

Ti

Титан и его  
сплавы



protown.ru

## Титан и титановые сплавы

### Титан:

- температура плавления - **1668°C**;
- плотность при 20°C - **4,5 г/см<sup>3</sup>**;

Имеет полиморфное превращение:  $Ti_{\alpha} \leftrightarrow Ti_{\beta}$ ,  
выше 882°C -  $Ti_{\beta}$  с объёмноцентрированной кубической  
решеткой **ОЦК**;  
ниже 882°C -  $Ti_{\alpha}$  с гексагональной плотноупакованной  
решеткой **ГП**

### Механические свойства чистого титана:

$$\sigma_b = 250 \text{ МПа}, \delta = 50 \text{ \%};$$

Маркировка титана: **BT1-00** (99,53 % Ti),  
**BT1-0** (99,46 % Ti)

При быстром охлаждении с температур, превышающих  
882°C, может происходить мартенситное превращение  
( с образованием игольчатой структуры).

Микроструктура технического титана

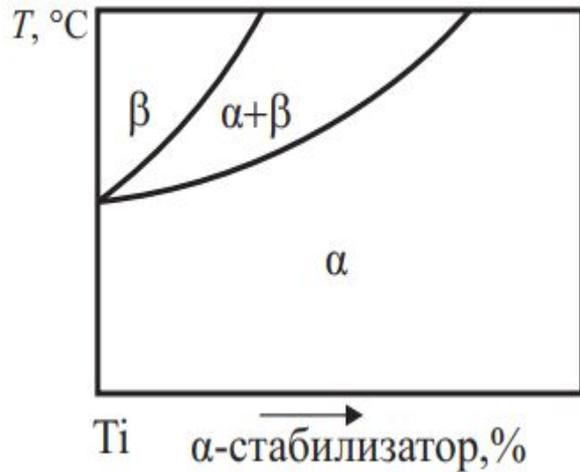
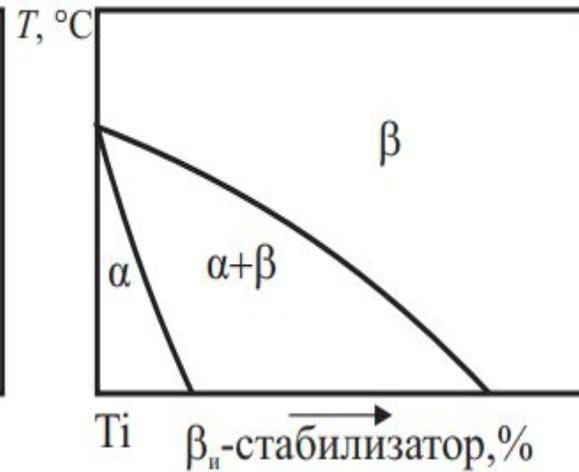
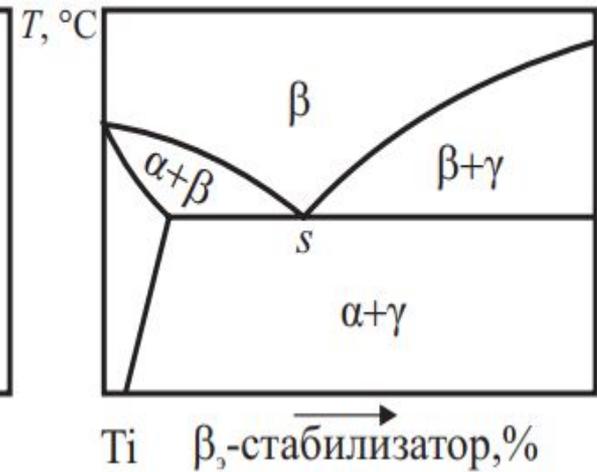


После отжига x100



После быстрого  
охлаждения x300

- Титан — лёгкий прочный металл серебристо-белого цвета.
- Существует в двух кристаллических модификациях:
  - $\alpha$ -Ti с гексагональной плотноупакованной решёткой,
  - $\beta$ -Ti с кубической объёмно-центрированной упаковкой, температура полиморфного превращения  $\alpha \leftrightarrow \beta$  883 °С.
- Титан и титановые сплавы сочетают лёгкость, прочность, высокую коррозионную стойкость, низкий коэффициент теплового расширения, возможность работы в широком диапазоне

*a**б**в*

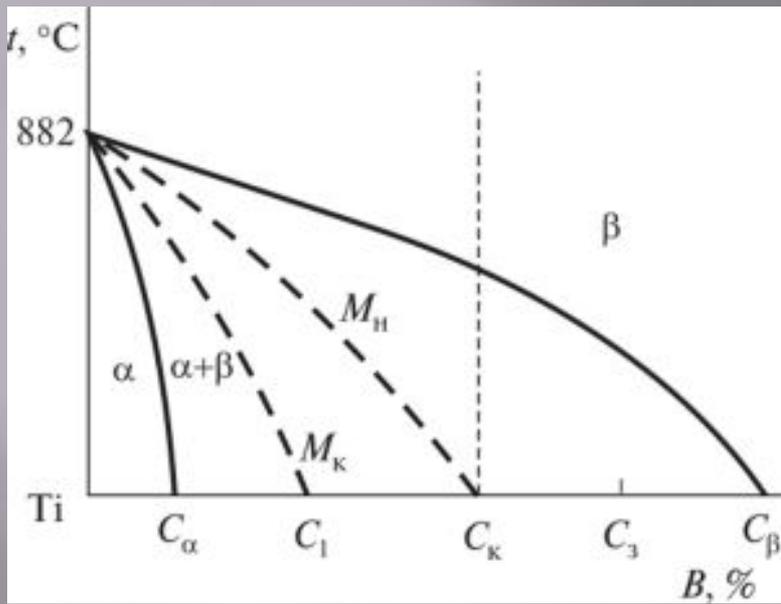
- *Алюминий* — важнейший легирующий элемент в титановых сплавах, стабилизирует  $\alpha$ -фазу и присутствует в большинстве промышленных титановых сплавов в количестве от 1,5–2 % до 6–6,5 %.
- Двумя следующими по важности легирующими элементами являются *ванадий* и *молибден*. Их добавление стабилизирует  $\beta$ -фазу.

- Легирующие элементы для титановых сплавов разделяют на три группы, в зависимости от их влияния на температуру полиморфного превращения:
  - - альфа-стабилизаторы,
  - - бета-стабилизаторы,
  - - нейтральные упрочнители.
- Первые понижают температуру превращения,
- вторые повышают, третьи не влияют на неё, но приводят к растворному упрочнению матрицы.
- Примеры альфа-стабилизаторов: алюминий, кислород, углерод, азот.
- Бета-стабилизаторы: молибден, ванадий, железо, хром, никель. Нейтральные упрочнители: цирконий, олово, кремний.

- Тройная система Ti-Al-V является основой большинства высокопрочных титановых сплавов, а система Ti-Al-Mo — жаропрочных титановых сплавов.
- Большинство современных титановых сплавов содержат одновременно алюминий, ванадий и молибден.

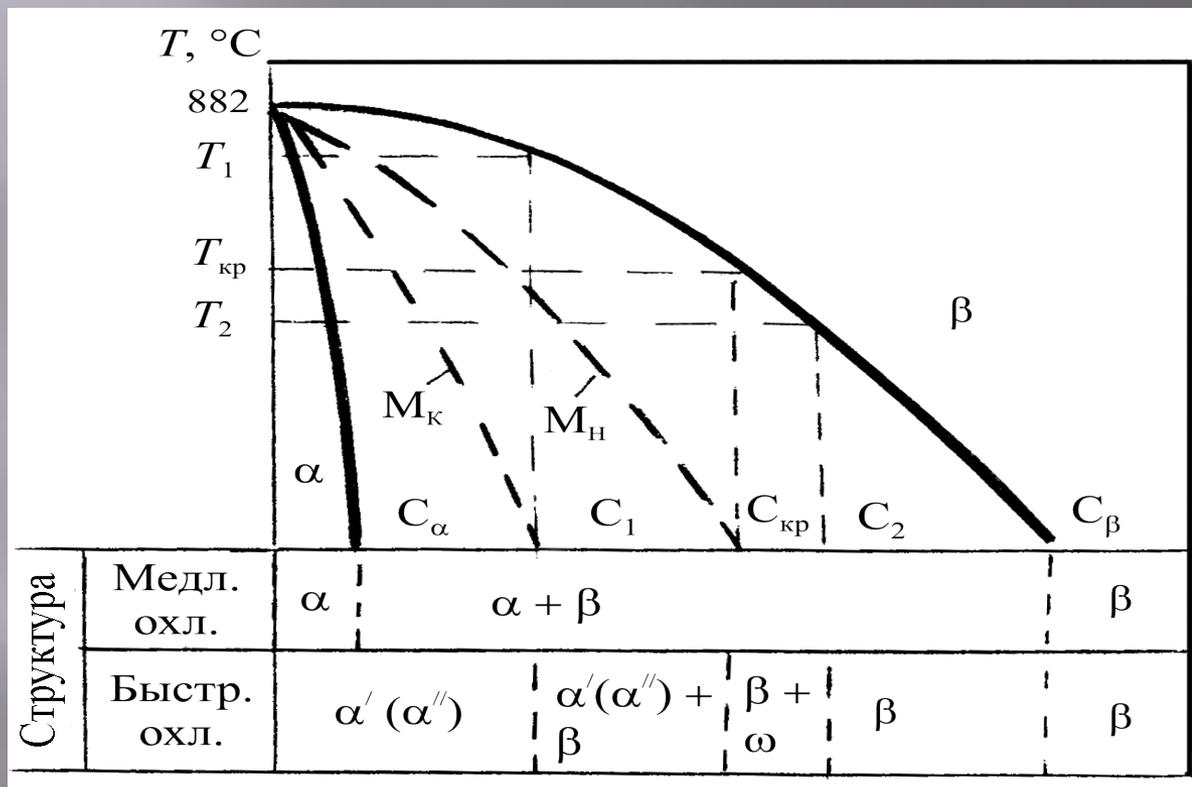
# Термическая обработка титановых сплавов.

- Титановые сплавы в зависимости от их состава и назначения можно подвергать отжигу, закалке, старению, а также химико-термической обработке.
- *Рекристаллизационный отжиг* применяют для титана и сплавов с  $\alpha$ -структурой с целью снятия напряжений, созданных предшествующей деформацией. Обычно это температуры  $520 - 850^\circ \text{C}$  в зависимости от химического состава сплава и вида полуфабриката.
- *Отжиг с фазовой перекристаллизацией* применяют для  $(\alpha + \beta)$ -сплавов, чтобы добиться снижения твердости, повышения пластичности, измельчения зерна, устранения структурной неоднородности.



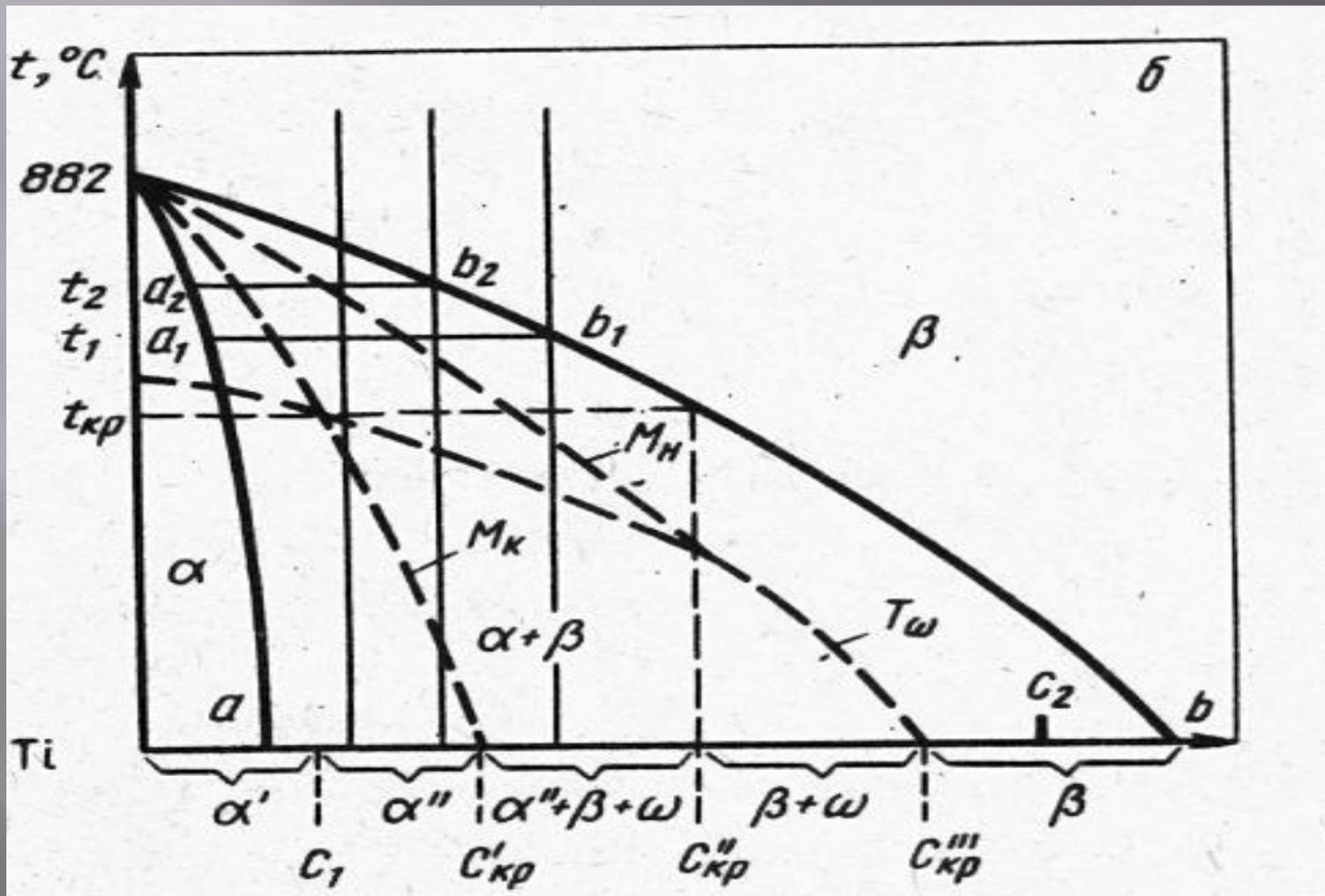
- *Закалка* применяется только для двухфазных сплавов.
- В зависимости от химического состава, в первую очередь от суммарного содержания легирующих  $\beta$ -стабилизаторов, в титановых сплавах при закалке может происходить мартенситное превращение или фиксироваться высокотемпературное состояние
- $\beta$ -фазы при комнатной температуре, т.е. образовываться нестабильная  $\beta$ -фаза

# Термообработка ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ



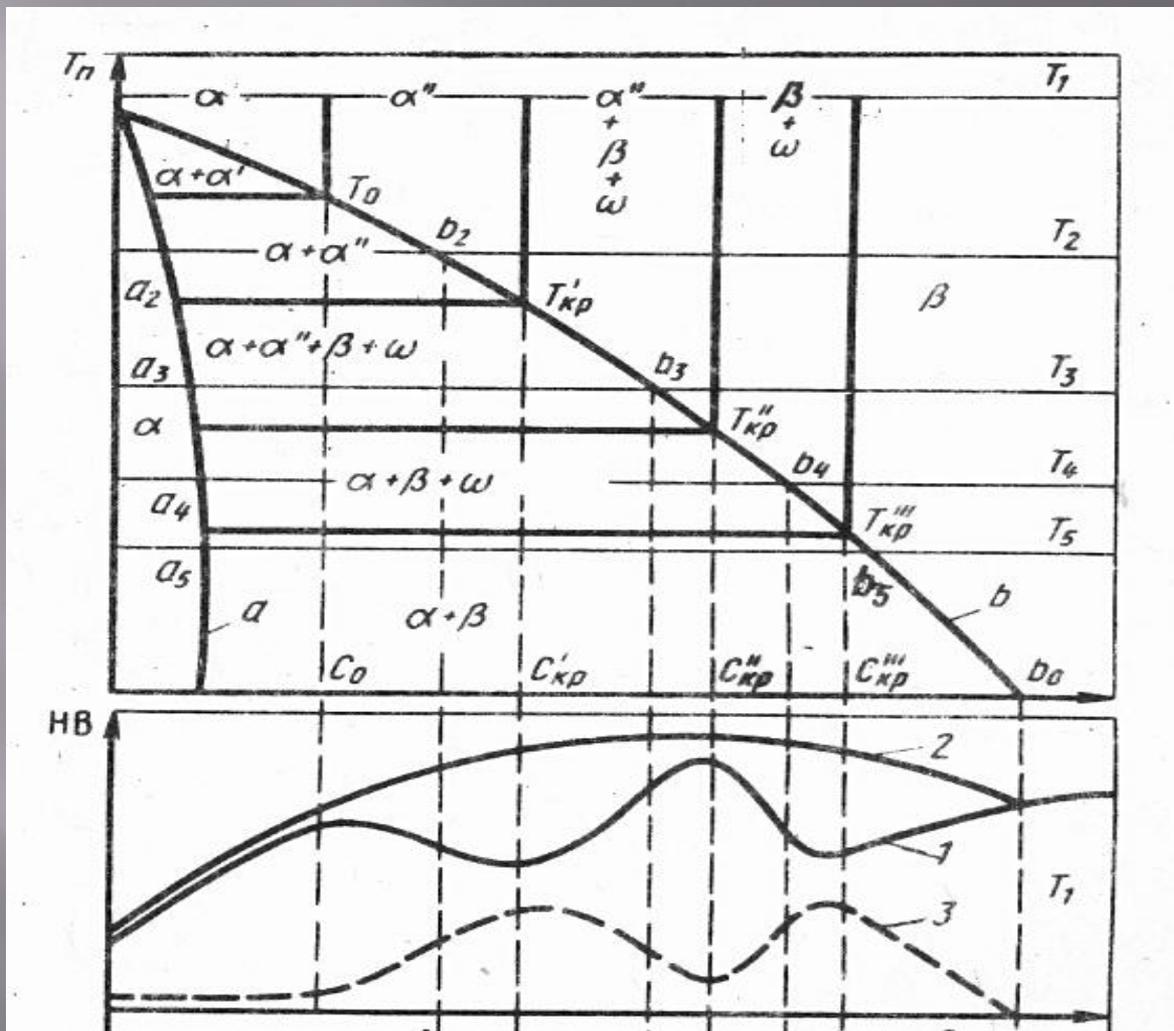
Мартенситное превращение в титановых сплавах, так же как и в сталях, происходит сдвиговым, бездиффузионным путем в интервале температур и характеризуется температурой начала  $M_H$  и температурой конца  $M_K$  превращения.

