



Металлопрокат



Металлоконструкции



Обработка металла

[Легкие металлы](#)
[Тяжелые металлы](#)
[Основы металлургии](#)
[Доменный процесс](#)
[Цинковые покрытия](#)
[Обработка металлов давлением](#)
[Обработка материалов лазером](#)
[Металловедение для машиностроения](#)

## Новости

12.11.2020

### [Виды промышленных весов](#)

Для взвешивания товаров и грузов на транспортных предприятиях, в торговле, сельском хозяйстве, промышленности используют специализированное оборудование...

12.11.2020

### [Ангары на балке переменного сечения](#)

Ангары многоцелевого назначения – имеющие сборно-разборный каркас из металла строения. Пролетов в них может быть несколько. Для ограждающих конструкций используют...

10.11.2020

### [Как уложить пластиковые панели на стены клеевым методом](#)

Пластиковые стеновые панели обладают массой практических преимуществ. Они наделены абсолютной влагостойкостью, легко отмываются от загрязнений, подходят для жилых...

10.11.2020

[metal-archive.ru](http://metal-archive.ru) » [Легкие металлы](#) » Бериллий

## Бериллий

28.04.2015

Бериллий, металл серо-стального цвета, был открыт в 1797 г Вокеленом. Бериллий в виде загрязненного примесями порошкового металла был впервые получен в 1828 г. при восстановлении калием хлорида бериллия Велером в Германии и Бюсси во Франции.

В девятнадцатом веке работы по химии и металлургии бериллия получили значительное развитие. Одной из первых была работа, проведенная И.В. Авдеевым, который, исследуя ряд соединений, впервые правильно определил валентность бериллия, считавшуюся ранее равной четырем. Весьма интересной была работа Лебо, в которой описана возможность получения при электролизе фторобериллата натрия ( $\text{Na}_2\text{BeF}_4$ ) мелких гексагональных кристаллов бериллия, а также возможность получения меднобериллиевых сплавов прямым восстановлением окиси бериллия углем в присутствии меди. Большой вклад в металлургию бериллия был сделан работой Эстерхельда, изучавшего диаграммы состояния бериллия с медью, алюминием, серебром и железом.

Бериллий в виде слитка был впервые получен в 1916 г. Купером (США).

Развитие бериллиевой промышленности в Германии началось в 1923 г.

Началом промышленного освоения бериллиевых сплавов можно считать 1932 г., когда в США была прокатана так называемая «бериллиевая бронза», изготовленная из меднобериллиевой лигатуры.

Крупнейшим производителем бериллия в настоящее время являются США, выпускающие до 90% бериллиевой продукции капиталистических стран.

Хотя точных данных об объеме выпуска бериллиевой промышленности не публикуется, ее масштаб характеризуется статистическими сведениями о мировом производстве бериллового концентрата и о его потреблении в США, приведенными в табл. 1—2.

Таблица 1

Производство бериллового шугриного концентрата, содержащего 10—12% окиси бериллия, в капиталистических странах, т [4, 5]

Год	Производство	Год	Производство	Год	Производство
1939	904	1948	9470	1952	6530
1963	5402	1949	4567	1953	9950
1946	1700	1950	6681	1954*	6157
1947	1430	1951	5720	1955*	7217

\* Непоказаны данные.

Таблица 2

Потребление бериллового концентрата (10—12% окиси бериллия) и выпуск бериллиевой продукции в виде металла, соединений и сплавов в США (6), т

1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950
Концентрат													
180	270	450	540	1080	2117	2752	1958	1574	912	1562	1773	925	2706
Бериллий													
7,20	10,80	18,00	21,60	43,20	86,40	110,08	78,32	62,96	36,48	62,48	70,52	37,04	108,24

В зависимости от качества металла и вида изделий цены на бериллий колеблются в широких пределах и, по данным американской печати, составляют от 55 до 220 долларов за фунт. Бериллий в слитках в начале 1957 г. стоил 230 долларов за килограмм.

Резкое увеличение производства бериллового концентрата и цен на него, объема его потребления и выпуска бериллиевой продукции, особенно заметное с 1950 г., в значительной мере объясняется повышением спроса со стороны атомной промышленности, где применение бериллия в настоящее время играет значительную роль.

Распределение потребления бериллия между отдельными отраслями промышленности в США, % от общего объема производства, приведено ниже:

[Марка и класс бетона: ошибаться нельзя](#)

Среди строителей все чаще встречается выражение «класс бетона». Это значение схоже с «маркой бетона», однако есть отличия....

10.11.2020

[Композитная доска из ДПК: преимущества очевидны](#)

Просторные террасы все чаще становятся основным элементом садово-парковой архитектуры. В выборе покрытия для террас, по-прежнему преобладают соображения практичности и...

10.11.2020

[Дверь из стекла: хорошо или нет?](#)

Дверь в офисе или дома является не только функциональной частью помещения, но и украшением интерьера. Очень органично вписываются в любую обстановку те, что изготовлены...

10.11.2020

[Почувствуй новогоднюю сказку Турции](#)

Зимняя Турция - страна чудес! Если вы решили полностью изменить свои представления о том, как празднуют Новый год - добро пожаловать в страну солнца...

10.11.2020

[Арматура для ленточного фундамента MetallobazaV.ru](#)

Долговечность сооружения зависит от того, на каком фундаменте оно стоит. Существует несколько его разновидностей, и один из самых востребованных – ленточный фундамент,...

10.11.2020

[Какими материалами провести отделку стен на лоджии](#)

Выбирать материалы для отделки лоджии изнутри необходимо максимально внимательно. Все же эта часть квартиры отличается сложными эксплуатационными условиями....

10.11.2020

[Особенности приемки металлического лома: условия сдачи и преимущества услуги](#)

Отходный материал остается в основном на производственной промышленности и на строительных площадях. Для того чтобы отдать его на вторичную переработку есть специальная...

