ( $\beta$ -стабилизаторов). Однако упрочнение закаленных сплавов, по сравнению с отожженными, невелико.
- Основной прирост прочности создается за счет отпуска (старения) закаленного сплава или изотермической обработки.

# Коррозионная стойкость титановых сплавов

---

- Кроме высокой удельной прочности (отношения прочности к плотности), благодаря чему титановые сплавы получили широкое применение в технике, титан обладает высокой коррозионной стойкостью в большом количестве агрессивных сред, превосходя в этом отношении нержавеющую сталь. Высокая коррозионная стойкость титана обусловлена образованием на поверхности плотной защитной пленки ( $\text{TiO}_2$ ). Если эта пленка не растворяется в окружающей среде, то можно считать, что титан в ней абсолютно стоек. Легче перечислить среды, в которых титан не стоек: из неорганических сред — это плавиковая, соляная, серная и ортофосфорная кислоты; из органических — щавелевая и уксусная кислоты.

# Бериллий и его сплавы

---

▣ *Бериллий* – легкий ( $1,845 \text{ г/см}^3$ ), пластичный ( $\delta = 140 \%$ ) металл светло-серого цвета. Температура плавления –  $1287 \text{ }^\circ\text{C}$ . До  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  имеет ГПУ решетку, выше – ОЦК. Бериллий чрезвычайно токсичен. Механические свойства бериллия зависят от чистоты металла, технологии производства, размера зерна. Пластичный бериллий (содержание примесей  $10^{-4} \%$ ) получают электролизом с последующей зонной плавкой. Бериллий обладает уникальным сочетанием физических и механических свойств. По удельной прочности и жесткости, удельной теплоемкости он превосходит все другие металлы. Бериллий отличается высокой электро- и теплопроводностью. Недостатки – высокая стоимость, сложность переработки, а также низкая хладостойкость и ударная вязкость (ниже  $5 \text{ Дж/см}^2$ ).

# Сплавы бериллия

- Размеры атома бериллия очень малы – 0,226 нм. Поэтому введение даже небольшого количества примесей (например, 0,001 % Si) приводит к значительным искажениям кристаллической решетки бериллия и сильному охрупчиванию металла. Поэтому легирование бериллия возможно только элементами, которые образуют с бериллием механические смеси с минимальной взаимной растворимостью. В сплавах бериллия с алюминием (24–43 % Al) твердые частицы бериллия равномерно распределены в пластичной алюминиевой матрице. Например, сплав *локеллой* (62 % Be) фирмы «Локхид» (США) имеет следующие механические свойства:  $\sigma_B = 600$  МПа,  $\delta = 1$  %.

# Цинк и его сплавы

---

▣ *Цинк* – синева́то-бе́лый металл, температура плавления 419 °С, плотность 7,13 г/см<sup>3</sup>, решетка – ГПУ. Полиморфных превращений не имеет. Чистый цинк обладает высокой пластичностью ( $\delta = 50 \%$ ), низкой прочностью ( $\sigma_{\text{в}} = 150$  МПа). При 100–150 °С цинк пластичен и легко прокатывается в листы и фольгу толщиной до сотых долей миллиметра. При 250 °С становится хрупким. Основные примеси – свинец, железо, кадмий. Половина производимого цинка расходуется на защитные антикоррозионные покрытия для сталей.

# Сплавы на основе цинка

---

- Сплавы на основе цинка характеризуются невысокой температурой плавления, хорошей жидкотекучестью, легко обрабатываются давлением и резанием, хорошо паяются и свариваются. Основные примеси – алюминий (до 5–10 %) и медь (до 5 %). Маркируются буквами Ц (цинк), А (алюминий), М (медь) и цифрами, показывающими содержание элементов в процентах. Сплав ЦАМ4-3 содержит 4 % Al и 3 % Cu.

# Свинец и его сплавы

---

▣ *Свинец* – металл голубовато-серого цвета, температура плавления  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ , плотность  $11,3\text{ г/см}^3$ , решетка ГЦК. Полиморфных превращений не имеет. Свинец обладает высокой пластичностью ( $\delta = 60\%$ ) и очень низкой прочностью ( $\sigma_{\text{в}} = 13\text{ МПа}$ ). Чистый свинец хорошо поглощает гамма и рентгеновские лучи, поэтому его широко применяют для изготовления защитных экранов и контейнеров для хранения радиоактивных веществ. Много свинца расходуется на защитные оболочки электрических кабелей, для производства аппаратуры, стойкой в агрессивных средах.

# Сплавы на основе свинца

---

- Введение Fe, Te, Cu, Sb, Sn, Cd и Ca в небольших количествах, не снижает коррозионную стойкость свинца, но увеличивает его прочность, твердость и антифрикционные свойства, а при нагреве – предел ползучести и длительную прочность. Сплавы с теллуrom (0,03–0,06 %), медью (0,04–0,08 %) и сурьмой (0,5–2 %) используются как материалы для облицовки кислотоупорной аппаратуры и трубопроводов. Для оболочек электрических кабелей применяют сплавы с теллуrom (0,04–0,06 %), кальцием (0,03–0,07 %), оловом (1–2 %) и сурьмой (0,4–0,8 %).

# Олово и его сплавы

▣ **Олово** – металл белого цвета, температура плавления 232 °С, плотность 7,31 г/см<sup>3</sup>. Характеризуется высокой пластичностью ( $\delta = 90 \%$ ) и низкой прочностью ( $\sigma_B = 17$  МПа). **Белое олово** ( $\beta$ -олово) с тетрагональной решеткой ниже 13 °С медленно превращается в **серое олово** ( $\alpha$ -олово) с кубической решеткой. Превращение сопровождается увеличением объема на 26 %, олово разрушается, рассыпаясь в серый порошок («оловянная чума»). Скорость превращения  $\beta \rightarrow \alpha$  зависит от степени переохлаждения; сначала она мала и достигает максимального значения (0,004 мм/ч) при температуре минус 32 °С. Незначительная добавка висмута предотвращает переход белого олова в серое, а алюминия – наоборот его ускоряет. Олово марок О1 (99,9 % Sn) и О2 (99,56 % Sn) используется для лужения, О3 (98,35 % Sn) и О4 (96,25 % Sn) – для пайки.

---

# БАБИТЫ

# БАББИТ

---

- Антифрикционный сплав на основе олова или свинца, предназначенный для заливки вкладышей подшипников. Некоторые марки баббита содержат сурьму, медь, никель, мышьяк, кадмий, теллур, кальций, натрий, магний и др. Баббит изобретён в 1839 И. Баббитом (I. Babbitt, США). Высокие антифрикционные свойства баббита обуславливаются его особой гетерогенной структурой, характеризующейся наличием твёрдых частиц в мягкой пластичной основе сплава. Баббит отличается низкой температурой плавления (300—440°С), хорошей прирабатываемостью.

# Оловянные баббиты

---

- Баббиты на оловянной основе применяют для подшипников ответственного назначения, когда от антифрикционного материала требуются повышенная вязкость и минимальный коэффициент трения. Оловянный баббит по сравнению со свинцовым обладает более высокой коррозионной стойкостью, износоустойчивостью и теплопроводностью, а также более низким коэффициентом линейного расширения.

# Свицовые баббиты

---

- Свицовые баббиты могут работать при более высокой температуре подшипника, чем оловянные. Свицовый баббит применяют для заливки подшипников двигателей автомобилей, тракторов, прокатных станов. Свицовокальциевый баббит применяют для заливки подшипников подвижного состава и железнодорожного транспорта.