# Метастабильная диаграмма фазового состава закаленных титановых сплавов



# Старение

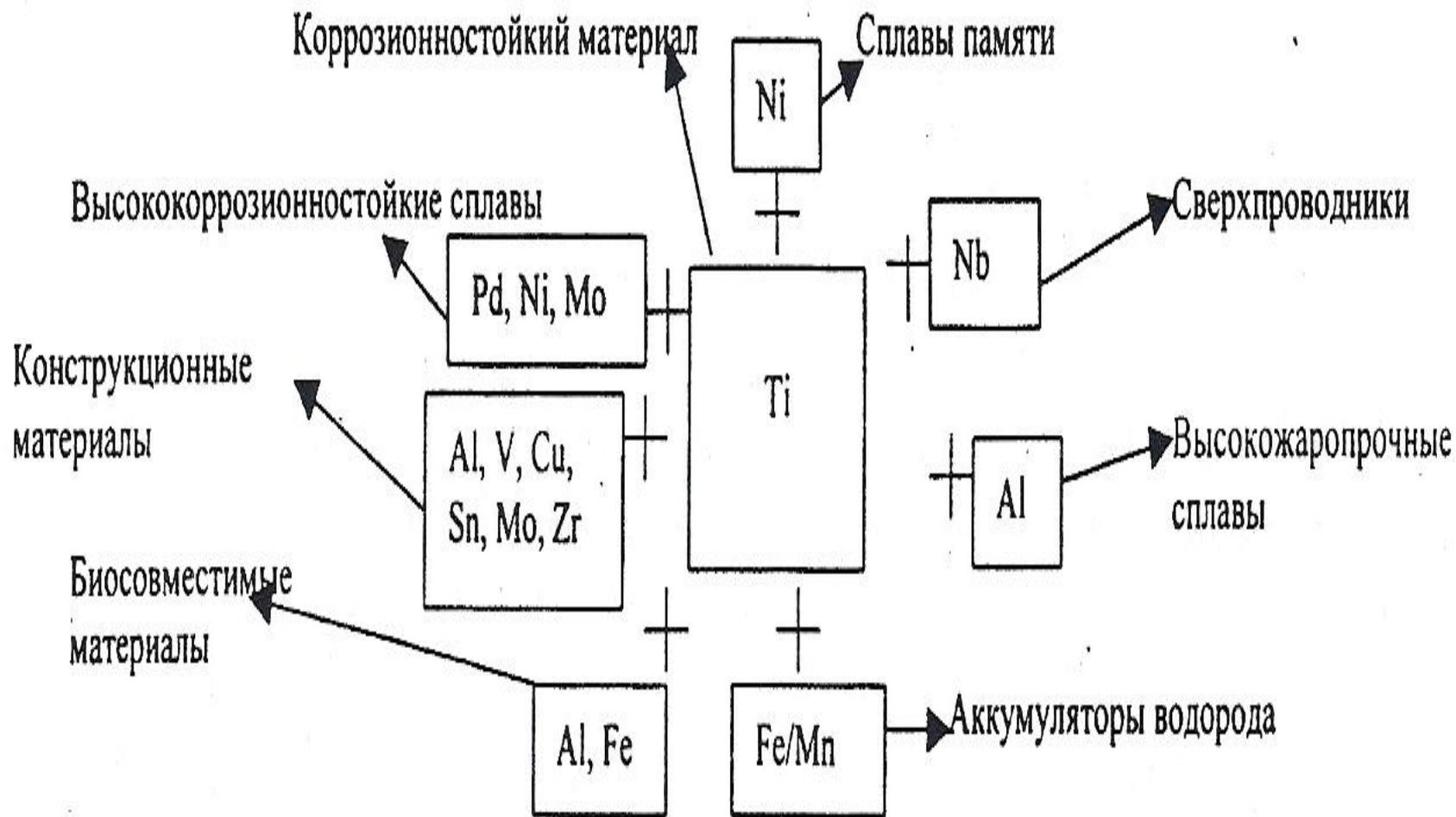
- В процессе нагрева закаленных титановых сплавов происходит старение и образовавшиеся при закалке метастабильные фазы  $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,  $\omega$  и  $\beta_{\text{нест}}$  распадаются с образованием более стабильных дисперсных структур ( $\alpha + \beta$ ).
- В результате распада неравновесных фаз с выделением дисперсных частиц титановые сплавы упрочняются.
- Наибольший эффект упрочнения получается при распаде  $\beta_{\text{нест}}$  фазы.



Изменение прочности титановых сплавов после закалки с температуры  $T_1$  (1) и старения (2)

- Использование металлического титана во многих отраслях промышленности обусловлено тем, что его прочность примерно равна прочности стали при том, что он на 45 % легче.
- Титан на 60 % тяжелее алюминия, но прочнее его примерно вдвое.
- Титан в виде сплавов является важнейшим конструкционным материалом в авиа- и ракетостроении, в кораблестроении.

# Область применения титановых сплавов

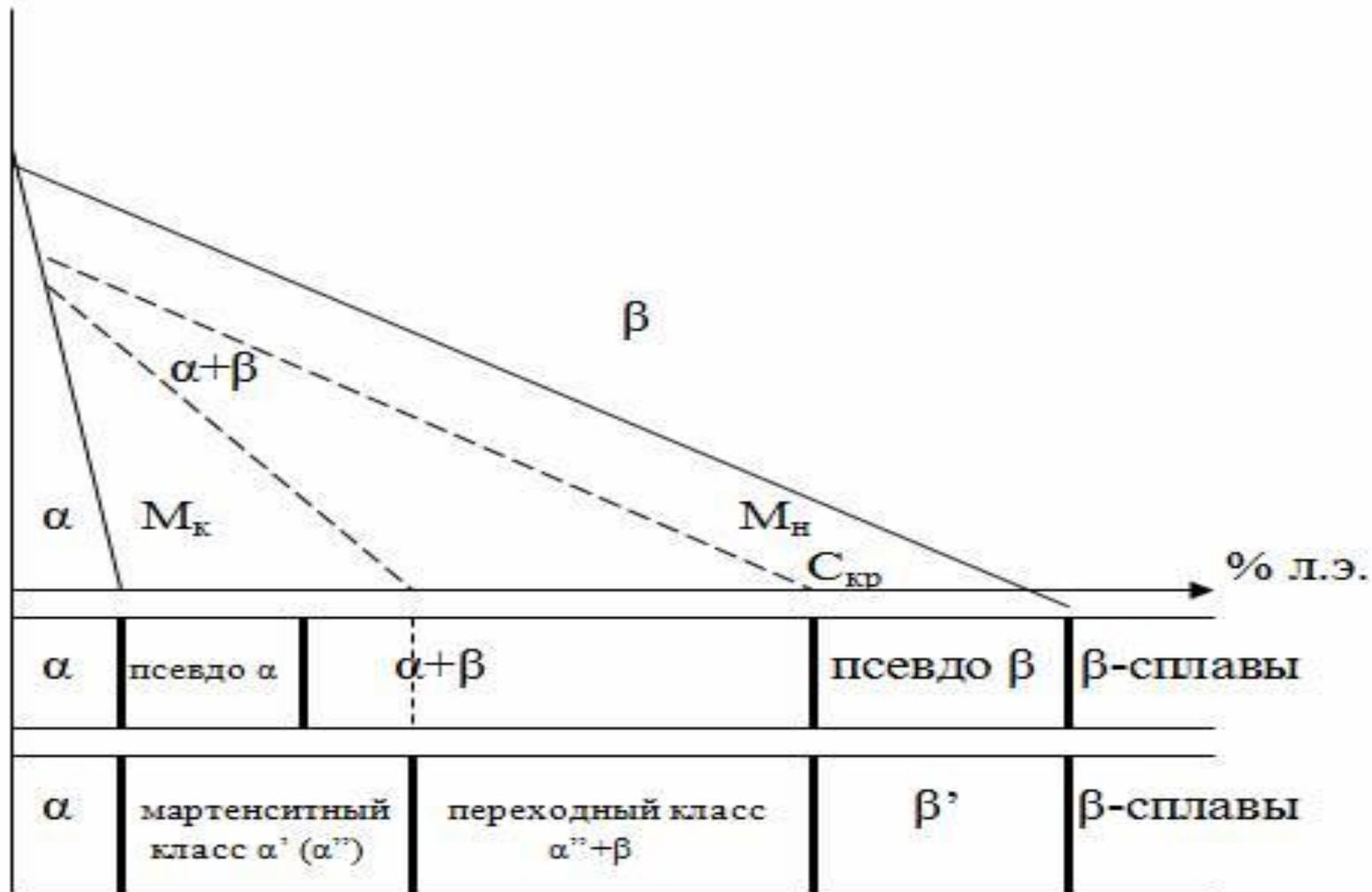


# Маркировка титановых сплавов

- Согласно ГОСТ 10907–91 российские промышленные титановые сплавы обозначают буквами «АТ», «ВТ» или «ОТ», за которыми стоят одна или две цифры, указывающие на порядковый номер сплава.
- Если сплав используется не только как деформируемый, но и как литейный, то обозначение его марки заканчивается буквой «Л» (например, ВТ5Л, ВТ31Л, ВТ9Л и др.).



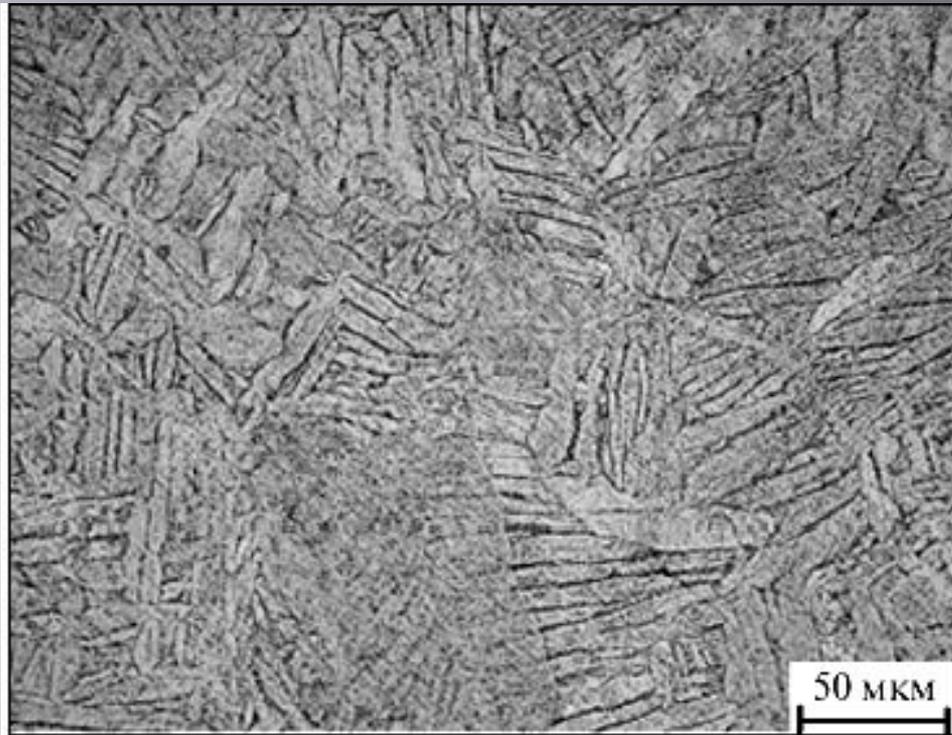
# Классификация титановых сплавов



# Деформируемые титановые $\alpha$ - и псевдо- $\alpha$ -сплавы

- **$\alpha$ -сплавы.** К их числу относятся технический титан, а также сплавы, легированные алюминием и нейтральными упрочнителями — оловом и цирконием.
- Сплавы этого класса отличаются повышенной жаропрочностью, высокой термической стабильностью, отсутствием хладноломкости, хорошей свариваемостью. Эти сплавы однофазны, поэтому не возникает охрупчивания в шве и в околошовной зоне.
- К недостаткам  $\alpha$ -сплавов следует отнести их сравнительно невысокую прочность, они термически не упрочняются.
- Подавляющее большинство титановых сплавов содержит в качестве легирующего элемента алюминий, который повышает прочность и жаропрочность, снижает плотность, уменьшает склонность к

- К  $\alpha$ -сплавам относят технически чистый нелегированный титан марок **BT1-00** и **BT1-0** (сумма примесей не  $> 0,9$  и  $1,7$  % соответственно). Его применяют для изготовления трубопроводов и емкостей для перекачки и хранения агрессивных жидкостей.
- Из  $\alpha$ -сплавов наиболее широко применяют для производства разнообразных полуфабрикатов (листов, штамповок) сплав **BT5-1** (Ti – 5 % Al). Он термически не упрочняется, хорошо сваривается, отличается достаточно высокими механическими свойствами ( $\sigma_B = 800-1000$  МПа;  $\delta = 8$  %; КСУ = 40 Дж/см<sup>2</sup>). Сплав жаропрочен до температур, не превышающих 450 °С.



- **Пластинчатая  
α-фаза в сплаве  
BT5 (Ti + 5 % Al)**

# Псевдо $\alpha$ -сплавы.

- Эти сплавы содержат до 1–2,5%  $\beta$ -стабилизаторов, а также алюминий и нейтральные упрочнители. Поэтому в их структуре в отожженном состоянии присутствует 2–6 об.%  $\beta$ -фазы.
- Небольшое количество  $\beta$ -фазы оказывает положительное влияние на пластичность псевдо  $\alpha$ -сплавов при комнатной, особенно при повышенных температурах. Поэтому эти сплавы более технологичны при обработке давлением по сравнению с  $\alpha$ -сплавами.
- Наиболее широкое применение в промышленности среди псевдо-  $\alpha$ -сплавов получили сплавы **ОТ4-0**, **ОТ4-1** и **ОТ4**.

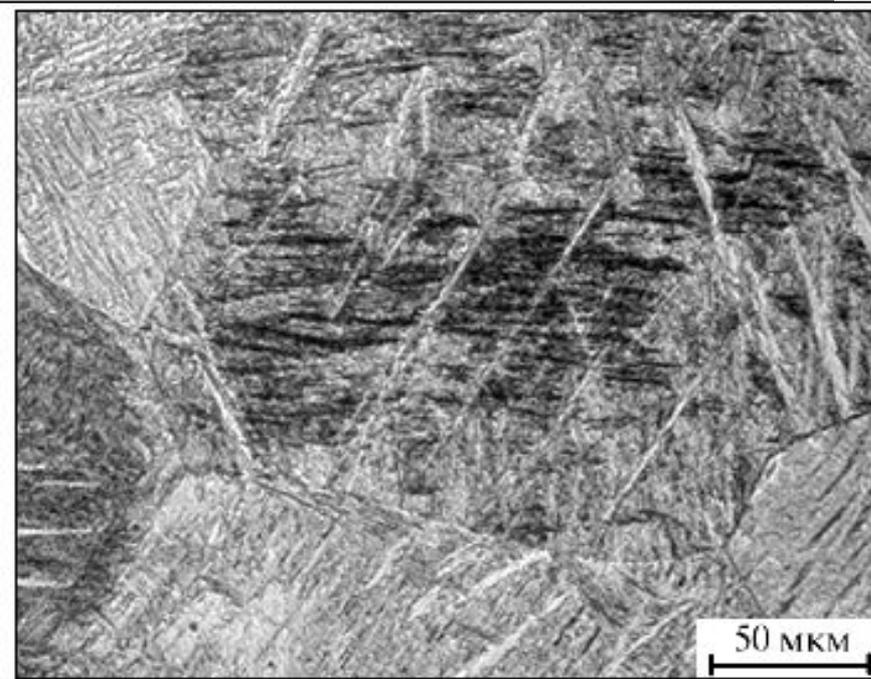
# Деформируемые ( $\alpha+\beta$ )-сплавы

- Двухфазные ( $\alpha+\beta$ )-сплавы условно можно разделить на две группы:
- - сплавы средней (**ВТ6**) и высокой прочности (**ВТ14, ВТ16**), используемые при комнатной и невысоких температурах;
- - жаропрочные сплавы (**ВТ3-1, ВТ8, ВТ9**), используемые при температурах 450–550 °С.

Самым распространённым титановым сплавом является сплав Ti-6Al-4V .

(в российской классификации — **BT6**), содержащий около 6% алюминия и около 4% ванадия.

По соотношению кристаллических фаз он классифицируется как ( $\alpha+\beta$ )-сплав. На его производство идёт до 50% добываемого титана



- **Сплав ВТ6** (международное обозначение Ti-6-4) – это самый универсальный по применению (включая протезы в хирургии) титановый сплав, из которого получают все виды полуфабрикатов.
- Из сплава ВТ6 получают прутки, трубы, профили, поковки, штамповки, плиты, листы. Он сваривается всеми традиционными видами сварки, в том числе диффузионной. При электронно-лучевой сварке прочность сварного шва практически равна прочности основного материала
- Термическое упрочнение сплава ВТ6 состоит из закалки с температур 880–950 °С и старения при 450–550 °С в течение
- 2–8 ч, что обеспечивает повышение прочностных характеристик на (20–30 %) при незначительном падении пластичности.