08.11.2020

Электроника и связь . . . . .	20
Электропромышленность . . . . .	16
Производство машиностроительного оборудования	14
Производство холодильного и кондиционирующего оборудования . . . . .	10
Производство литья . . . . .	8
Автомобильная промышленность . . . . .	8
Сварка . . . . .	6
Алюминиевая промышленность . . . . .	5
Производство бескрытого инструмента . . . . .	5
Прочие отрасли промышленности . . . . .	8

О масштабе производства бериллия в США позволяют судить опубликованные в американской литературе сведения об окончании в 1957 г. проекта завода по переработке бериллового концентрата, рассчитанного на выпуск начиная с 1963 г. около 250 т бериллия в год.

- [Получение металлических рубидия и цезия](#)
- [Переработка поллуцита](#)
- [Переработка лепидолита](#)
- [Переработка карналлита](#)
- [Сырьевые источники рубидия и цезия](#)
- [Двойные и комплексные соединения рубидия и цезия](#)
- [Простые соли рубидия и цезия](#)
- [Свойства рубидия и цезия и их соединений](#)
- [Применение рубидия и цезия и их соединений](#)
- [Рубидий и цезий](#)

Имя:\*

E-Mail:

Комментарий:

Я не робот reCAPTCHA  
Конфиденциальность - Условия использования



Металлопрокат



Металлоконструкции



Обработка металла

[Легкие металлы](#)
[Тяжелые металлы](#)
[Основы металлургии](#)
[Доменный процесс](#)
[Цинковые покрытия](#)
[Обработка металлов давлением](#)
[Обработка материалов лазером](#)
[Металловедение для машиностроения](#)

## Новости

12.11.2020

### [Виды промышленных весов](#)

Для взвешивания товаров и грузов на транспортных предприятиях, в торговле, сельском хозяйстве, промышленности используют специализированное оборудование....

12.11.2020

### [Ангары на балке переменного сечения](#)

Ангары многоцелевого назначения – имеющие сборно-разборный каркас из металла строения. Пролетов в них может быть несколько. Для ограждающих конструкций используют...

10.11.2020

### [Как уложить пластиковые панели на стены клеевым методом](#)

Пластиковые стеновые панели обладают массой практических преимуществ. Они наделены абсолютной влагостойкостью, легко отмываются от загрязнений, подходят для жилых...

10.11.2020

[metal-archive.ru](http://metal-archive.ru) » [Легкие металлы](#) » Применение бериллия, его сплавов и соединений

## Применение бериллия, его сплавов и соединений

28.04.2015

### Бериллий

Около 90% выпускаемой бериллиевой продукции приходится на долю различных сплавов преимущественно на медной основе. Остальную часть бериллиевой продукции составляет бериллий, который в последние годы находит значительное применение при постройке и эксплуатации атомных реакторов.

Бериллий применяется как материал для замедлителей в тепловых ядерных реакторах в нем удачно сочетаются небольшой атомный вес, малая величина эффективного сечения захвата тепловых нейтронов и относительно высокое эффективное сечение рассеяния. По этим же соображениям бериллий представляет интерес и как материал для отражателей ядерных реакторов Бериллий может быть также легирующим элементом и лакирующим покровным материалом для стержней, представляющих собой ядерное горючее.

Эффективное сечение рассеяния характеризуется для некоторых материалов следующими величинами, подтверждающими возможность применения для этой цели бериллия:

Водород	18	Бериллий	86
Дейтерий	25	Углерод	114

Рассеивающие и поглощающие свойства замедлителей, названные термином «нейтронное сечение», характеризуют как само ядро, так и величину энергии нейтрона, бомбардирующего ядро.

В табл. 3 приведены главнейшие из числа известных замедлителей и даны некоторые их свойства, подтверждающие эффективность применения в качестве замедлителя бериллия.

Другим важным свойством замедлителей является их способность действовать одновременно и в качестве отражателя.

Замедлитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Рассеяние		Поглощение бериллием
		бериллием*	бериллием*	
Графит	1,55—1,9	4,8	4,1·10 <sup>23</sup>	0,0045
Бериллий	1,845	6,9	8,5·10 <sup>23</sup>	0,009
Оксид бериллия	2,9—2,9	11,1	6,7·10 <sup>23</sup>	0,0059
Токсидная вода (D <sub>2</sub> O)	1,108	15,3	4,8·10 <sup>23</sup>	0,0059
Вода (H <sub>2</sub> O)	1,00	44—164	15—55·10 <sup>23</sup>	0,64

Количество расщепляющегося материала, необходимое для прохождения цепной реакции при нулевом уровне энергии, называется критической массой. Критическая масса может быть уменьшена за счет погружения внутрь ядерного горючего стержней из материала, являющегося одновременно замедлителем и отражателем нейтронов, благодаря чему их рассеяние сводится к минимуму. Применение в качестве материала отражателя бериллия позволяет достигнуть значительного уменьшения количества ядерного горючего, помещаемого в реактор, что в свою очередь уменьшает объем активной зоны реактора и ведет к повышению его мощности.

Небольшое количество бериллия применяется для изготовления «окон» рентгеновских трубок, где большое значение имеют хорошая проникаемость бериллия для рентгеновского излучения и высокая температура его плавления.

Применение бериллия в рентгеновских трубках позволяет пользоваться ими для тонких рентгеноструктурных исследований, а также для рентгенотерапии с помощью длинноволновых излучений большой интенсивности.

Вследствие того что скорость распространения звука в бериллии почти в два с половиной раза больше, чем в стали, а также благодаря его малой плотности и большому модулю

### Марка и класс бетона: ошибаться нельзя

Среди строителей все чаще встречается выражение «класс бетона». Это значение схоже с «маркой бетона», однако есть отличия....

10.11.2020

### Композитная доска из ДПК: преимущества очевидны

Просторные террасы все чаще становятся основным элементом садово-парковой архитектуры. В выборе покрытия для террас, по-прежнему преобладают соображения практичности и...

10.11.2020

### Дверь из стекла: хорошо или нет?

Дверь в офисе или дома является не только функциональной частью помещения, но и украшением интерьера. Очень органично вписываются в любую обстановку те, что изготовлены...