# Сплав ВТЗ-1

Сплав ВТЗ-1 системы Ti-Al-Mo-Cr-Fe-Si относится к высокопрочным ( $\alpha + \beta$ ) - сплавам мартенситного класса.

Сплав хорошо деформируется в горячем состоянии.

Прочностные свойства сплава можно несколько повысить закалкой при 840-900 °С с последующим старением при 500-620 °С в течение 1-4 ч.

Сплав ВТЗ-1 используется при изготовлении деталей двигателей, работающих длительное время (до 6000 ч и более) при температурах до 400 °С

# Сплавы ВТ8, ВТ9

- Сплавы ВТ8, ВТ9 обеспечивают более высокие прочностные и жаропрочные свойства по сравнению со сплавом ВТ6 за счет высокого содержания алюминия и легированием кремния.
- Максимальная рабочая температура 480<sup>0</sup> С.
- В основном применяется в деталях ГТД (дисках, лопатках компрессора низкого давления, деталях крепления вентилятора).

# Деформируемые $\beta$ - и псевдо $\beta$ -сплавы

- Псевдо  $\beta$ -сплавы относятся к наиболее легированным. Содержание только  $\beta$ -стабилизаторов в них достигает 15–20 %.
- К достоинствам псевдо  $\beta$ -сплавов следует отнести:
  - - сравнительно легкую обрабатываемость давлением
  - - большой эффект термического упрочнения.
  - - высокую прокаливаемость. Сплавы прокаливаются практически при всех сечениях промышленных полуфабрикатов;
  - - более удачное сочетание механических и эксплуатационных свойств: высокая прочность, удовлетворительные пластичность, вязкость разрушения, сопротивление коррозионному растрескиванию;
  - - высокую коррозионную стойкость, особенно при





2010-03-25

Титан считается физиологически инертным, благодаря чему применяется в протезировании как металл, непосредственно контактирующий с тканями организма.

Однако титановая пыль может быть канцерогенной. Как было сказано выше, титан применяется также в стоматологии.

Отличительная черта применения титана заключается не только в прочности, но и способности самого металла срачиваться с костью, что даёт возможность обеспечить

# Литейные титановые сплавы

- Для фасонного литья широко применяют титан и его сплавы: ВТ5Л, ВТ6Л и ВТ9Л, которые по составу практически совпадают с аналогичными деформируемыми сплавами.
- В литейных сплавах допускается большее содержание примесей по сравнению с  
д



## Литейные титановые сплавы

**Маркировка** литых сплавов такая же, как и деформируемых, но в конце маркировки ставят букву **Л**.

В литых сплавах допускается большее содержание примесей, чем в деформируемых.

### Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
	Al	V	Mo	другие			
<b>BT5Л</b>	4,1-6,2	-	-	-	отжиг 800-850°C, охл. на воздухе	700	6
<b>BT20Л</b>	5,5-7,5	0,8-1,8	0,5-2,0	Zr 1,5-2,5	отжиг 700-800°C, охл. на воздухе	930	8
<b>BT6Л</b>	5,0-6,5	3,5-4,5	-	-	закалка от 900-950°C старение 450-550°C	850	5
<b>BT14Л</b>	4,3-6,3	0,9-1,9	3,5-3,8	-	отжиг 740-760°C	880	5

- Технический титан, благодаря исключительно высокому сопротивлению коррозии, в ряде случаев незаменим в химической промышленности и судостроении для изготовления гребных винтов, обшивки морских судов, подводных лодок, торпед и т.д. На титан и его сплавы не налипают ракушки, которые резко повышают сопротивление судна при его движении.
- Титан применяют при изготовлении компрессоров и насосов для перекачки таких агрессивных сред, как серная и соляная кислота и их соли, трубопроводов, запорной арматуры, автоклав, различного рода емкостей, фильтров и т.п.
- Из титана делают теплообменники, работающие в коррозионно активных средах, например в азотной кислоте.

- Более 60-65 % добываемого в мире титана используется в строительстве летательных аппаратов и ракет,
- 15% — в химическом машиностроении,
- 10% — в энергетике,
- 8% — в строительстве судов и для опреснителей воды.
- В ракетно- и авиастроении – из него изготавливают обшивку, детали двигателей, элементы крепления, части шасси.

- Белый диоксид титана ( $TiO_2$ ) используется как пищевая добавка E171, а также в красках (например, титановые белила).
- Карбид титана, диборид титана, карбонитрид титана — важные компоненты сверхтвёрдых материалов для обработки металлов.
- Нитрид титана применяется для покрытия инструментов, куполов церквей и при производстве бижутерии, так как имеет цвет, похожий на золото.
- Цена титана составляет \$5,9-6,0 за килограмм, в зависимости от чистоты

# Магний и его сплавы

Mg

A close-up photograph of the periodic table focusing on the elements Magnesium (Mg) and Scandium (Sc). The Magnesium entry includes its atomic number 12, the symbol Mg, the name Magnesium, its atomic weight 24.3050, and its electron configuration [Ne]3s<sup>2</sup> with a first ionization energy of 7.6462 eV. The Scandium entry includes its atomic number 21, the symbol Sc, the name Scandium, and its atomic weight 44.955910. The table also shows the group label IIIB and the block label 3. Other elements like Calcium (Ca) and Sodium (Na) are partially visible.

12 <b>Mg</b> Magnesium 24.3050 [Ne]3s <sup>2</sup> 7.6462	21 <b>Sc</b> Scandium 44.955910
--	--



- **Магний** – металл серебристо-белого цвета; удельный вес 1,74; температура плавления 650°; магний кристаллизуется в гексагональной системе.
- Чистый магний достаточно стоек в воздухе (почти не уступает алюминию). Раствор поваренной соли, морская вода, кислоты (кроме соляной) быстро разрушают магний; по отношению к щелочам магний стоек.
- При сгорании магний дает яркий белый свет; магний в 4 раза легче железа, поэтому его сплавы называют сверхлёгкими.

# Магний и магниевые сплавы

## Магний:

- температура плавления -  $650^{\circ}\text{C}$ ;
- плотность при  $20^{\circ}\text{C}$  -  $1,740 \text{ г/см}^3$ ;
- 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:

**Мг99** (99,96 % Mg), **Мг95** (99,95 % Mg),

**Мг90** (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.

# Маркировка

- Отечественная промышленность маркирует магниевые сплавы на основе двухбуквенной маркировки с дополнительными цифрами:
- литейные – МЛ1 – МЛ20;
- деформируемые – МА1 – МА19;
- жаропрочные -- ВМЛ1 – ВМЛ2.

# Классификация и характеристика магниевых сплавов

- ❑ Сплавы магния характеризуются низкой плотностью, высокой удельной прочностью, способностью хорошо поглощать вибрации.
- ❑ Прочность сплавов при соответствующем легировании и термической обработке может достигать **350-400 МПа.**
- ❑ Достоинством магниевых сплавов является их хорошая обрабатываемость резанием и свариваемость.
- ❑ Магниевые сплавы обладают высокой пластичностью в горячем состоянии и хорошо деформируются при нагреве.

- **Недостатками магниевых сплавов являются** плохие литейные свойства и склонность к газонасыщению, окислению и воспламенению при литье.
- У сплавов магния меньшая коррозионная стойкость, чем у алюминиевых сплавов, трудности при выплавке и литье и необходимость нагрева при обработке давлением.
- С другой стороны, такие элементы, как марганец, цирконий, цинк, титан улучшают коррозионную стойкость магния: при добавлении к магниевому сплаву нескольких десятых процентов титана коррозионная стойкость увеличивается в 3 раза.

- Свойства магния значительно улучшаются при легировании.
- Основными упрочняющими легирующими элементами в магниевых сплавах являются **алюминий и цинк**.
- **Марганец** слабо влияет на прочностные свойства. Его вводят главным образом для повышения коррозионной стойкости и измельчения зерна.

- **По плотности** магниевые сплавы разбиваются на **легкие и сверхлегкие**.
- К сверхлегким относятся сплавы, легированные *литием* (МА21, МА18), Плотность сплава МА18 (аналог американского сплава LA91) составляет 1,3-1,65 г/см<sup>3</sup>.
- Магниеволитиевые сплавы обладают повышенной пластичностью и ударной вязкостью и могут обрабатываться давлением в холодном состоянии. Эти сплавы хорошо свариваются и имеют удовлетворительную коррозионную стойкость.

- **По возможным температурам эксплуатации** магниевые сплавы подразделяются на следующие группы:
- - для работы при обычных температурах (сплавы общего назначения);
- - жаропрочные (для длительной эксплуатации при температурах до 200°C);
- - высокожаропрочные (для длительной эксплуатации при температурах до 250 – 300°C);
- - для эксплуатации при криогенных температурах.
- **Различают термические упрочняемые и термически не упрочняемые сплавы.**

# Термообработка

- **Отжиг**
- - диффузионный отжиг для выравнивания внутренней структуры и химического состава в зернах металла;
- - рекристаллизационный отжиг для снятия механических напряжений после обработки давлением;

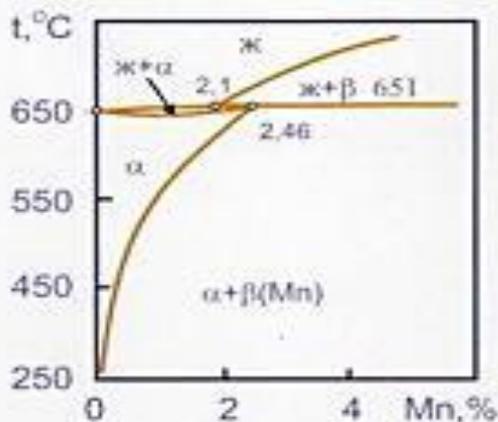
- Для повышения прочностных свойств магниевые сплавы подвергают закалке и старению. Из-за низкой скорости диффузии закалку обычно проводят с охлаждением на воздухе.
- После закалки при температуре **350-410 °С** применяют искусственное старение при сравнительно высоких температурах (до **200 - 250 °С**) и более длительных выдержках (**16 - 24 ч**).

- Магниевые детали очень хорошо поглощают **вибрацию**. Их удельная вибрационная прочность почти в 100 раз больше, чем у лучших алюминиевых сплавов, и в 20 раз больше, чем у легированной стали. Это очень важное свойство при создании разнообразных транспортных средств.
- Магниевые сплавы превосходят сталь и алюминий по **удельной жесткости** и поэтому применяются для изготовления деталей, подвергающихся изгибающим нагрузкам (продольным и поперечным).
- Магниевые сплавы **немагнитны**, совершенно не дают искры при ударах и трении, легко обрабатываются резанием (в 6 – 7 раз легче, чем сталь, в 2 – 2,5 раза – чем алюминий).
- Магний и его сплавы обладают очень **высокой хладостойкостью**.

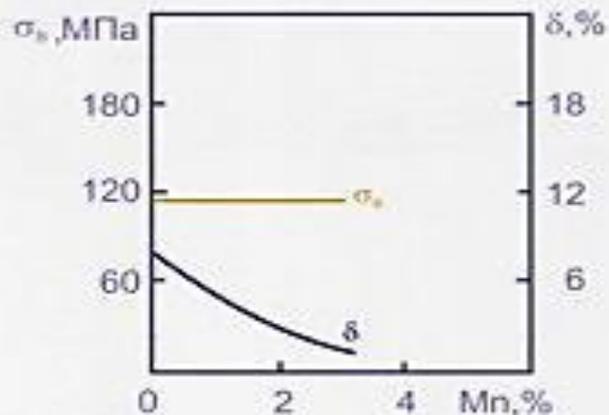
# Деформируемые магниевые сплавы

## 1. Сплавы системы Mg-Mn

Диаграмма состояний системы Mg-Mn



Влияние Mn на механические свойства



Состав и свойства сплавов

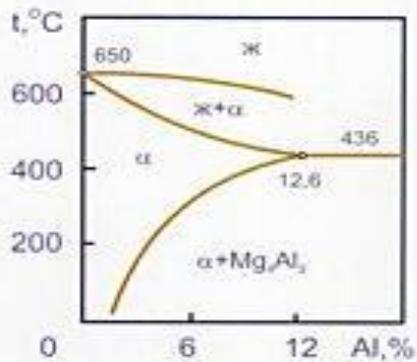
Марка сплава	Содержание, %				σ <sub>в</sub> , МПа	δ, %
	Al	Mn	Zn	другие		
МА1	-	1,3-2,5	-	-	-	-
МА8	-	1,3-2,2	-	Сe 0,15-0,35	250	16

Сплав МА1, содержащий около 2 % Мн без других компонентов, характеризуется высокой пластичностью и применяется как листовой материал.

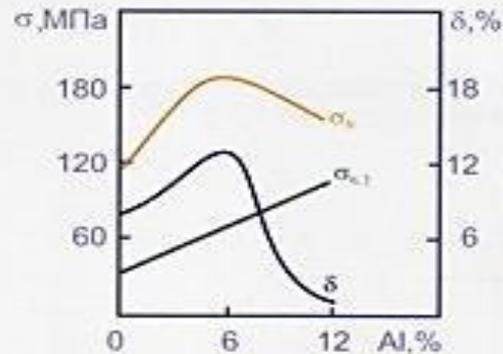
# Деформируемые магниевые сплавы

## 2. Сплавы системы Mg-Al-Zn

Диаграмма состояний системы Mg-Al



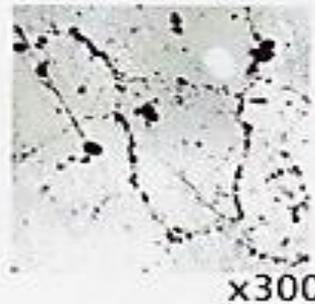
Влияние Al на механические свойства



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %			σ <sub>0.2</sub> , МПа	δ, %
	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

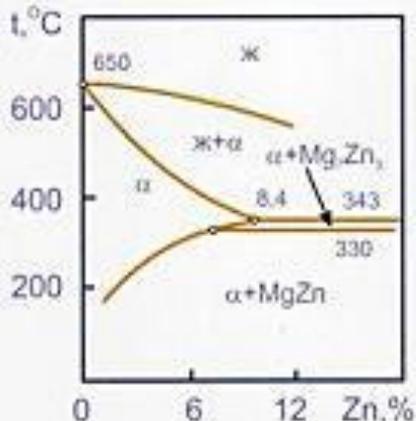


Наиболее прочными деформируемыми сплавами являются сплавы магния с алюминием (MA5) и магния с цинком, дополнительно легированные цирконием

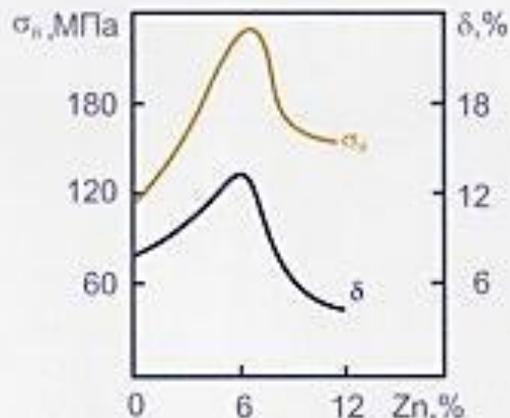
# Деформируемые магниевые сплавы

## 3. Сплавы системы Mg-Zn-Zr

Диаграмма состояний системы Mg-Zn



Влияние Zn на механические свойства



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	σв, МПа	δ, %
	Al	Mn	Zn	другие			
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

Алюминий и цинк являются эффективными упрочнителями твердого раствора. Однако их концентрация не должна превышать 10 и 6 % соответственно. При большем содержании этих элементов пластичность резко снижается.

Цирконий измельчает зерно, редкоземельные элементы одновременно повышают и прочность, и пластичность.

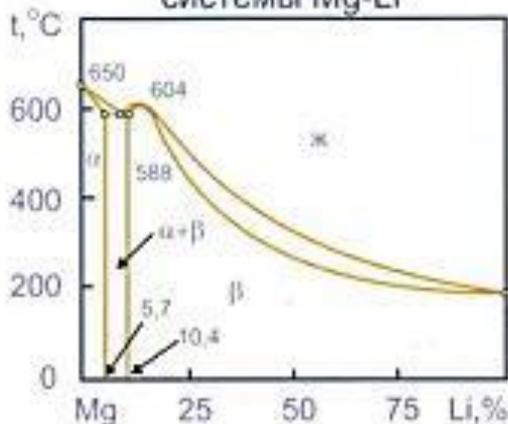
Временное сопротивление высокопрочных, сплавов после термообработки составляет около **350 МПа**.

# Деформируемые магниевые сплавы

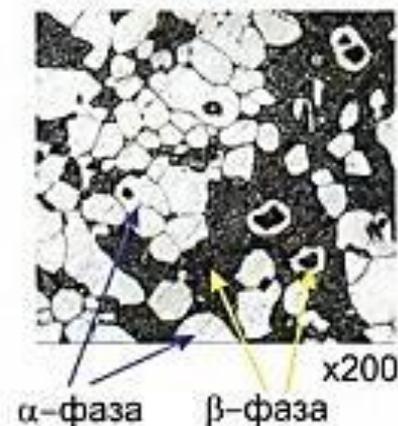
## 4. Сплавы системы Mg-Li

Легирование литием позволяет получить сверхлегкие сплавы с плотностью 1,5 - 1,6 г/см<sup>3</sup>

Диаграмма состояний системы Mg-Li



Структура двухфазного сплава МА21



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta$ , %
	Al	Mn	Zn	другие			
<b>МА18</b>	0,5-1,0	0,1 - 0,4	2,0 - 2,5	Se 0,15-0,25 Li 10 - 11,5 Y 7,8 - 9,0	отжиг 150 - 175°C, 6-16ч	190	18
<b>МА21</b>	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°C, 6-16ч	240	16

Магниеволитиевые сплавы обладают повышенной пластичностью и ударной вязкостью и могут обрабатываться давлением в холодном состоянии. Эти сплавы хорошо свариваются и имеют удовлетворительную коррозионную стойкость.

# Литейные магниевые сплавы

Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %					$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %
	Al	Mn	Zn	другие	Термическая обработка		
	<b>Система Mg - Al - Zn</b>						
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
	<b>Система Mg - Zn - Zr</b>						
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
	<b>Система Mg - PЗМ - Zr</b>						
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

По сравнению с деформируемыми литые сплавы позволяют существенно экономить металл.

Высокая точность размеров и хорошее качество поверхности позволяют практически исключить операции механической обработки.

Недостатком литейных магниевых сплавов являются более низкие механические свойства из-за грубозернистой структуры и усадочной пористости

# Применение магниевых сплавов

- Благодаря малой плотности и высокой удельной прочности магниевые сплавы широко применяются в авиастроении.
- Из них изготавливают корпуса приборов, насосов, фонари и двери кабин. Фюзеляжи вертолетов фирмы Сикорского (США) почти полностью изготовлены из магниевых сплавов.
- В ракетной технике магниевые сплавы идут на изготовление корпусов ракет, обтекателей, стабилизаторов, топливных баков.

■ Теплоемкость магния примерно в 2,5 раза больше, чем у стали. Поглотив одинаковое количество тепла, он нагреется в 2,5 раза меньше. В кратковременном полете магниевые сплавы не успевают перегреться, несмотря на низкую температуру плавления.

■ В кратковременно работающих ракетах типа “воздух – воздух” и управляемых снарядах магниевые сплавы составляют основную массу конструкции. Применение магниевых сплавов позволило снизить массу ракет на **20-30 %**.

Картер коробки передач	Авто3А3-Daewoo	Таврия, Славута, Daewoo-Sens
	Volvo Motors	LCP
	Porsche AG	911 Serie
	Volkswagen	Volkswagen Passat
	Audi	A4, A6
	Mercedes-Bens	
Поддон картера двигателя	Chrysler	Jeep
	Alfa Romeo	GTV
	GM	Oldsmobile
	McLaren Motors	F1-V12
Блок цилиндров (без гильз и крышек коренных подшипников)	GM	Pontiac Gran AM
		Corvette
Впускной коллектор	GM	Двигатель V8 North Star
	Chrysler	
Система подачи воздуха	BMW	Двигатель V8
Крепление тяг рулевой трапеции	GM	LH Midsize
Корпус масляного насоса	McLaren Motors	F1-V12
Кожух цепи привода распредвала	Porsche AG	911 Serie
Корпус механизма переключения передач	Авто3А3-Daewoo	Таврия, Славута, Daewoo-Sens
Кронштейны для крепления компрессора системы кондиционирования, генератора и насоса усилителя рулевого управления	Chrysler	
Внутренние панели двери	Volkswagen	Volkswagen Lupo



## INTRODUCES MAGNESIUM SHEET METAL

General Motors' innovative process for making lightweight, corrosion resistant, magnesium sheet metal structural panels is expected to help make vehicles more fuel efficient.

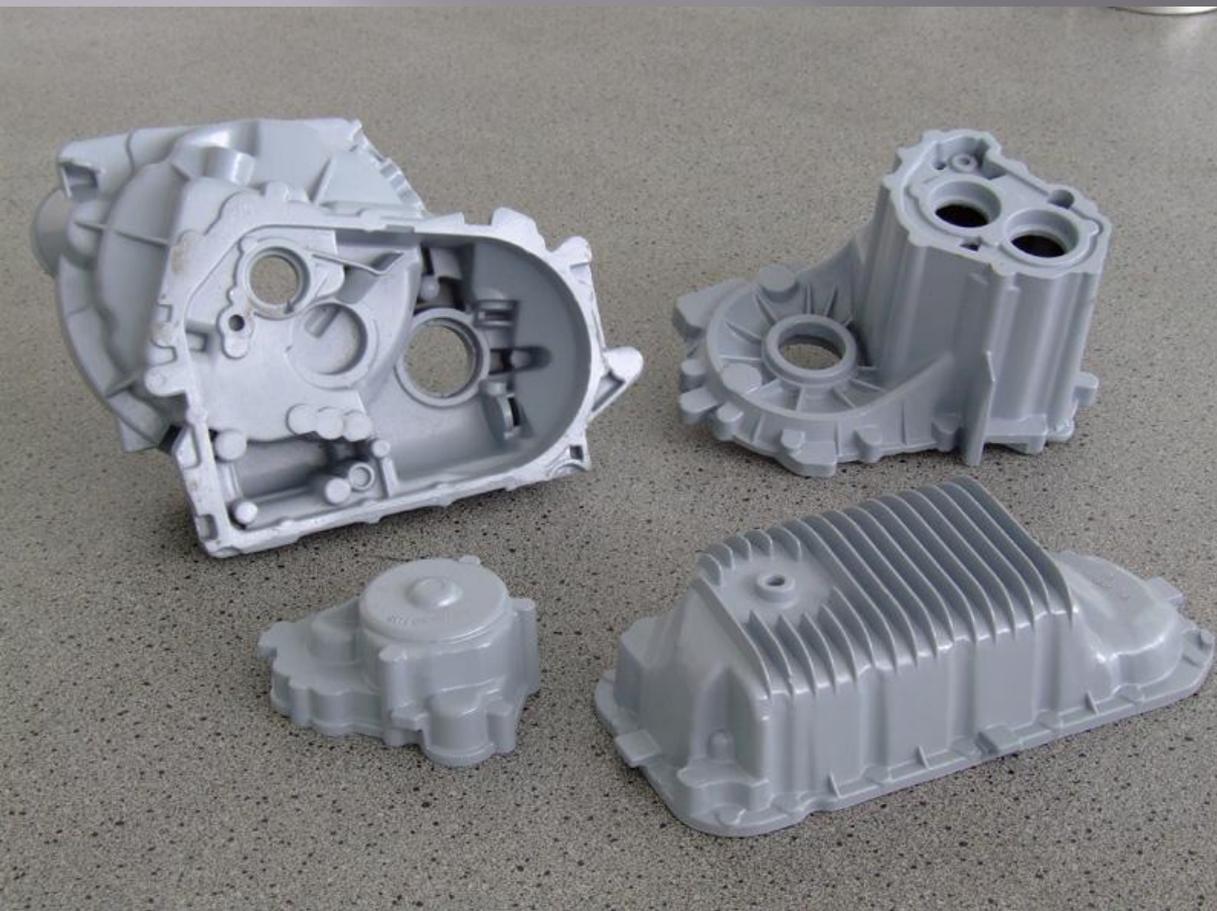
**75%** lighter  
than steel

**33%** lighter  
than aluminum



*Trunk lid inner panel is the first use of GM process for magnesium sheet metal*





Магниеые сплавы находят применение в транспортном машиностроении для изготовления картеров двигателей и коробок передач автомобилей.



[onyougo.com](http://onyougo.com)



Магниевые сплавы применяют в конструкциях переносных ручных и механизированных инструментов и машин (сверлильные и шлифовальные машины, пилы для лесной промышленности, газонные косилки, бытовая техника и др.).



# Медь и медные сплавы

## Медь:

- температура плавления - **1083°С**;
- плотность при 20°С - **8,96 г/см<sup>3</sup>**;
- кристаллическая решетка -  
гранецентрированная кубическая.

## Механические свойства меди высокой чистоты:

$$\sigma_{в} = 220 \text{ МПа}, \delta = 50 \text{ \%};$$

## Маркировка меди:

**M00** (99,99 % Cu), **M0** (99,97 % Cu), **M1** (99,9% Cu),  
**M2** (99,7 % Cu), **M3** (99,5 % Cu).

## Основные группы медных сплавов:

**Латуни** - сплавы на основе меди, в которых главным легирующим элементом является **цинк**.

**Бронзы** - сплавы на основе меди, в которых основной добавкой может быть любой элемент, кроме **цинка и никеля**.

**Медноникелевые сплавы** - это сплавы на основе меди, у которых основной легирующий элемент - **никель**.

Медные сплавы подразделяют на **деформируемые** и **литейные**.

Чистая медь обладает высокой электрической проводимостью (на втором месте после серебра), пластичностью, коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, а также в ряде химических сред. Медь принято считать эталоном электрической проводимости и теплопроводности по сравнению с другими металлами. Характеристики этих свойств меди принимаются за 100 %, в то время как у алюминия, магния и железа они составляют соответственно 60, 40 и 17 % от соответствующих свойств меди.

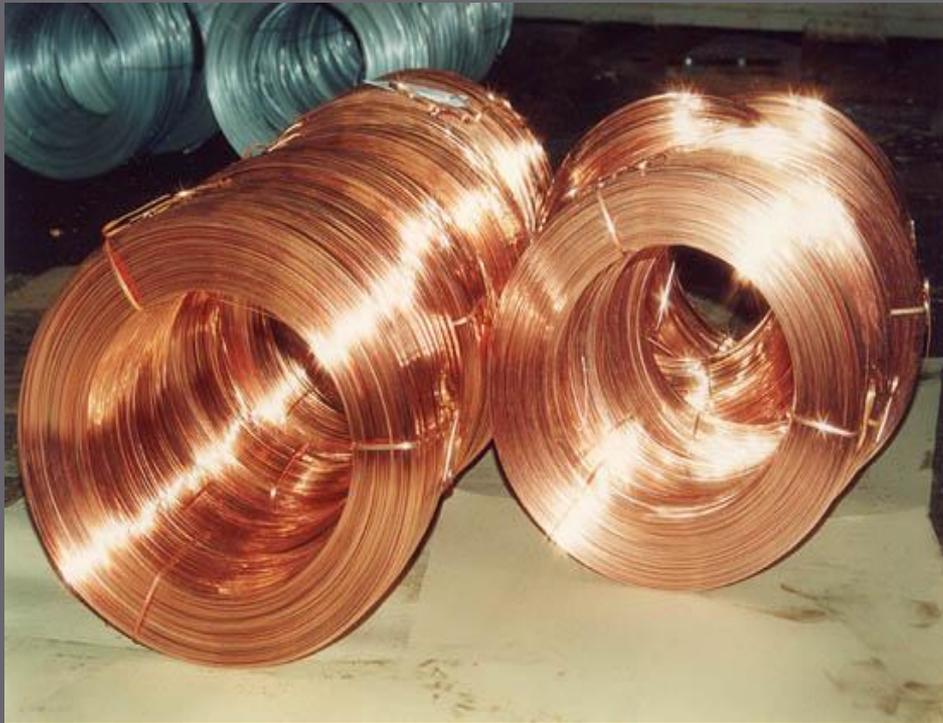
Механические свойства меди в литом состоянии:  $\sigma_B = 160$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 35$  МПа,  $\delta = 25$  %;

в горячедеформированном:  $\sigma_B = 250$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 95$  МПа,  $\delta = 50$  %.

Из-за низких значений предела текучести и высокой стоимости чистая медь как конструкционный материал не применяется



# Медь М1, М2, М3



# Латуни

**Латуни** подразделяются по химическому составу на **двойные** и **многокомпонентные**, а по структуре на однофазные ( $\alpha$ -латуни) и двухфазные ( $\beta$ -латуни).

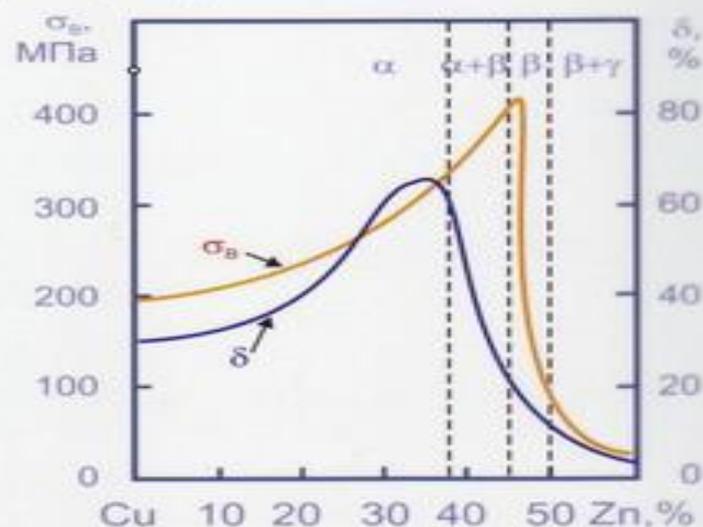
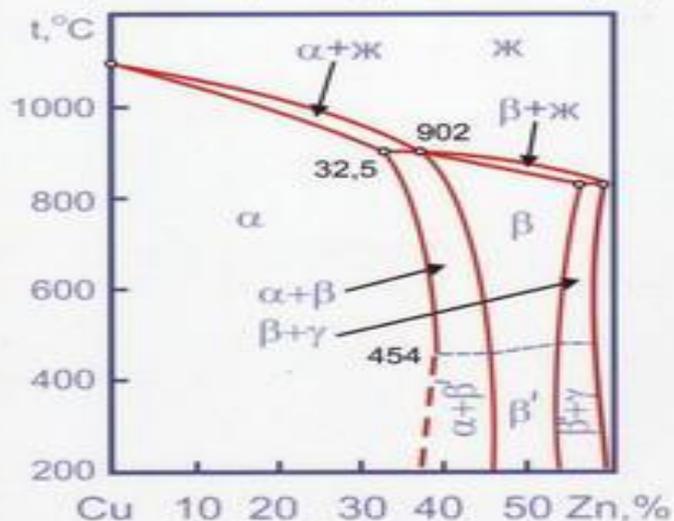
**Маркировка:** Латуни обозначаются буквой **Л**. У двойных латуней за буквой **Л** идет **число**, указывающее содержание меди в процентах.

В марке **многокомпонентной** латуни после буквы **Л** ставят буквенное обозначение легирующих элементов, а затем **цифры**, указывающие содержание **меди** и **легирующих элементов**.

(латунь марки **Л90** содержит 90% Cu и 10% Zn; латунь **ЛС59-1** содержит 59% Cu, 1%Pb и 40% Zn).

В марках **литейных** латуней после буквы **Л** указываются буквы, обозначающие **легирующие элементы**, включая цинк.

За буквами следуют цифры, указывающие содержание легирующих элементов. Их обозначение: алюминий - **А**, никель - **Н**, олово - **О**, свинец - **С**; железо - **Ж**; кремний - **К**; марганец - **Мц**; цинк - **Ц**; фосфор - **Ф**, бериллий - **Б**.



## Состав и механические свойства латуней

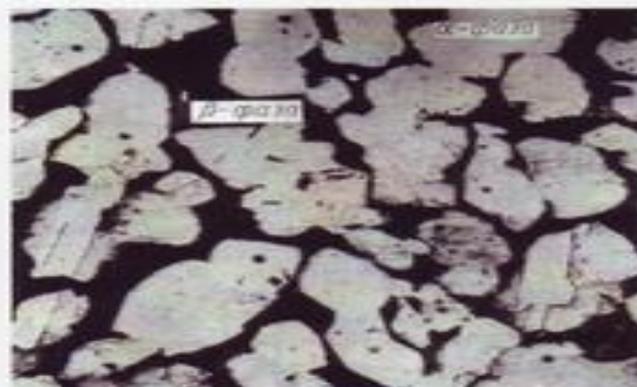
Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	Структура
	Cu	другие элементы			
	<b>Деформируемые латуни</b>				
Л90	88,0 - 91,0	-	260	44	$\alpha$
Л68	67,0 - 70,0	-	330	56	$\alpha$
Л63	62,0 - 65,0	-	360	49	$\alpha$
ЛС59-1	57,0 - 60,0	Pb 0,8 - 1,9	420	40	$\alpha+\beta$
ЛЖМц59-1-1	57,0 - 60,0	Fe 0,6 - 1,2 Mn 0,5 - 0,8	450	50	$\alpha+\beta$
	<b>Литейные латуни</b>				
ЛЦ40С	57,0 - 61,0	Pb 0,8 - 2,0	300	30	
ЛЦ16К4	78,0 - 81,0	Si 3,0 - 4,0	380	15	
ЛЦ23А6ЖЗМц2	64,0 - 68,0	Al 4,0 - 7,0 Fe 2,0 - 4,0 Mn 1,5 - 3,0	650	7	