10.11.2020

### Почувствуй новогоднюю сказку Турции

Зимняя Турция - страна чудес! Если вы решили полностью изменить свои представления о том, как празднуют Новый год - добро пожаловать в страну солнца...

10.11.2020

### Арматура для ленточного фундамента MetallobazaV.ru

Долговечность сооружения зависит от того, на каком фундаменте оно стоит. Существует несколько его разновидностей, и один из самых востребованных – ленточный фундамент...

10.11.2020

### Какими материалами провести отделку стен на лоджии

Выбирать материалы для отделки лоджии внутри необходимо максимально внимательно. Все же эта часть квартиры отличается сложными эксплуатационными условиями...

10.11.2020

### Особенности приемки металлического лома: условия сдачи и преимущества услуги

Отходный материал остается в основном на производственной промышленности и на строительных площадях. Для того чтобы отдать его на вторичную переработку есть специальная...

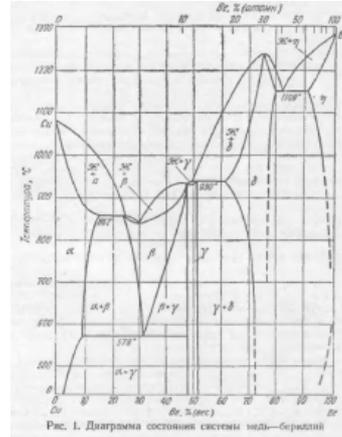
08.11.2020

прочности, бериллий применяют для изготовления деталей акустической аппаратуры. Однако важнейшим свойством, лежащим в основе промышленного применения бериллия, является его способность вызывать старение в сплавах, особенно на медной или никелевой основах. Большой интерес представляет также обнаруженная лишь недавно способность к старению чистого бериллия.

В литературе рассматривается также возможность применения бериллия как конструкционного металла в самолетостроении.

### **Сплавы медь—бериллий (бериллиевые бронзы)**

Диаграмма состояния системы медь — бериллий представлена на рис. 1. Бериллиевую бронзу вырабатывают в виде ленты, прутков, проволоки, листов и труб. Ковке и последующей прокатке подвергают заготовки, отлитые в землю, под давлением, в кокиль, в пластифицированные или постоянные изложницы.



Бериллиевые бронзы подразделяются на высокопрочные и хорошо электропроводные. Высокопрочные сорта бронзы, содержащие более 1,5% бериллия, обладают максимальными значениями прочности и твердости, в то время как электропроводные сорта, содержащие менее 0,75% бериллия и обладающие, как правило, весьма высокими значениями электро- и теплопроводности, имеют гораздо более низкую прочность и твердость. Следует отметить, что предел пропорциональности этих бедных меднобериллиевых сплавов практически такой же, как и у сплавов, богатых бериллием. Некоторые объекты применения высокопрочных и очень твердых сортов бериллиевой бронзы перечислены ниже: пружины, мембраны, подшипники, детали авиамоторов, изложницы для изготовления пластмасс, прецизионные отливки, валки, гребные винты, детали поршневых насосов, шестерни, безыскровой инструмент, детали клапанов, сепараторы подшипников, пружинящие шайбы и прокладки, детали оружейных затворов. Бериллиевые бронзы, обладающие хорошей электропроводностью, содержат от 0,25 до 0,7% бериллия и от 1,5 до 2,5% кобальта или никеля, добавка которых ведет к измельчению зерна в сплавах и к стабилизации полученной структуры. В специальные сорта бронз иногда вводят добавки серебра или хрома либо обоих этих элементов. Некоторые виды изделий из бериллиевой бронзы, обладающей хорошей электропроводностью, перечислены ниже: сварочные электроды для сварки сопротивления; зажимы и электроды для точечной, шовной, стыковой и рельефной сварки; выключатели; перерыватели тока, распределительные устройства; зажимы для сварки сопротивления; электрододержатели; пинцеты рубильников; скользящие контакты; контакты электрических автоматических устройств, наконечники токоподводов. Эффективность применения бериллиевой бронзы в перечисленных изделиях связана с наличием у нее многих полезных качеств, а именно:

- 1) превосходная способность к обработке давлением до термообработки или старения;
- 2) исключительное улучшение физических свойств после обычной термообработки;
- 3) хорошая электро- и теплопроводность;
- 4) весьма высокая устойчивость против усталости и ударных нагрузок;
- 5) стойкость против коррозии, близкая к коррозионной стойкости меди;
- 6) устойчивость под нагрузкой и отсутствие остаточной деформации;
- 7) легкость обработки резанием (в отожженном или в полутвердом состоянии);
- 8) возможность получения широкого диапазона механических свойств при изменении содержания бериллия в бронзе и условий ее термообработки;
- 9) превосходные литейные свойства;
- 10) немагнитность и отсутствие искрения при ударах;
- 11) устойчивость при повышенных температурах.

### **Сплавы никель—бериллий**

Диаграмма состояния системы никель—бериллий показана на рис. 2. Эти сплавы, способные воспринимать термообработку, представляют значительный интерес благодаря наличию у них высокой прочности и твердости. Однако выпуск их пока ограничен.

## Стальные отводы

Трубопроводы – сети, которые используются для транспортировки разных рабочих средств. На предприятиях, в коммунальном хозяйстве они применяются для подведения воды и...

06.11.2020

## Виды полимеров

Разные виды полимеров в строительстве сегодня используются достаточно широко. Наряду со стеклом, древесиной, бетоном, металлом в отделке зданий и их конструировании...

06.11.2020

## Офисная мебель – это визитная карточка любого офиса

Любой офис действует по своим правилам и законам. В этом помещении много людей проводит большую часть времени. Она должна быть комфортной, позволять правильно...