Структура однофазной латуни



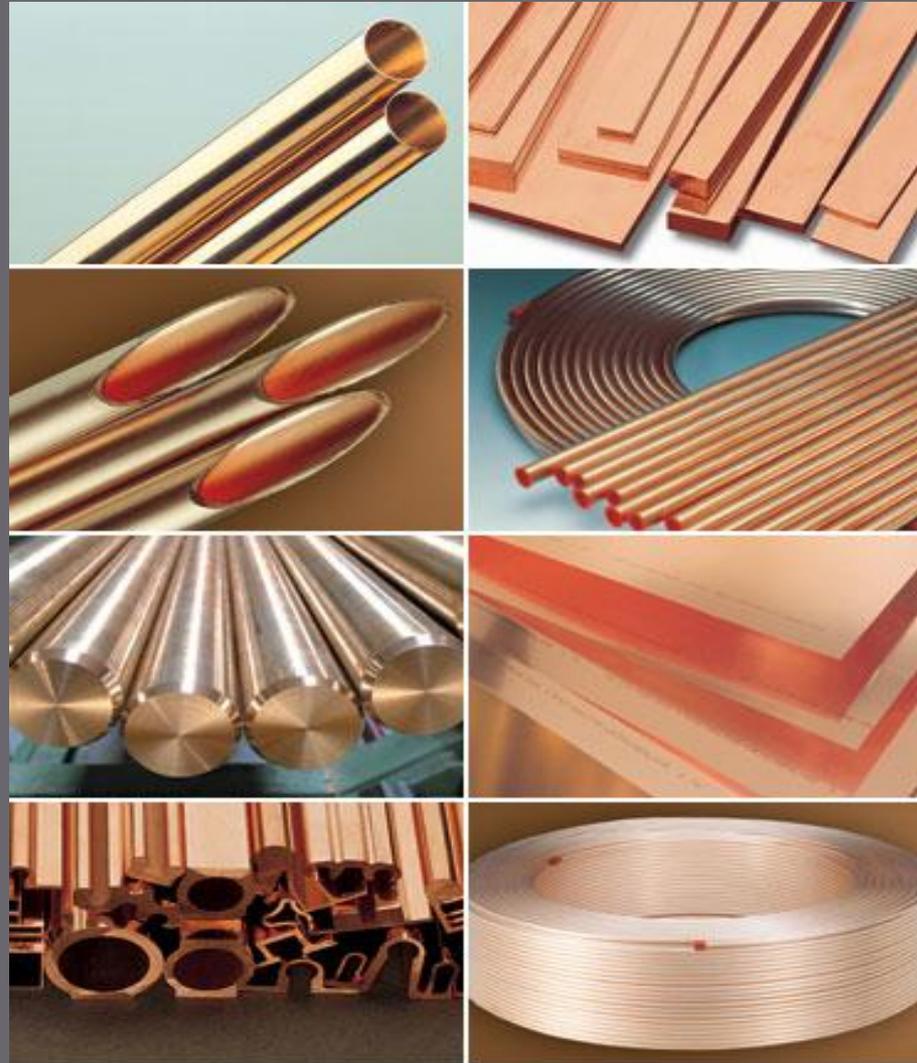
x200

Структура двухфазной латуни

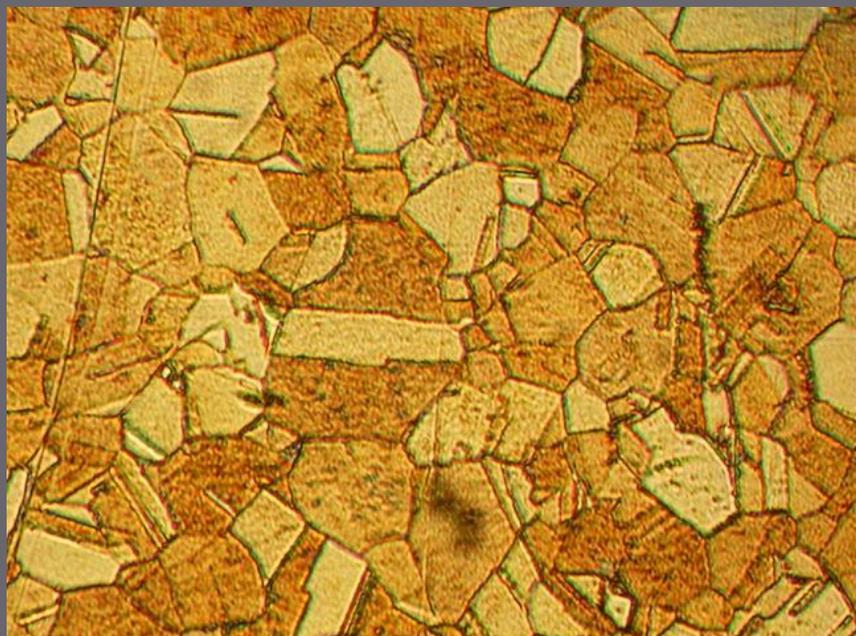


x200

# Латунь



Л68



ЛС59-1



- Латунь, содержащая до 10 % Zn (Л90), так называемый томпак, имеет цвет золота и применяется для изготовления украшений.
- 
- $(\alpha + \beta)$ -латуни легируют дополнительно **алюминием, железом, никелем** для увеличения прочности, а также для улучшения обрабатываемости на станках.
- Высокими **коррозионными свойствами** обладают латуни, легированные оловом (Л070-1, Л062-1) и называемые морскими латунями.
- Наибольшей прочностью обладают латуни, дополнительно легированные алюминием, железом, марганцем.

# Бронзы

- Двойные или многокомпонентные сплавы меди с оловом, алюминием, свинцом, бериллием, кремнием, хромом и другими элементами, среди которых цинк не является основным, называются бронзами.
- По главному легирующему элементу различают бронзы оловянные, свинцовые, кремниевые и т.д.

# Бронзы

Бронзы обозначаются буквами **Бр**, после чего следует буквенное обозначение легирующих элементов в порядке убывания их концентрации; в конце марки указываются средние концентрации соответствующих элементов.

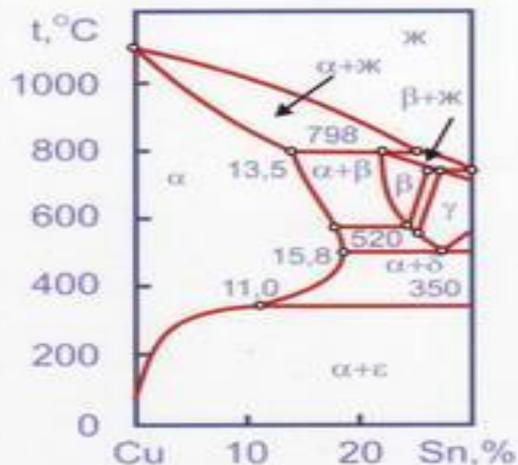
( Бронза **БрАЖ 9-4** содержит 9% **Al** и 4% **Fe**)

В марках литейных бронз содержание компонентов ставится сразу после буквы, обозначающей его название.

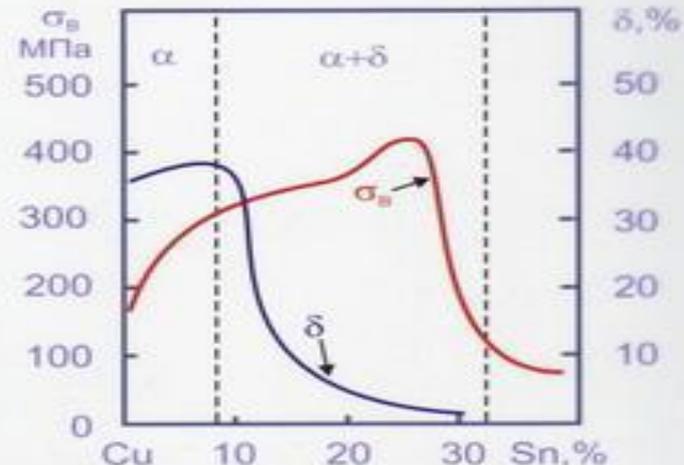
(Бронза **БрО5Ц5С5** содержит 5% **Sn**, 5%**Zn** и 5%**Pb**)

## Оловянные бронзы

Диаграмма состояний  
Cu-Sn



Влияние олова на свойства  
сплавов



# Оловянные бронзы

## Состав и свойства сплавов

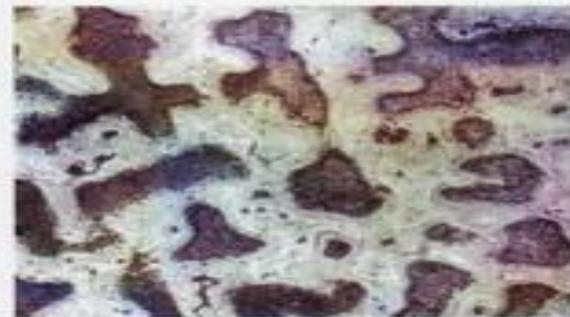
Марка сплава	Содержание, %				$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %
	Sn	Pb	Zn	другие		
<b>Деформируемые бронзы</b>						
БрОФ6,5-0,15	6,0-7,0	-	-	P 0,1-0,25	300	38
БрОФ6,5-0,4	6,0-7,0	-	-	P 0,26-0,40	400	65
БрОЦ4-3	3,5-4,0	-	2,7-3,3	-	350	40
БрОЦС4-4-2,5	3,0-5,0	1,5-3,5	3,0-5,0	-	325	40
<b>Литейные бронзы</b>						
БрО10Ф1	9,0-11,0	-	-	P 0,4-1,1	220	3
БрО5Ц5С5	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	-	180	4
БрО3Ц7С5Н1	3,5-4,0	3,0-6,0	6,0-9,5	Ni 0,5-2,0	210	5

Структура деформированной бронзы с 5 % Sn после рекристаллизации

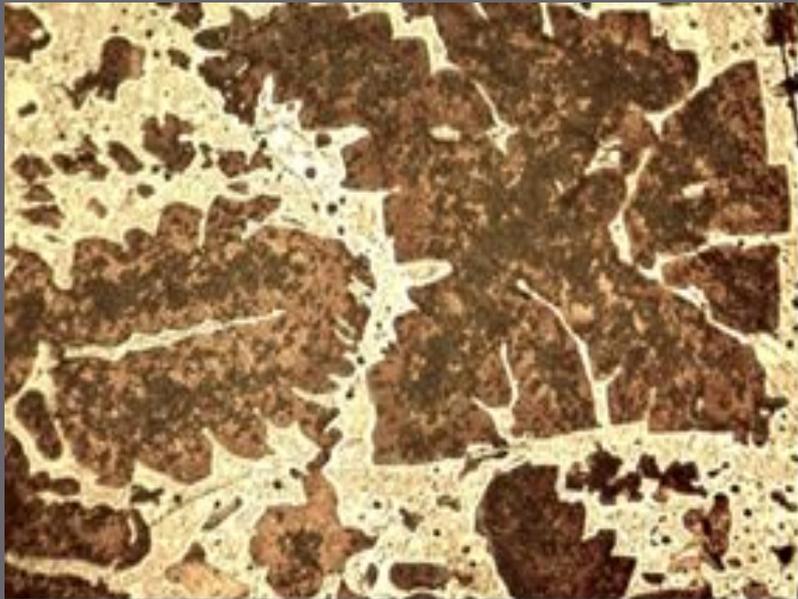


x300

Структура литой бронзы с 10 % Sn



x250



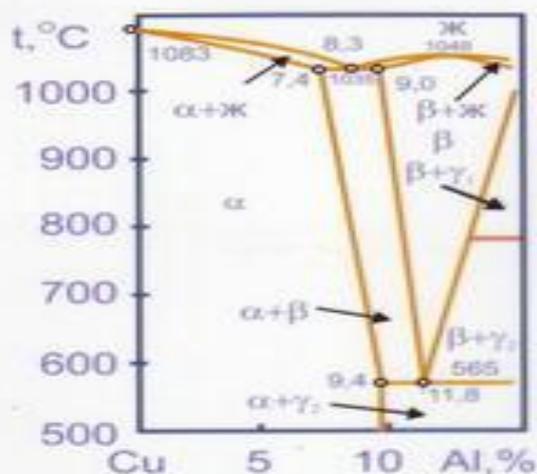
# Оловянистая бронза



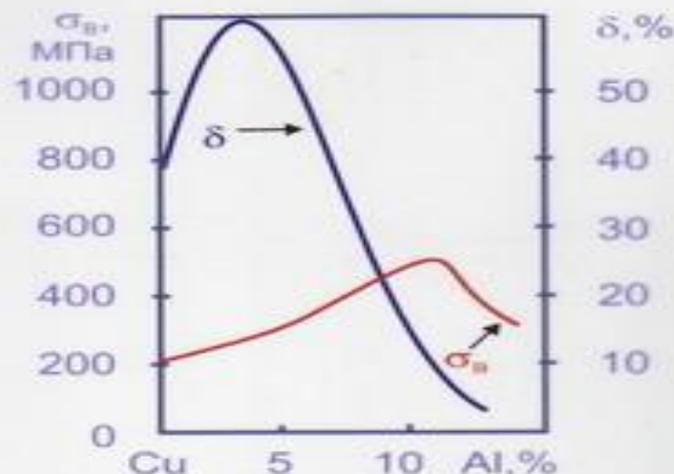
- Алюминиевые бронзы могут подвергаться термической обработке - улучшению.
- При нагреве до температуры около 900 °С они приобретают однофазное строение  $\alpha$  - твердого раствора, который в результате закалки переходит в игольчатую структуру, подобную мартенситной.
- Отпуск позволяет в широких пределах менять свойства алюминиевых бронз

# Алюминиевые бронзы

Диаграмма состояний  
Cu-Al



Влияние алюминия на свойства  
сплавов



Состав и механические свойства бронз

Марка сплава	Содержание, %			$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	Al	Mn	Fe		
<b>Деформируемые бронзы</b>					
БрАЖ9-4	8,0-10,0	-	2,0-4,0	550	40
БрАЖМц10-5-1,5	9,0-11,0	1,0-2,0	2,0-4,0	600	20
<b>Литейные бронзы</b>					
БрА9ЖЗЛ	8,0-10,5	-	2,0-4,0	400	10
БрА10ЖЗМц2	9,0-11,0	1,0-3,0	2,0-4,0	400	10

# БРАЖ 9-1



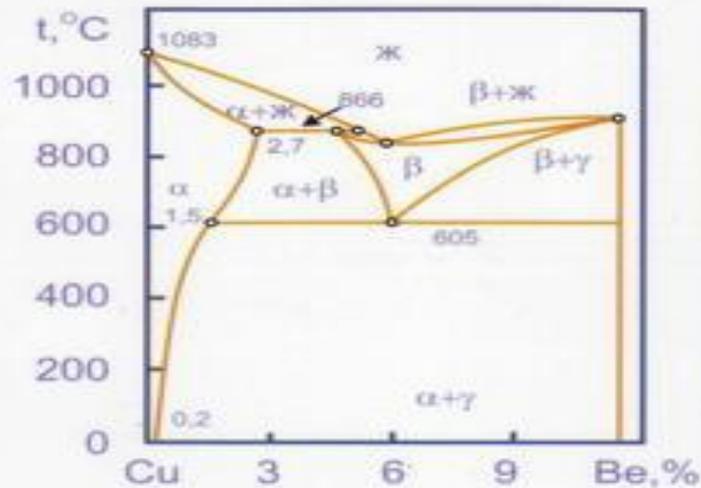
Алюминиевые бронзы применяют для изготовления нагруженных деталей, работающих в тяжелых условиях повышенного нагрева, износа и коррозионного воздействия среды. Из них изготавливают фрикционные шестерни, зубчатые колеса, втулки, краны, детали водяных и паровых турбин



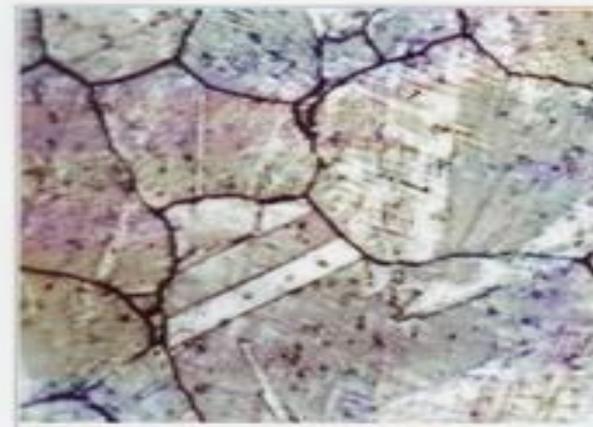
Однофазные алюминиевые бронзы (БрА 5) характеризуются высокой пластичностью, их используют для глубокой штамповки

# Бериллиевые бронзы

Диаграмма состояний  
Cu-Be



Структура бронзы БрБ2



x800

Состав и свойства бериллиевых бронз

Марка сплава	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{в1}$ , МПа	$\delta$ , %
	Be	Ni	Ti			
<b>БрБ2</b>	1,9-2,2	0,2-0,5	-	Закалка от 760-780°C старение 320-350°C 2-5 часов	1150	4
<b>БрБНТ1,7</b>	1,6-1,85	0,2-0,4	0,1-0,25	Закалка от 760-780°C старение 320-350°C 2-5 часов	1000	5

- После закалки, холодной пластической деформации с обжатием 30 % и старения прочность возрастает до  $\sigma_B = 1400$  МПа при  $\delta = 2\%$ .
- Благодаря более высокой прочности и пределу упругости по сравнению с другими медными сплавами бериллиевые бронзы (БрБ2) находят применение для изготовления пружин, мембран, пружинящих контактов.
- Инструменты из бериллиевой бронзы не дают искр, поэтому их применяют в производстве взрывчатых веществ.
- Бериллиевые бронзы хорошо сопротивляются коррозии, они технологичны при сварке и обработке резанием. В связи с высокой сопротивляемостью истиранию они используются для изготовления деталей, работающих на износ

## ■ Свинцовая бронза

- Свинец практически нерастворим в меди. После затвердевания сплав состоит из кристаллов меди, перемежающихся включениями свинца. Благодаря такой структуре бронза БрСЗО имеет высокие антифрикционные свойства, что позволяет ее использовать взамен оловянных бронз для подшипников скольжения. Высокая теплопроводность бронзы БрСЗО позволяет эффективно отводить тепло из зоны трения.
- Свинцовая бронза имеет невысокие механические свойства ( $\sigma_{\text{в}} = 70 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 4 \%$ ). Для повышения надежности вкладышей подшипников тонкий слой бронзы наплавливают на основу из стальной ленты.

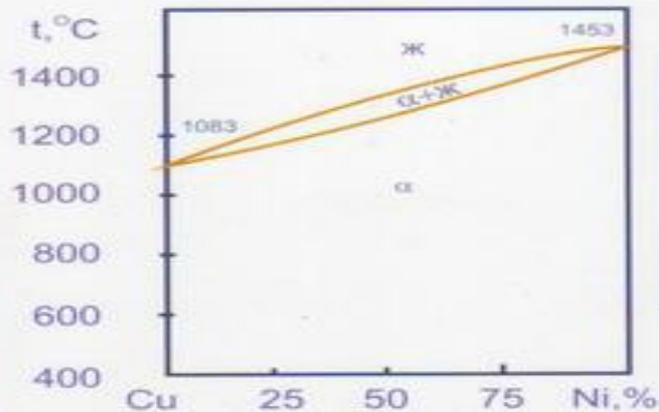
Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
	Pb	Ni		
БрС30	27-33	-	60	4
БрСН60-2,5	57-63	2,25-2,75	30	5



x250

# Медноникелевые сплавы

Диаграмма состояний  
Cu - Ni



Состав и свойства сплавов

Марка сплава	Содержание, %		$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %
	Ni+Co	Zn		
<b>МН19</b> мельхиор	18-20	-	400	35
<b>МНЦ15-20</b> нейзильбер	13,5 - 16,5	18 - 22	415	40

## Медно-никелевые сплавы

### Мельхиор

Мельхиор - однофазный сплав, представляющий собой твёрдый раствор, хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии, после отжига имеет предел прочности около 400 Мн/м<sup>2</sup> (40 кгс/мм<sup>2</sup>). Наиболее ценное свойство Мельхиора – высокая стойкость против коррозии в воздушной атмосфере, пресной и морской воде. Увеличенное содержание никеля, а также добавки железа и марганца обеспечивают повышенную коррозионную и кавитационную стойкость, особенно в морской воде и в атмосфере водяного пара.

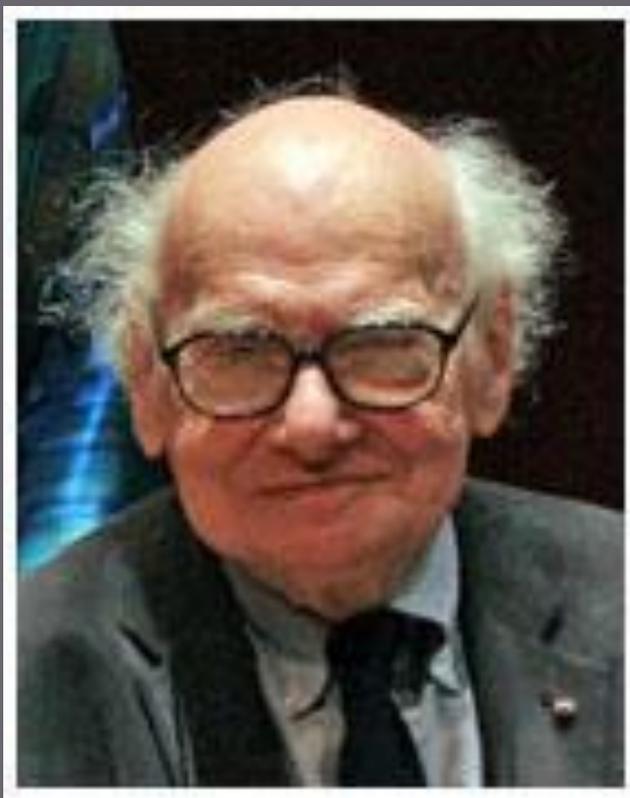
### Нейзильбер

Нейзильбер - сплав меди с 5 – 35% Ni и 13 – 45% Zn. При повышенном содержании никеля имеет красивый белый цвет с зеленоватым или синеватым отливом и высокую стойкость против коррозии.



# Подшипниковые сплавы (баббиты)

И. Баббит (I. Vabbitt, США)  
1839 г.



# Подшипники скольжения

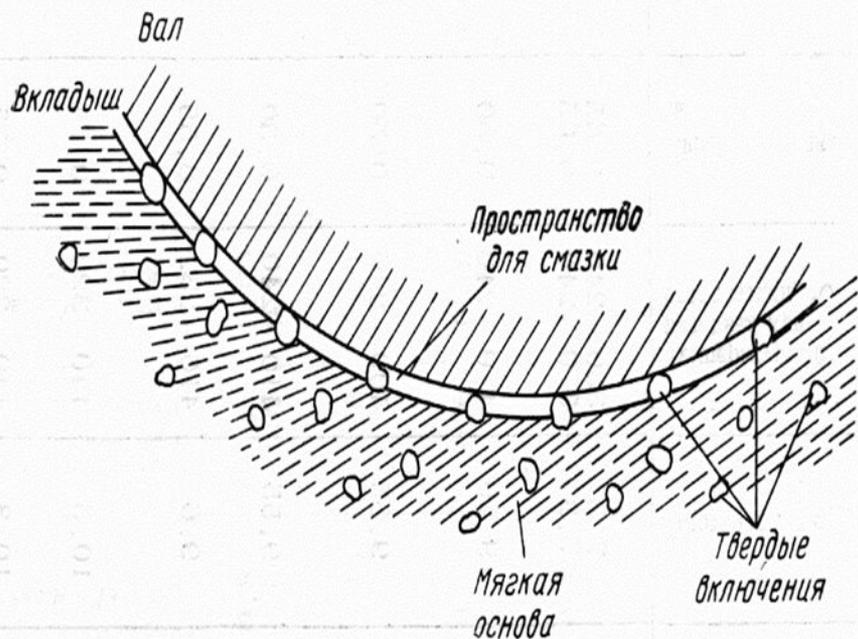
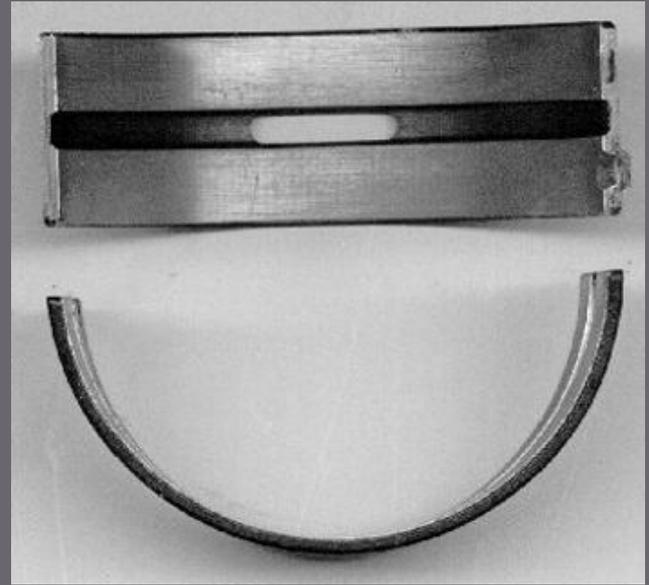


Рис. 121. Схема работы подшипника

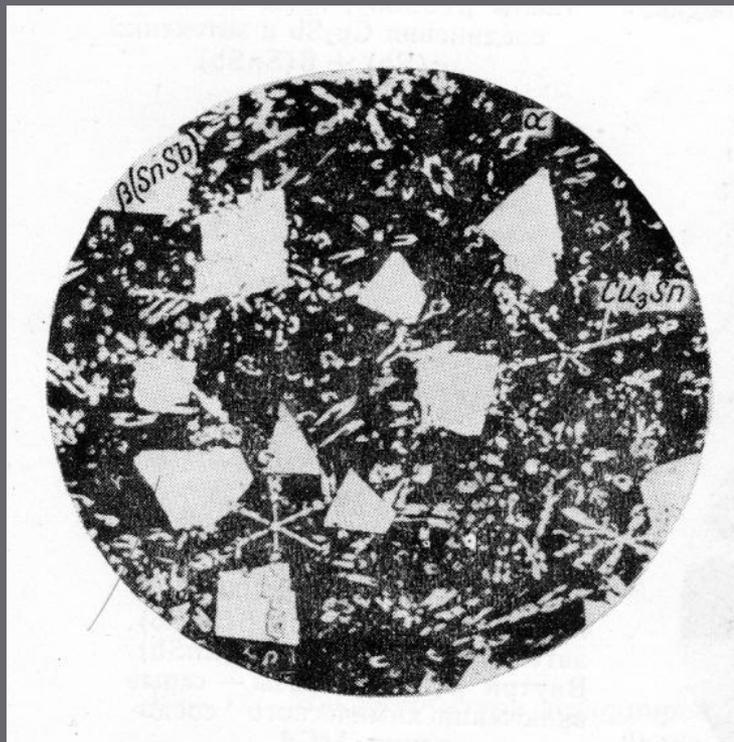
**Баббит** - антифрикционный сплав на основе олова или свинца, предназначенный для заливки вкладышей подшипников. Высокие антифрикционные свойства баббита обуславливаются его особой гетерогенной структурой, характеризующейся наличием твердых частиц в мягкой пластичной основе сплава.

Баббит отличается низкой температурой плавления (300—440°С), хорошей прирабатываемостью.

# Вкладыши



# Баббиты



Химический состав оловянных и свинцовых баббитов по ГОСТ 1320-74, %

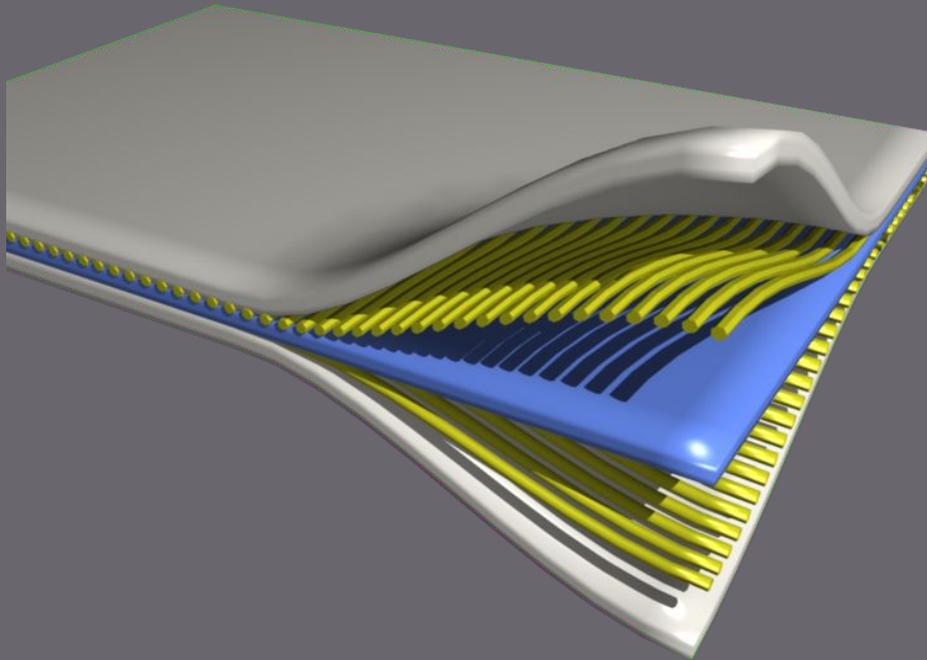
Марка	Основные компоненты						
	Sn	Sb	Cu	Cd	Ni	As	Pb
Б88*	Остальное	7,3-7,8	2,5-3,5	0,8-1,2	0,15-0,25	-	-
Б83**	То же	10-12	5,5-6,5	-	-	-	-
Б83С	То же	9-11	5-6	-	-	-	1,0-1,5
Б16	15-17	15-17	1,5-2	-	-	-	Остальное
БН	9-11	13-15	1,5-2	0,1-0,7	0,1-0,5	0,5-0,9	То же
БС6	5,5-6,5	5,5-6,5	0,1-0,3	0,05	-	-	То же

Группа	Марка сплава	$\sigma_b, \text{кг/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{кг/мм}^2$	$\delta, \%$	$HB, \text{кг/мм}^2$	$a_H, \text{кг} \cdot \text{м/см}^2$	Коэффициент трения со смазкой	Износ баббита, $\text{мм}^2/\text{см}^2 \cdot \text{км}$	Области применения
Оловянистые баббиты	Б89	8	—	9	25	0,8	0,005	0,09	Для заливки подшипников паровых турбин, турбокомпрессоров, турбонасосов и др.
	Б83	9	—	6	30	0,6	0,005	0,1	
Свинцовооловянистые баббиты	Б16	7,8	7,6	0,2	30	0,14	0,006	0,22	Для заливки опорных подшипников паровых турбин, паровых машин, гидротурбин, электроприводов и др.
	БН	7	7,1	1	29	0,03	0,006	0,15	Для заливки подшипников двигателей внутреннего сгорания, паровых турбин, паровых машин, гидротурбин и др.
	БТ	6,7	5,4	11,7	22	0,5	0,007	0,18	Для заливки подшипников тракторных и автомобильных двигателей
	Б6	6,8	—	0,2	30	0,15	0,007	0,23	Для заливки подшипников, нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков, трансмиссий, вентиляторов и др.
	БК	10	11,8	2,5	32	0,8	0,004	0,16	Для подшипников городского и железнодорожного транспорта, горнорудных машин и др.
Свинцовистые баббиты	БК2	9,5	8	8	20	1,2	0,004	0,15	То же

# Композиционные материалы

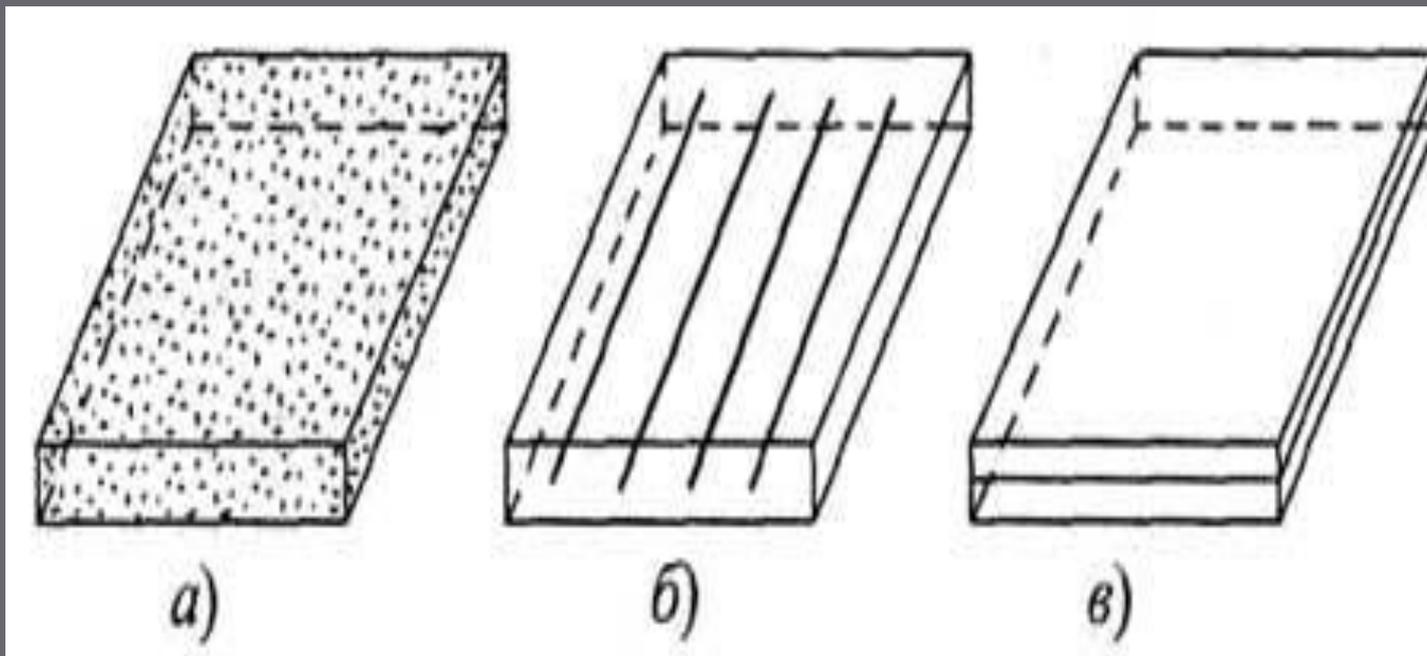


Композиционные материалы – многокомпонентные материалы, состоящие из пластичной основы - матрицы, и наполнителей, повышающих прочность



# КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ





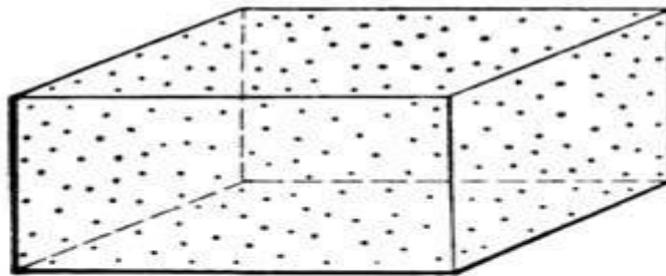
## Строение композиционных материалов

а- дисперсноупрочненные;

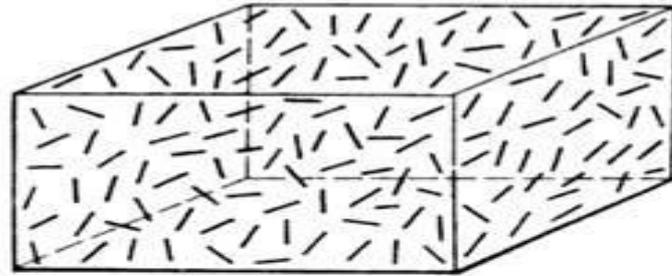
б- волокнистые;