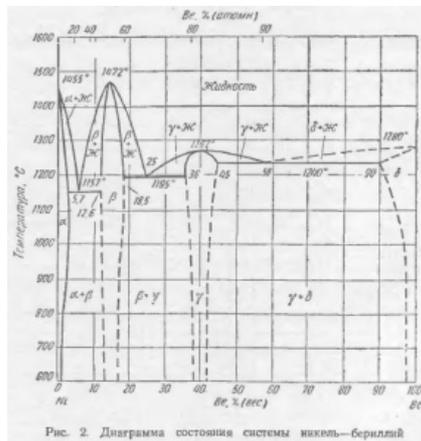


Рис. 2. Диаграмма состояния системы никель—бериллий

По пластичности и стойкости против коррозии никелевобериллиевые сплавы очень сходны с нержавеющей сталью, а по прочности, твердости и модулю упругости сравнимы с высокопрочными легированными сталями. По литейным свойствам, а также по способности к обработке давлением в незакаленном или отожженном состоянии никелевобериллиевые сплавы превосходят указанные выше сорта сталей. Механические свойства никелевобериллиевых сплавов после термообработки близки к свойствам меднобериллиевых сплавов и нержавеющей стали, однако не обладают хорошей электропроводностью, присущей меднобериллиевым сплавам. Сплавы на никелевой основе, содержащие около 2% Ве деформированные на холоду и затем подвергнутые термообработке, имеют предел прочности 182 кг/мм<sup>2</sup>, удлинение 8,3% (на образце длиной 100 мм) и твердость 480 НВ. Никелевобериллиевые сплавы находят себе некоторое применение для изготовления пружин прецизионных устройств, работающих в условиях высоких температур, игл и хирургических инструментов в медицине. В литом состоянии эти сплавы применяются для изготовления матриц в станках для сверления алмазов, форм для горячего прессования пластмасс, форм многократного использования для получения прецизионных профильных отливок, деталей насосов для подачи авиагорючего и сходных с этим применений, а также для изготовления деталей машиностроительных устройств и многих других видов оборудования.

## Сплавы железо—бериллий

Диаграмма состояния системы железо—бериллий представлена на рис. 3.

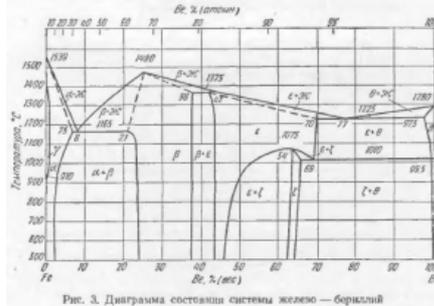


Рис. 3. Диаграмма состояния системы железо—бериллий

Железобериллиевые сплавы привлекали к себе одно время значительное внимание. Однако для этих сплавов не было найдено заметной области промышленного применения вследствие весьма крупнокристаллической структуры. Добавка к железобериллиевым сплавам никеля способствует измельчению зерна и значительному улучшению качества сплава. Твердость сплава (содержащего 1% Ве и 6% Ni) после его упрочнения закалкой и состаривания достигает 600 НВ. Хромоникелевые стали, содержащие 12% Cr, 11% Ni и 1% Ве, обладают большой прочностью и твердостью при повышенных температурах; о возможности применения таких сплавов для изготовления пружин, стойких при температуре красного каления, сообщалось еще в 1931 г. Примерный состав некоторых выпускаемых в США сплавов этой группы приведен в табл. 4.

Название сплава	Состав, %							
	Be	Ni	Cr	Mn	W	Co	Pb	Fe
Бериллиевый «элинвар»	1,0	38	—	—	—	—	—	Ост.
Бериллиевый «элинвар» («шварц»)»	0,5	30	—	—	8	—	—	»
Бериллиевый «контрацид»	0,6	60	15	7	—	—	—	»
«Титоникел»	1,5	36	29,5	6	—	27	—	—
«Спиджоник»	0,04	15	30	7	—	40	2	Ост.

Бериллиевый «элинвар» под названием «ниварокс» благодаря отсутствию способности к удлинению с температурой применяется для часовых пружин на швейцарских часовых фабриках. Добавка бериллия способствует сохранению термоупругих свойств сплавов и сообщает им способность к старению, придающему пружинам твердость и упругость, не уступающую твердости и упругости пружин из углеродистой стали. Пружину из бериллиевого «элинвара» немагнитны. Бериллиевый «контрацид» применяется во всех случаях, где требуется высокая прочность и хорошая устойчивость против коррозии.

«Тикониум», в котором сочетаются хорошие литейные и прочностные свойства, а также коррозионная стойкость, в литом состоянии используется для зубопротезирования. «Элджилой» обладает превосходной коррозионной стойкостью и механическими свойствами, позволяющими применять его для изготовления часовых пружин, хирургических инструментов и т. п.

#### Различные сплавы с бериллием

Недавно были исследованы свойства нового бериллиевого сплава на основе цинка, содержащего 0,1% Be и от 2 до 2,5% Cu, ставшего известным под названием «Zncibe» и перспективного в смысле возможности его промышленного применения.

Магний не образует сплавов с бериллием. Однако уже незначительная присадка бериллия (около 0,005%) к магнию или сплавам на магниевой основе резко снижает их способность к горению при отливке и к окислению при плавке. Одновременно присадка бериллия способствует получению мелкозернистой структуры, благодаря чему основной фактор, ограничивавший применение магниевых сплавов (их крупнозернистая структура), может практически не приниматься во внимание.

Алюминий образует с бериллием эвтектику (1,4% Be) с точкой плавления 644°, растворимость бериллия в твердом алюминии и алюминия в твердом бериллии крайне невелика. Диаграмма состояния системы алюминий — бериллий приведена на рис. 4.

Хотя при лабораторных испытаниях бериллиевоалюминиевые сплавы обнаружили хорошие свойства, особенно в условиях повышенных температур, их промышленное применение ограничено из-за трудности получения однородных слитков, связанной с весьма интенсивной ликвацией.

Вместе с тем введение небольших добавок бериллия (0,1—0,5%) широко применяется при выплавке алюминиевых сплавов. Присадка бериллия повышает жидкотекучесть таких сплавов и способствует получению мелкозернистой структуры.