в- слоистые

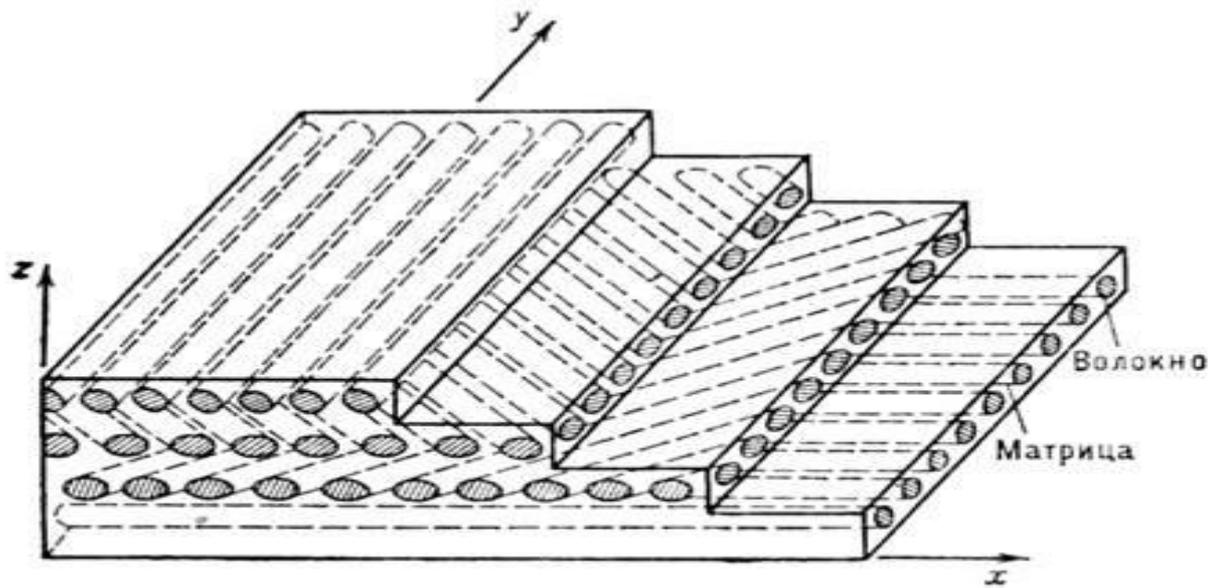
# Строение композиционных материалов



*a*

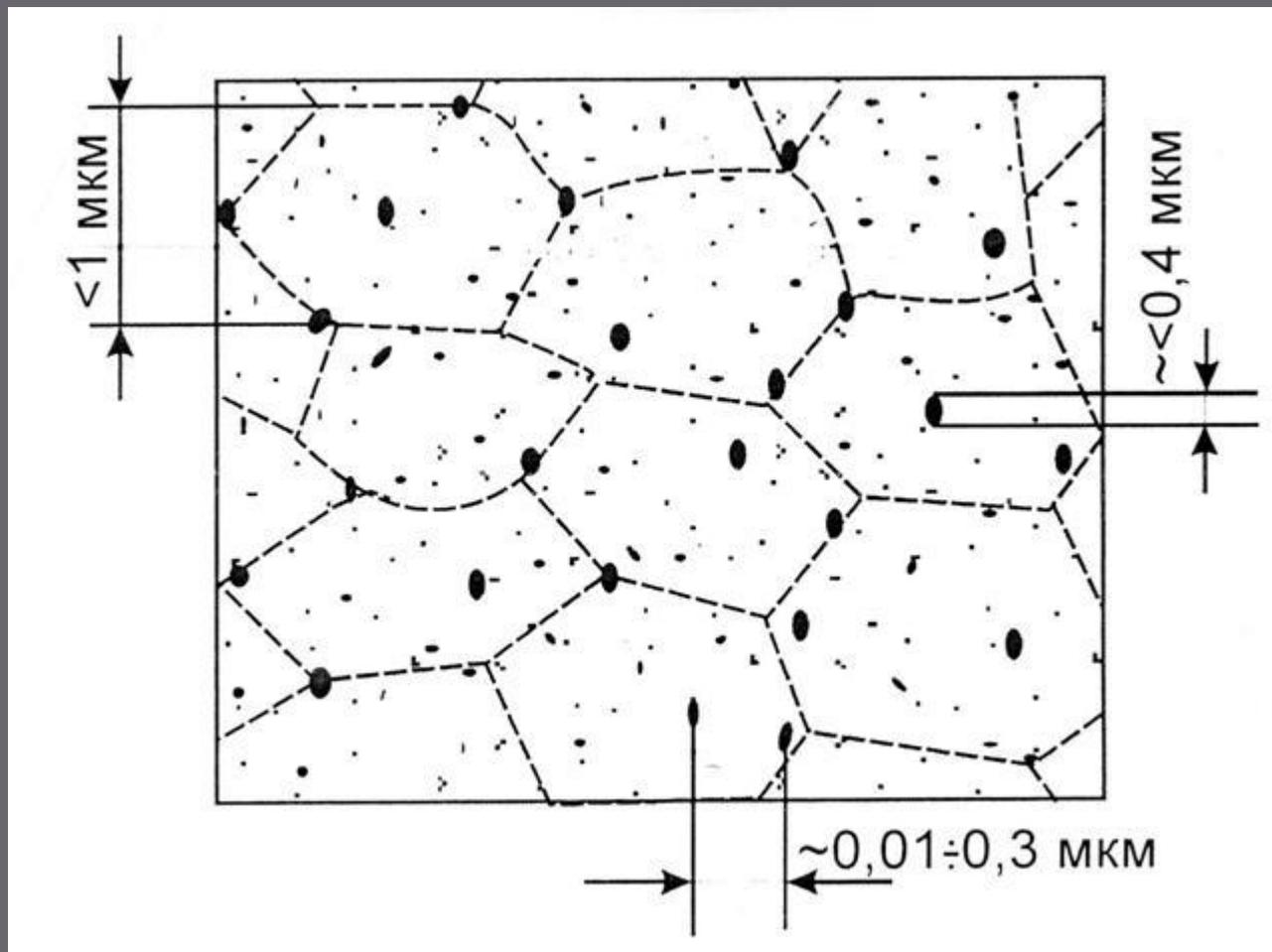


*б*



*в*

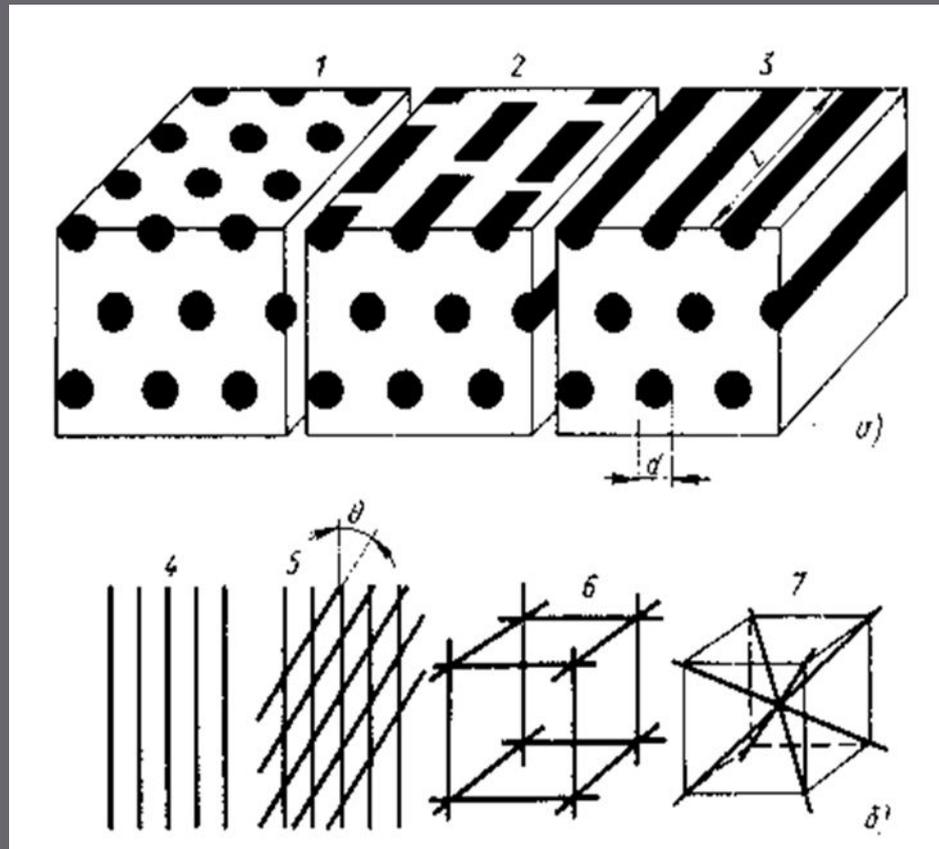
# Упрочнение дисперсными частицами



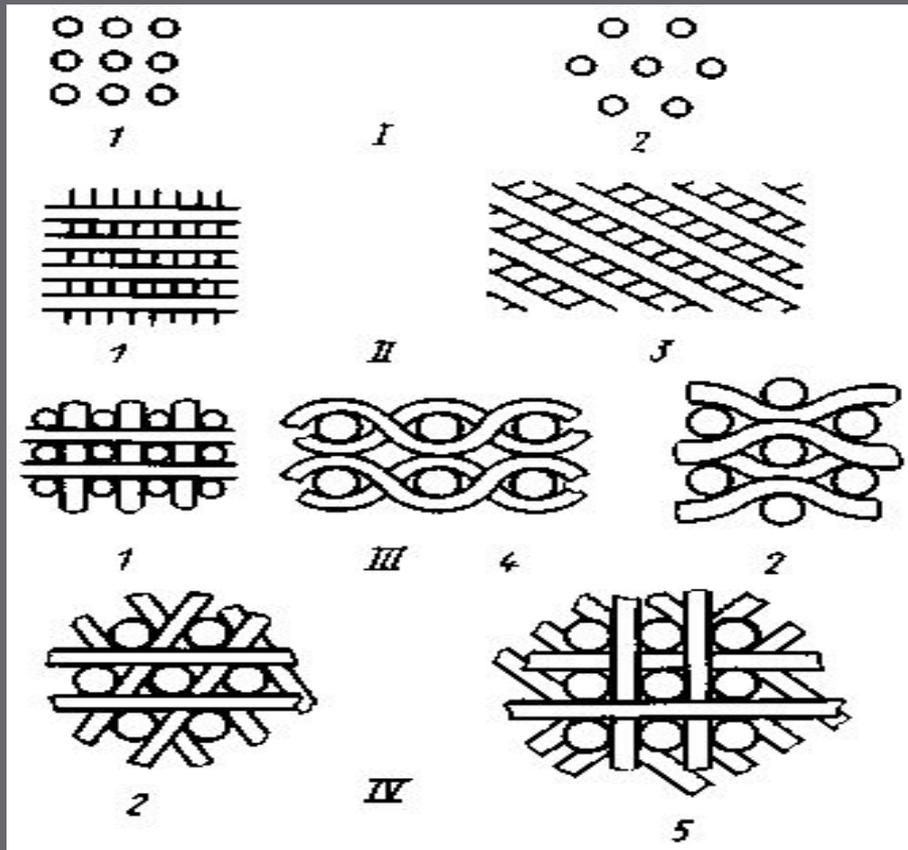
# Механические свойства САП

Материал	Содержание $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_B/(\rho g)$ , кМ	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$E$ , ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$ , кМ
САП-1	6 – 8	300	11	220	7	67	2,1
САП-2	9 – 12	350	13	280	5	71	2,6
САП-3	13 – 17	400	15	320	3	76	2,8
САП-4	18 – 22	450	17	370	1,5	80	2,9

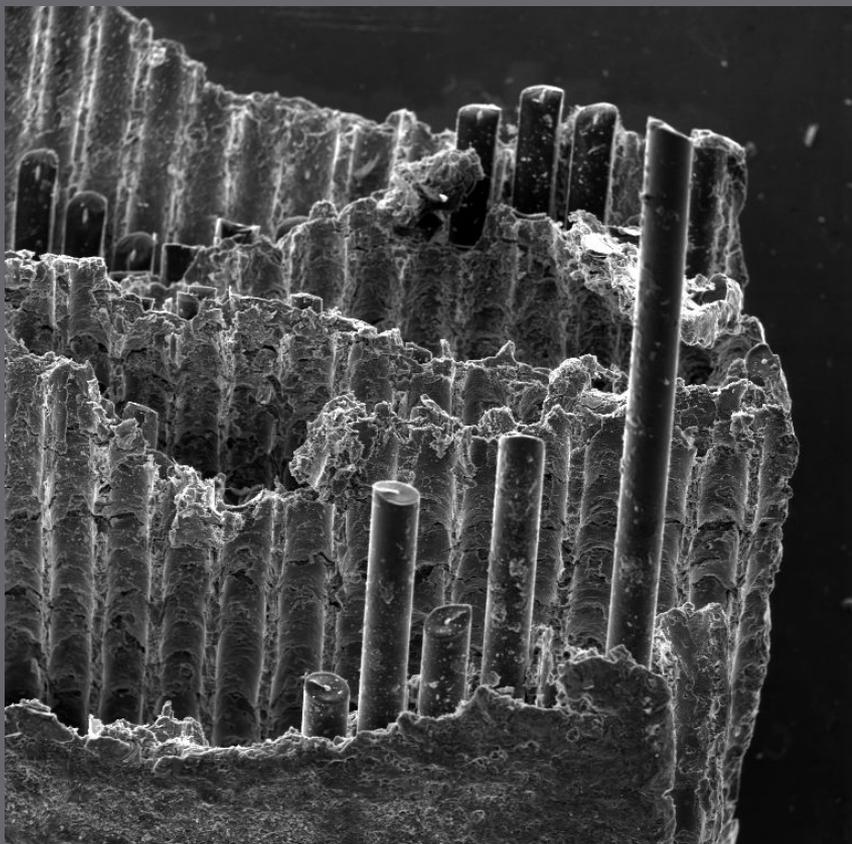
# Волокнистые КМ



# Схема расположения упрочняющих волокон



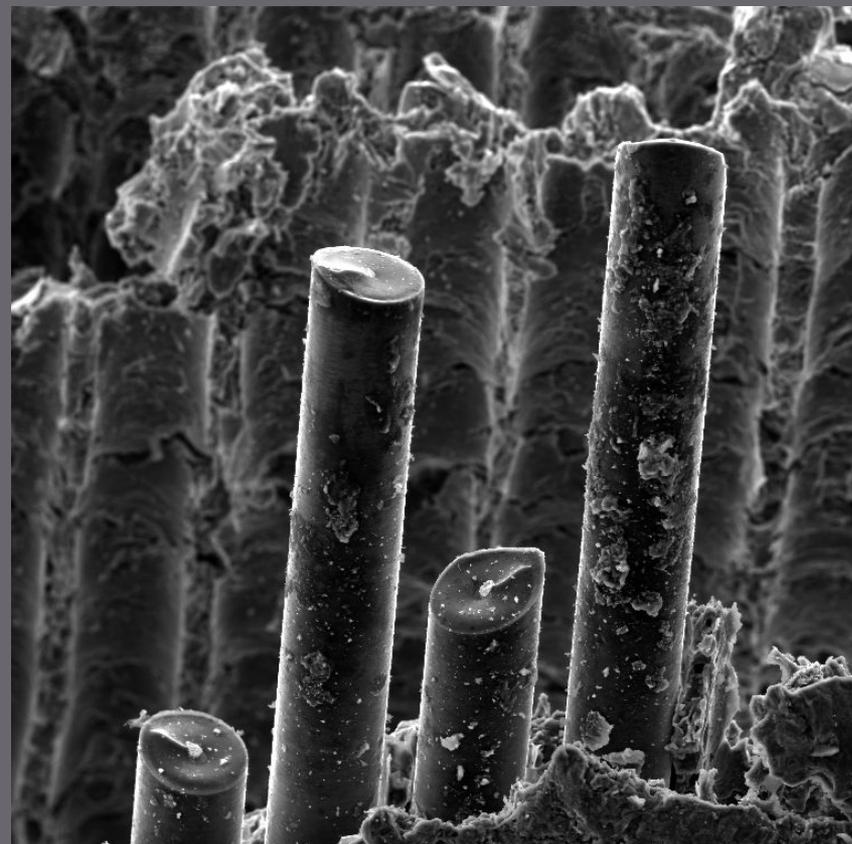
# Композиционный материал Al-B



SEM HV: 30.00 kV WD: 15.82 mm  
View field: 2.71 mm Det: SE  
SEM MAG: 80 x Date(m/d/y): 01/21/10

500  $\mu$ m

VEGA\\ TESCAN  
Performance in nanospace

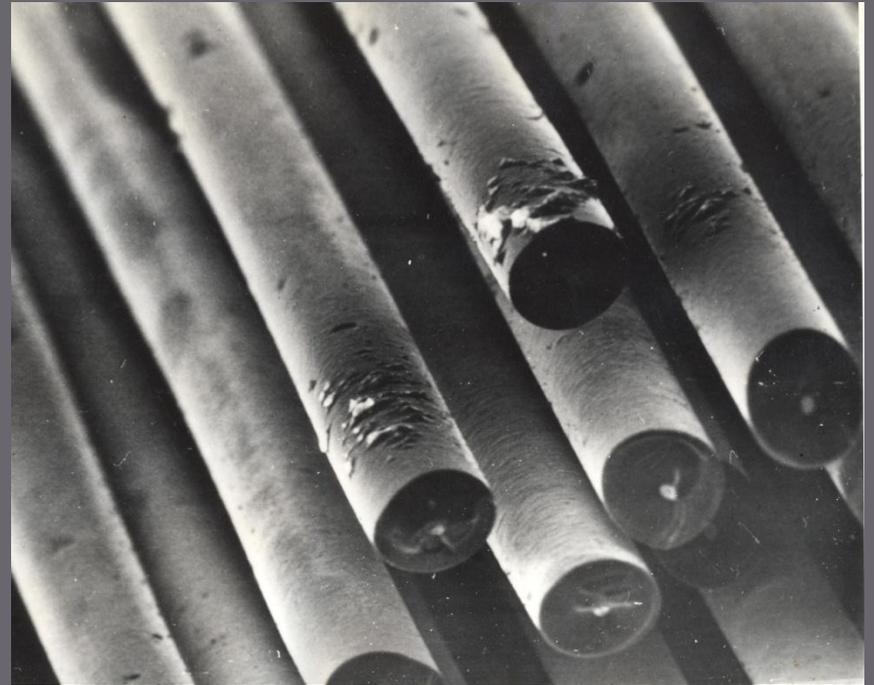
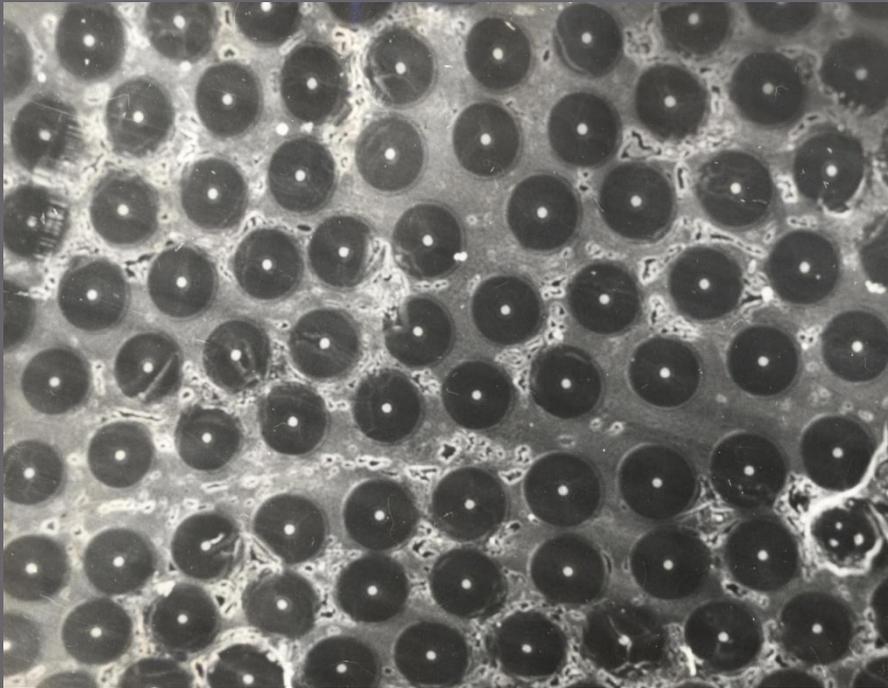