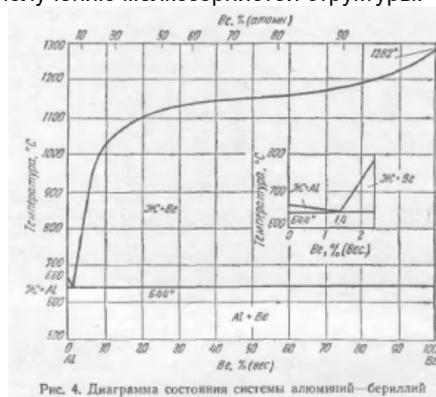


Рис. 4. Диаграмма состояния системы алюминий—бериллий

За последнее время в иностранной литературе появились сообщения о возможности применения листов из алюминиевобериллиевого сплава, содержащего до 35% бериллия, для обшивки фюзеляжей самолетов, обладающих сверхзвуковой скоростью, а также для изготовления оболочек самоуправляемых ракет-снарядов и искусственных спутников земли.

Наиболее перспективной является присадка небольших количеств бериллия (0,005—0,3%) к алюминиевомагниевым сплавам для уменьшения окисления при плавке, а также для уменьшения взаимодействия между сплавом и влагой песчаной формы.

Была исследована роль присадки бериллия к ряду алюминиевых литых и деформируемых сплавов и установлено, что добавка 0,1% бериллия и 0,25% титана к дюралюминию значительно уменьшает предрасположение этого сплава к растрескиванию в процессе шовной роликовой сварки.

Бериллий применялся также для легирования сложного алюминиевого сплава, предназначенного для изготовления головок цилиндров авиационных моторов воздушного охлаждения.

Алюминиевобериллиевый сплав благодаря достаточной прочности, малой способности к рассеянию и почти аморфной структуре применяется для изготовления реплик в электронной микроскопии.

Представляет интерес ряд сообщений о введении небольших присадок бериллия в платину и в некоторые металлы платиновой группы.

Так, например, несмотря на то, что растворимость бериллия в платине составляет всего 0,25%, присадка 0,35% бериллия ведет к увеличению прочности платины в 5 раз.

Сплавы платина—бериллий могут заменять сплавы платина—иридий. Сплавы платины с 0,03—0,06% бериллия используются для изготовления дюз при производстве стеклянной ваты; сплав платины с 0,08% бериллия и 5—10% вольфрама заменяет осмиевоиридиевые сплавы, используемые для изготовления наконечников перьев авторучек. Для той же цели применяют сплавы рения с 1—2% бериллия.

Указывается, что небольшие добавки бериллия упрочняют молибден в интервале температур 760—870° значительно сильнее, чем присадка любого другого легирующего элемента. Бериллий благоприятно влияет как раскислитель при дуговой плавке богатых молибденовых сталей.

#### Соединения бериллия

Оксид бериллия применяется в атомном реакторостроении для той же цели, что и бериллий, а также в электротехнической промышленности — для изготовления специальных сортов изоляторов и некоторых составов люминесцентных ламп. Кроме того, она применяется для изготовления огнеупорной керамики (труб, тиглей).

Чистая окись бериллия служит также основным сырьем для изготовления бериллия и меднобериллиевой лигатуры по технологии, принятой в США. Другие соединения бериллия практически не имеют самостоятельного применения и используются только как промежуточные полуфабрикаты при получении бериллия, его окиси или сплавов. К числу таких соединений относятся, например, сульфат бериллия, фторобериллат натрия, фторобериллат аммония, фторид бериллия и некоторые другие бериллиевые соли; технология получения первых четырех соединений приведена ниже.

- [Бериллий](#)
- [Получение металлических рубидия и цезия](#)
- [Переработка поллуцита](#)
- [Переработка лепидолита](#)
- [Переработка карналлита](#)
- [Сырьевые источники рубидия и цезия](#)
- [Двойные и комплексные соединения рубидия и цезия](#)
- [Простые соли рубидия и цезия](#)
- [Свойства рубидия и цезия и их соединений](#)
- [Применение рубидия и цезия и их соединений](#)

Имя:\*

E-Mail:

Комментарий:



Я не робот

гeCAPTCHA

Конфиденциальность - Условия использования

Добавить

# 15. БЕРИЛЛИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

(Ю.П. Солнцев)

## ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЕРИЛЛИЯ

Бериллий — светло-серый металл второй группы Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Порядковый номер бериллия 4, атомная масса 9,01, температура плавления 1284 °С. Бериллий может существовать в двух полиморфных модификациях. Низкотемпературная модификация, существующая до 1250 °С, имеет гексагональную плотноупакованную решетку, высокотемпературная — решетку объемно-центрированного куба. Плотность бериллия 1845 кг/м<sup>3</sup>.

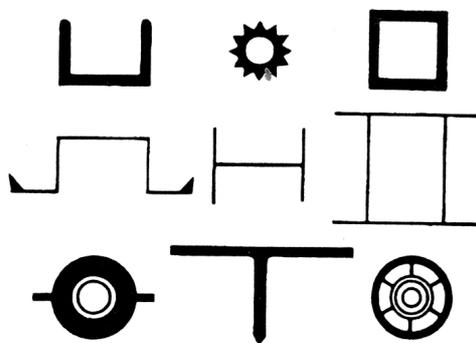
Комплекс физических, химических и механических свойств позволяет отнести бериллий к наиболее ценным конструкционным материалам.

Бериллий является редким металлом. Его содержание в земной коре составляет  $5 \cdot 10^{-4}$  %. Известно около 40 минералов бериллия, из которых наибольшее практическое значение имеет берилл, который после обработки переводят в форму хлорида или фторида. Металлический бериллий получают восстановлением фторида магнием при высокой температуре (900–1300 °С) или электролизом его хлорида в смеси с хлоридом натрия. Дальнейшей вакуумной дистилляцией бериллий очищают до 99,98 %.

Размеры атома бериллия малы (атомный диаметр 0,226 нм). Даже небольшие количества примесей сильно охрупчивают бериллий. Пластичный бериллий, содержащий не более  $10^{-4}$  % примесей, получают электролизом хлоридных расплавов с последующей зонной плавкой. Многократное повторение зонной плавки (до 8 проходов) позволяет получать особо чистый бериллий с чрезвычайно высокой пластичностью ( $\delta = 140$  %). Введение в очищенный бериллий всего 0,001 % Si приводит к охрупчиванию металла.

Для производства компактного бериллия в виде заготовок применяют методы порошковой металлургии. В безокислительной среде бериллий измельчают в порошок и подвергают горячему прессованию в вакууме. Чем мельче зерна порошка, тем выше прочностные и пластические свойства металла. Бериллий и его соединения в виде порошков, пыли и паров остро токсичны, они вызывают расстройство дыхания и дерматиты, поэтому при работе с ними прибегают к специальным методам защиты. Вместе с тем обработанные детали из бериллия вполне безопасны.

Для предотвращения взаимодействия с воздухом горячепрессованные заготовки бериллия помещают в стальные оболочки, нагревают до температуры 800–1100 °С и в таком виде проводят обработку давлением. Прокаткой производят листовой бериллий — основной вид продукции, используемый в ракетной технике. Трубы и прутки получают теплым (400–500 °С) или горячим (900–1100 °С) выдавливанием. Степень обжатия при выдавливании 5:1 и более. Выдавливанием получают заготовки не только круглого или квадратного сечения, но и более сложного профиля (рис. 15.1).



**Рис. 15.1.** Профили заготовок, выдавливаемых из бериллия

Бериллий плохо обрабатывается резанием и требует применения твердосплавного инструмента. Соединения бериллия получают пайкой и дуговой сваркой в аргоне или вакууме.

Механические свойства бериллия зависят от чистоты металла, технологии производства, размера зерна. После горячего прессования при исходной крупности порошка менее 70 мкм  $\sigma_B = 240\text{--}300$  МПа,  $\delta = 1\text{--}2$  %. Свойства горячевыдавленного бериллия значительно выше —  $\sigma_B = 500\text{--}700$  МПа и  $\delta = 7\text{--}10$  %. Деформированные полуфабрикаты имеют развитую текстуру деформации, вызывающую сильную анизотропию свойств.

По сравнению с другими легкими материалами бериллий обладает уникальным сочетанием физических и механических свойств. По удельной прочности и жесткости он превосходит все другие металлы (табл. 15.1).

Благодаря высокому значению модуля упругости ( $E = 300$  ГПа) и низкой плотности, бериллий по удельной жесткости превосходит все известные материалы, сохраняя это преимущество до  $500\text{--}600$  °С (рис. 15.2).

Таблица 15.1

### Удельная прочность и жесткость материалов

Материал	$\sigma_B$ , МПа	$\gamma$ , (кг/м <sup>3</sup> ) · 10 <sup>-3</sup>	$\sigma_B / (\gamma g)$ , км	$E / (\gamma g)$ , км
Магнийевый сплав МА10	430	1,8	24	2,3
Алюминиевый сплав В95	700	2,9	21	2,4
Титановый сплав ВТ6	1500	4,5	22	2,6
Сталь 03Н18К9М5Т	1750	7,8	23	2,6
Бериллий	680	1,8	38	16,1

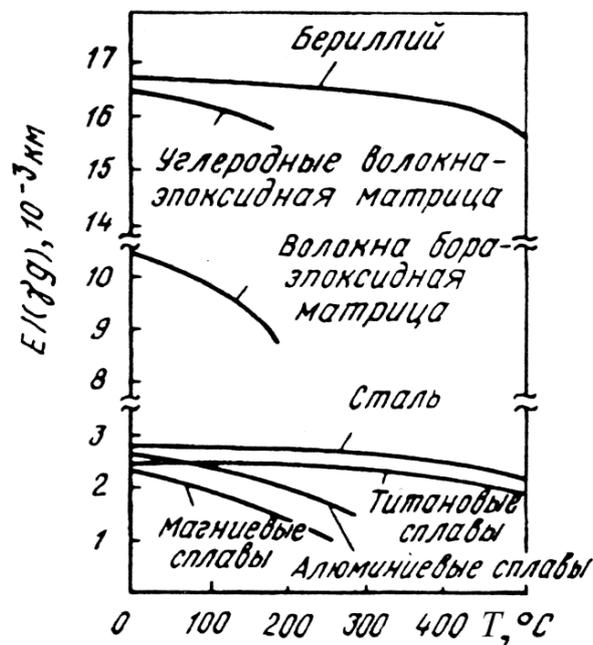


Рис. 15.2. Влияние температуры на удельный модуль упругости различных материалов

Бериллий отличается высокой электро- и теплопроводностью, приближающейся к теплопроводности алюминия, а по удельной теплоемкости [ $\approx 2500$  Дж/(кг · град)] превосходит все остальные металлы. Бериллий стоек к коррозии. Подобно алюминию, при взаимодействии бериллия с воздухом на поверхности его образуется тонкая оксидная пленка, защищающая металл от действия кислорода даже при высокой температуре. Лишь при температуре выше  $700$  °C обнаруживаются заметные признаки коррозии, а при  $1200$  °C металлический бериллий сгорает, превращаясь в белый порошок оксида бериллия.

Бериллий имеет высокие ядерные характеристики — самое низкое среди металлов эффективное поперечное сечение захвата тепловых нейтронов и самое высокое поперечное сечение их рассеяния.

Недостатками бериллия является высокая стоимость, обусловленная дефицитностью исходного сырья и сложностью его переработки, а также низкая хладостойкость. Ударная вязкость технического бериллия ниже  $5$  Дж/см<sup>2</sup>.

Несмотря на эти недостатки, уникальная совокупность технических преимуществ позволяет относить бериллий к числу выдающихся аэрокосмических материалов.

## СПЛАВЫ БЕРИЛЛИЯ

Главная сложность при легировании бериллия состоит в малых размерах его атомов, в результате чего большинство элементов при растворении сильно искажают кристаллическую решетку, сообщая сплаву повышенную хрупкость. Легирование возможно лишь теми элементами, которые образуют с бериллием механические смеси с минимальной взаимной растворимостью.