SEM HV: 30.00 kV WD: 14.99 mm  
View field: 1.08 mm Det: SE  
SEM MAG: 200 x Date(m/d/y): 01/21/10

200  $\mu$ m

VEGA\\ TESCAN  
Performance in nanospace

# Композиционный материал Al-B



# Свойства волокон и нитевидных кристаллов

Материал	Температура плавления или размягчения, °С	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_b/(\rho g)$ , км	$E$ , ГПа	Средний диаметр волокна, мкм
<i>Волокна</i>						
Углерод или графит	3650	1,6 – 2	1687 – 3374	110 – 210	216 – 677	5,8 – 7,6
Бор на вольфрамовой проволоке	2300	2,63	2707 – 4060	110 – 160	373 – 402	102 – 142
Борсик на вольфрамовой проволоке	2300	2,77	2707 – 4060	100 – 160	373 – 412	104
Карбид кремния на вольфрамовой проволоке	2200	3,35 – 3,46	2236 – 3893	67 – 120	492 – 471	102
Оксид алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2040	3,14	2030	66	169	3
Стекло	–	2,5	4482	183	89,3	–
Бериллий	1284	1,85	981 – 1100	38 – 54	295	125 – 130
Вольфрам	3410	19,3	1657 – 3207	9 – 17	420	51 – 1270
Сталь 18X15H5AM3	–	7,8	3500 – 3800	48	200	150
<i>Нитевидные монокристаллы</i>						
Сапфир, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2040*	3,96	4021 – 23634	110 – 620	402 – 1010	0,51 – 11
Карбид кремния	2690*	3,22	13533 – 40600	440 – 1320	441 – 1010	0,51 – 11

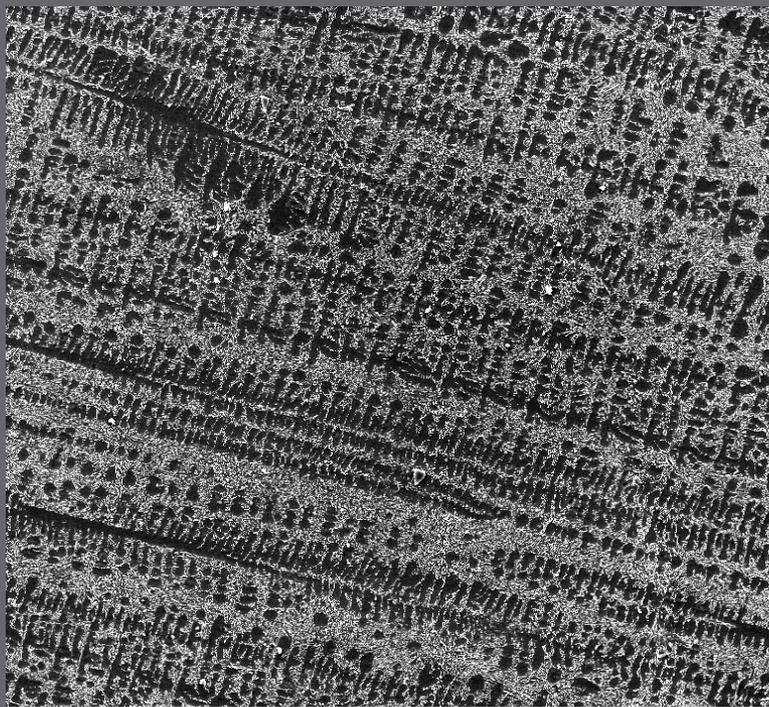
\*Температура разложения.

# Механические свойства одноосно-армированных КМ

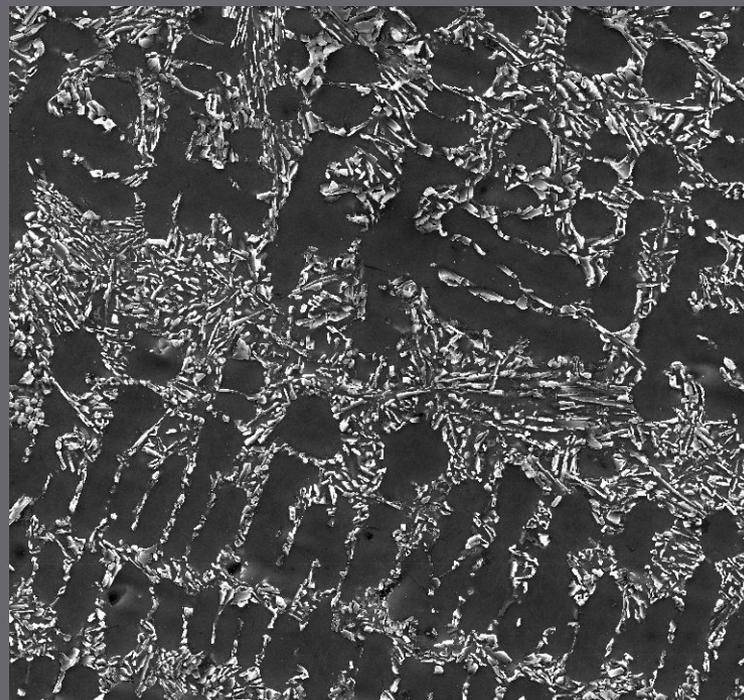
КМ	Матрица	Наполнитель		$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$\sigma_B/(\rho g)$ , км	$E$ , ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$ , км	$\sigma_B$ , МПа (20 °С)	$\sigma_{-1}$ , МПа (на базе 10 <sup>7</sup> циклов)
		Материал	Количество, %(об.)						
ВКА-1	Алюминий	Борное волокно	50	2,65	45	240	9	1200	600
ВКУ-1	»	Углеродное волокно	30 – 40	2,2 – 2,3	42	270	12	900 – 1000	200
КАС-1	»	Стальная проволока	40	4,8	33	120	2	1600	350
ВКМ-3	Магний	Борное волокно	45	2,2	57	200	9	1250	–

На основе Ti и интерметаллов	SiC	корпуса, трубопроводы
	TiB <sub>2</sub>	лопасти, диски
	TiC	валы, сотовые конструкции
На основе Al	SiC	корпуса (насосов, приборов), механические соединения, спутники.
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	фюзеляжи
	C	структурные элементы
	SiC	крылья, лопасти
На основе Mg Направленно отвержденные эвтектики	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	структурные элементы лопасти, кабели, теплообменник сверхпроводники
На основе Sn	Nb	
На основе Ni	карбидные	
На основе Ti	кремниевые	

# Композиционный материал Al-Si

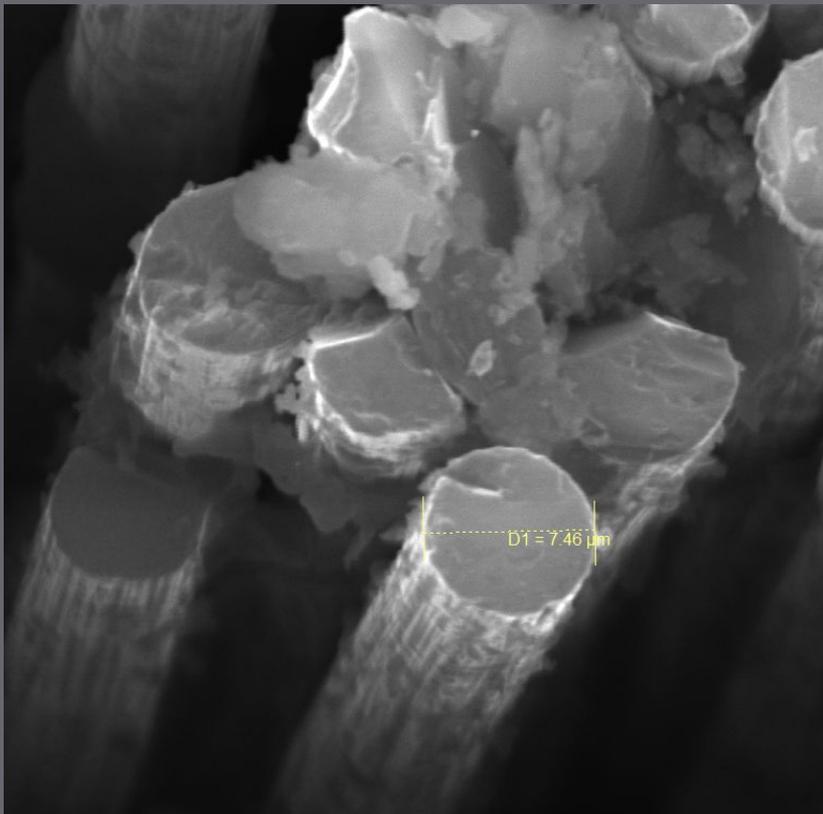


SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 07/22/10  
View field: 1.08 mm Det: SE + BSE 200  $\mu$ m  
SEM MAG: 200 x Name: AK12 исx(1) Performance in nanospace  
Микроструктура AK12 исx.

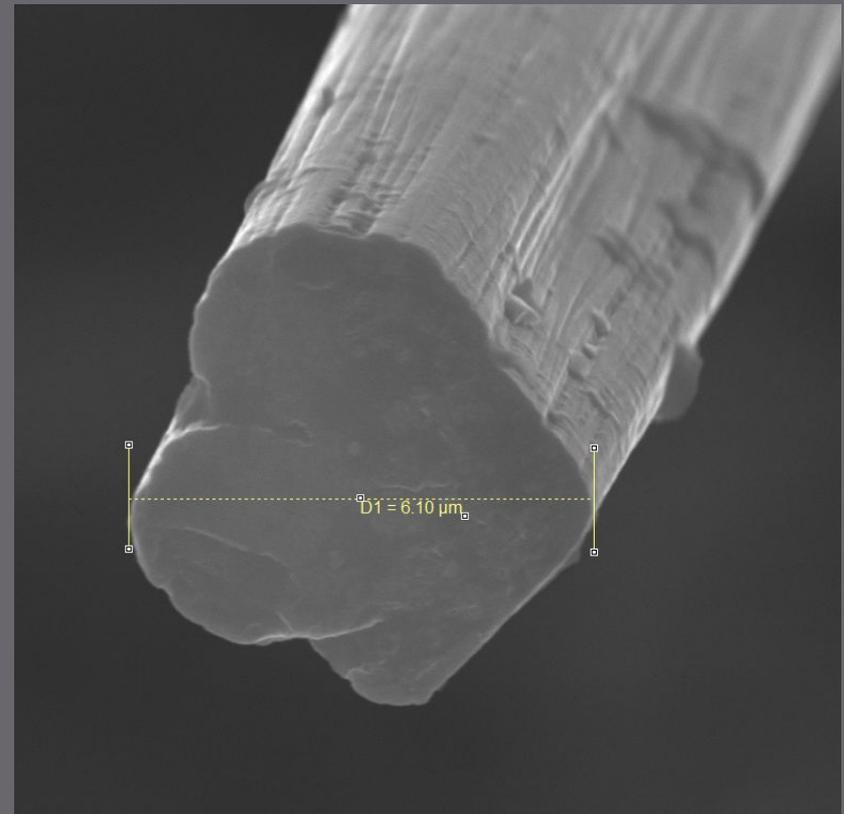


SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 07/22/10  
View field: 216.7  $\mu$ m Det: SE + BSE 50  $\mu$ m  
SEM MAG: 1.00 kx Name: AK12 исx(2) Performance in nanospace  
Микроструктура AK12 исx.

# Углеродное волокно

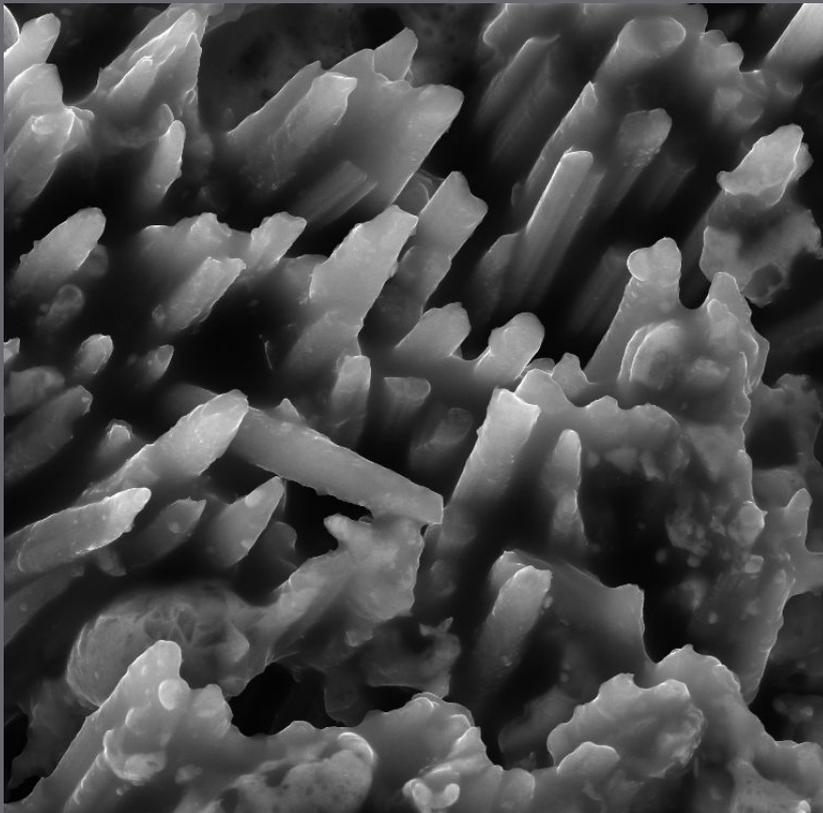


SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 07/02/13 VEGA\\ TESCAN  
View field: 36.15 μm Det: SE 10 μm  
SEM MAG: 5.99 kx Name: KMy (8)  
Performance in nanospace  
Композиционный материал.  
Углепластик. Поперечный срез

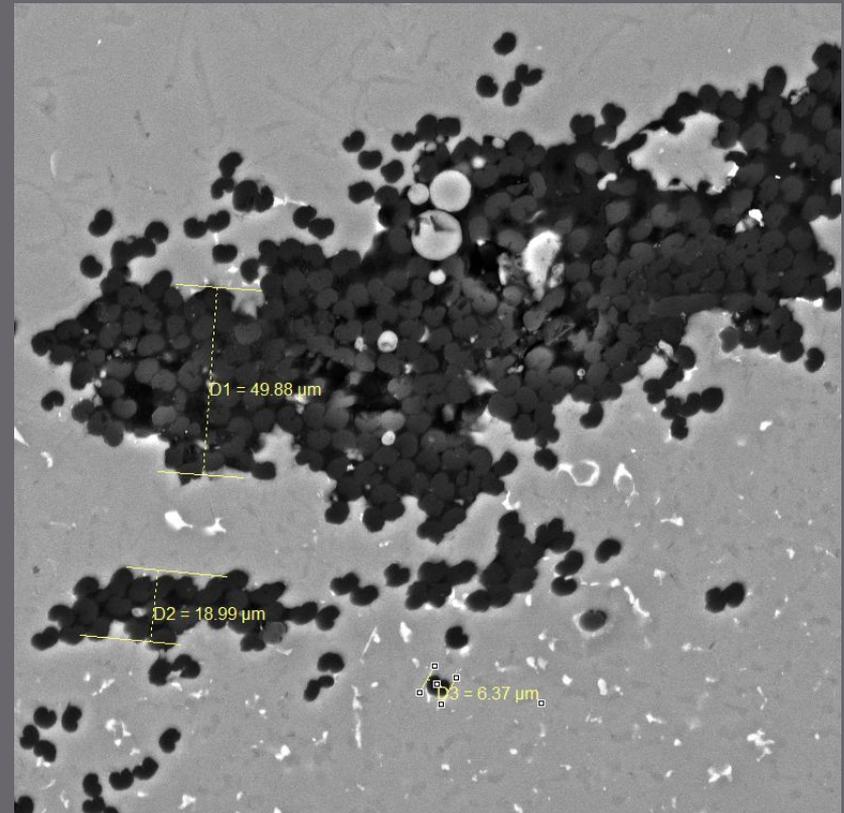


SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 10/28/10 VEGA\\ TESCAN  
View field: 10.84 μm Det: SE 2 μm  
SEM MAG: 19.98 kx Name: AI-C (4)  
Performance in nanospace  
Углеродное волокно

# KM AI-C



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 01/21/11 VEGA\\ TESCAN  
View field: 108.3  $\mu\text{m}$  Det: SE 20  $\mu\text{m}$   
SEM MAG: 2.00 kx Name: AI-C (11) Performance in nanospace  
Поперечное сечение композиционного материала AI-C



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 01/29/11 VEGA\\ TESCAN  
View field: 216.7  $\mu\text{m}$  Det: SE 50  $\mu\text{m}$   
SEM MAG: 1.00 kx Name: AI-C (16) Performance in nanospace  
Пропитка угольной ткани алюминием

# Слоистые КМ