Серьезный недостаток бериллия, заключающийся в низкой ударной вязкости и хладноломкости, может быть преодолен использованием сплавов с алюминием. Из диаграммы состояния Al—Be видно, что эти элементы практически взаимно нерастворимы (рис. 15.3). В таких сплавах эвтектического типа твердые частицы

бериллия равномерно распределены в пластичной алюминиевой матрице. Сплавы содержат 24–43 % алюминия, остальное — бериллий. Фирмой «Локхид» (США) разработан сплав, содержащий 62 % бериллия, названный локеллоем. Сплавы Ве—Al имеют структуру, состоящую из мягкой пластичной эвтектики и твердых хрупких включений первичного бериллия. Эти сплавы сочетают высокую жесткость, прочность и малую плотность, характерные для бериллия, с пластичностью алюминия (рис. 15.4). Благодаря пластичности матрицы снижается концентрация напряжений у частиц бериллиевой фазы и уменьшается опасность образования трещин, что позволяет использовать сплавы в условиях более сложного напряженного состояния.

Для получения бериллиево-алюминиевых сплавов также используют методы порошковой металлургии. Деформацию осуществляют выдавливанием с последующей ковкой и штамповкой в оболочках. Механические свойства труб из локеллоя (Ве + 38 % Al) при комнатной температуре:  $\sigma_B = 600$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 570$  МПа,  $\delta = 1$  %.

Для увеличения прочности сплавы Ве—Al дополнительно легируют магнием и серебром — элементами, растворимыми в алюминиевой фазе. В этом случае матрица представляет собой более прочный и вязкий сплав Al—Mg или Al—Ag.

Пластичную матрицу можно получить, используя композицию Ве—Ag, содержащую до 60 % серебра. Сплавы с серебром дополнительно легируют литием и лантаном.

За исключением сплавов с пластичной матрицей, легирование другими элементами не устраняет хладноломкость бериллия. Максимальную пластичность имеет бериллий высокой чистоты.

Широкое распространение получили сплавы меди с 2–5 % бериллия, так называемые бериллиевые бронзы. В России широко применяется бериллиевая бронза БрБ2 с 2 % Ве. Из диаграммы состояния (рис. 15.5) видно, что этот сплав дисперсионно-твердеющий и может упрочняться закалкой с последующим старением. Закалка с 800 °С фиксирует пересыщенный  $\alpha$ -твердый раствор, из которого в процессе старения при 300–350 °С выделяются дисперсные частицы CuВе, образуя регулярную, так называемую квазипериодическую структуру (рис. 15.6). После закалки свойства бериллиевой бронзы БрБ2:  $\sigma_B = 500$  МПа,  $\delta = 30$  %, после старения —  $\sigma_B = 1200$  МПа,  $\delta = 4$  %.

Бериллиевые бронзы обладают высокими упругими свойствами. Их используют для изготовления пружин, сохраняющих упругость в широком интервале температур, в том числе в криогенных условиях. Они хорошо сопротивляются усталости и коррозии.

Бериллиевые бронзы немагнитны и не искрят при ударе. Из них изготавливают инструменты для работы во взрывоопасных средах — шахтах, газовых заводах, где нельзя использовать обычные стали (рис. 15.7).

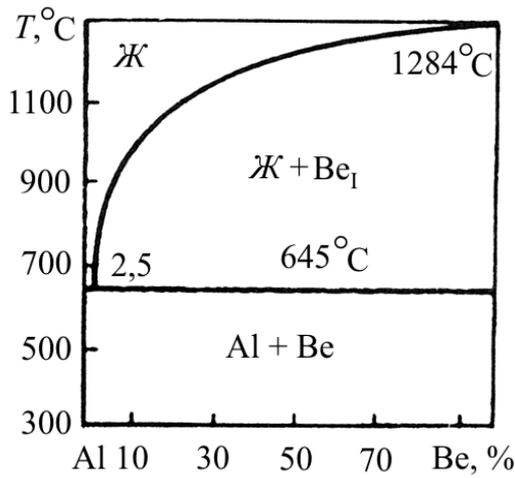


Рис. 15.3. Диаграмма состояния системы Al—Be

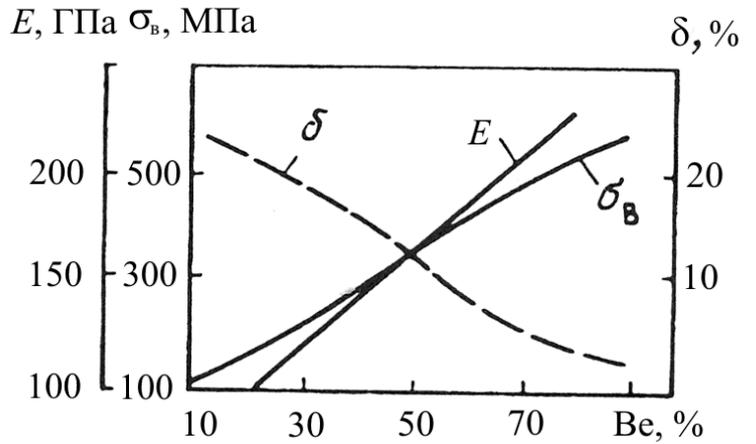


Рис. 15.4. Зависимость механических свойств сплавов Al—Be от содержания бериллия

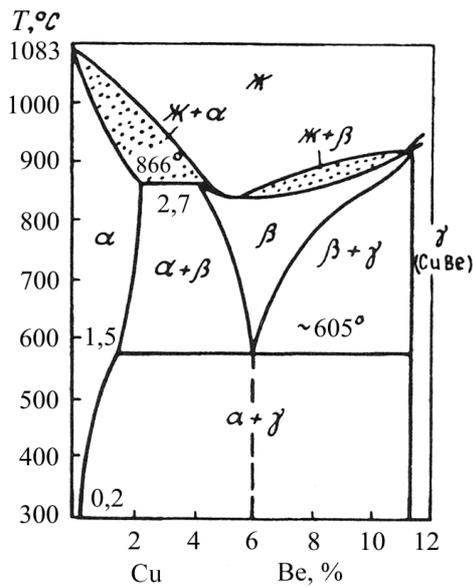


Рис. 15.5. Диаграмма состояния системы Cu—Be

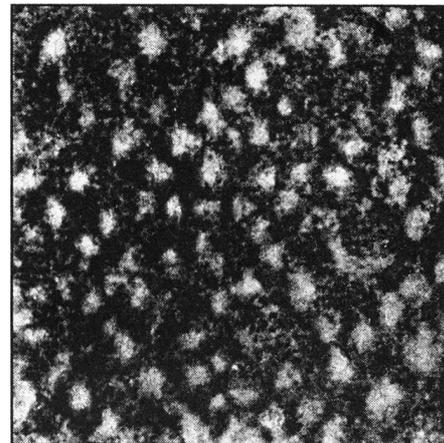


Рис. 15.6. Электронно-микроскопическое изображение бериллиевой бронзы после сгорания (регулярное расположение выделений).  $\times 50\,000$

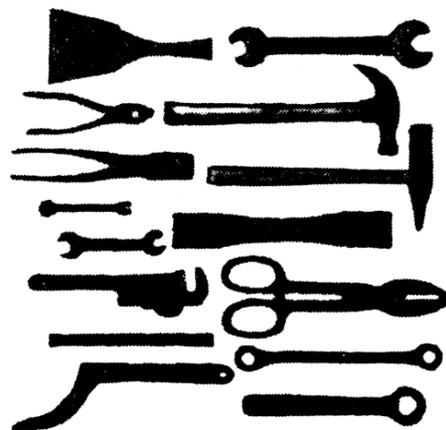


Рис. 15.7. Неискрящие и немагнитные инструменты медно-бериллиевого сплава)

Литейные бериллиевые сплавы (ЛБС), состав которых приведен в табл. 15.2, используют для деталей корпусов оснований, рам, кронштейнов и др. Бериллиевые сплавы характеризуются высокими значениями теплоемкости, которые в 1,6 раза выше, чем у сплавов алюминия.

Теплопроводность и температуропроводность сплавов лишь незначительно уступает литейным алюминиевым сплавам.

Совокупность теплофизических характеристик бериллиевых сплавов в целом выгодно отличает их от других материалов (например, силуминов) и определяет высокую размерную стабильность в условиях возникновения температурных градиентов при эксплуатации изделий.

Коррозионная стойкость бериллиевых сплавов находится на высоком уровне. Анодная оксидированная пленка на поверхности и лакокрасочные покрытия дополнительно обеспечивают надежную защиту сплавов ЛБС от коррозии.

Механические свойства литейных бериллиевых сплавов при комнатной температуре приведены в табл. 15.3, а свойства при различных температурах испытания — в табл. 15.4.

Таблица 15.2

### Химические составы (% , остальное — Ве) литейных бериллиевых сплавов

Сплав	Al	Ni	Mg	Cu	Zr, Sc, Y, Gd, PЗМ	Примеси, не более				
						Si	Fe	Mn	Ti	O <sub>2</sub>
ЛБС-1	24–34	3–6	–	–	0,06–0,21*	0,1	0,15	0,1	0,05	0,1
ЛБС-2	36–24	3,5–4,5	0,6–0,8	–	0,03–0,12**	0,1	0,15	0,1	0,05	0,1
ЛБС-3	30–34	–	0,1–0,6	6–8	0,05–0,1	0,1	0,15	–	–	0,1

\* Допускается введение только Zr, Sc.

\*\* Допускается введение одного или нескольких элементов Sc, Zr, La, Pr, Nd при содержании: минимальном — 0,01 %, максимальном — 0,08 % любого.

Таблица 15.3

### Механические свойства литейных бериллиевых сплавов

Свойство	ЛБС-1	ЛБС-2	ЛБС-3
$\sigma_B$ , МПа	220–250	250–320	270–280
$\sigma_{0,2}$ , МПа	180–220	220–270	250–270
$\delta$ , %	2–3	2–3	1,1–1,3
$\psi$ , %	2–3	2–3,5	–
KCU, МДж/м <sup>2</sup>	0,025–0,035	0,033–0,040	0,025–0,045
E, ГПа	200	200	200

Таблица 15.4

### Механические свойства бериллиевых сплавов при различных температурах

Свойство	Сплав	Температура испытаний, °С				

		-100	0	100	200	300	400
$\sigma_B$ , МПа	ЛБС-1	255	225	186	147	112	–
	ЛБС-2	274	255	235	176	118	70
$\sigma_{0,2}$ , МПа	ЛБС-1	235	196	145	120	103	–
	ЛБС-2	245	216	170	140	108	60
$\delta$ , %	ЛБС-1	2,8	2,4	2,5	2,5	1–2,4	–
	ЛБС-2	2,0	2,1	2,1	2,2	3,0	4,0

Деформированные бериллиевые сплавы обладают высокой жесткостью и низкой плотностью. Эти сплавы являются перспективными для использования в некоторых элементах самолетных двигателей. Для повышения жаропрочных свойств бериллия используется сложное последовательное легирование.

На первом этапе выбирают оптимальный бинарный сплав (табл. 15.5).

Таблица 15.5

### Механические свойства двойных сплавов (остальное — Ве)

Содержание легирующих элементов, %	Средний размер зерна, мкм	$\sigma_B$ , МПа		$H_u$ при 20 °С
		20 °С	500 °С	
6,7 Cu	124	256	146	198
2,4 Ag	186	282	209	215
5,8 Ni	160	346	275	247
1,7 Co	96	301	218	247
0,2 Fe	347	307	125	180

Из рассмотренных двойных систем сплавы системы Ве—Ni характеризуются наиболее высокими механическими свойствами как при комнатной температуре, так и при 500 °С.

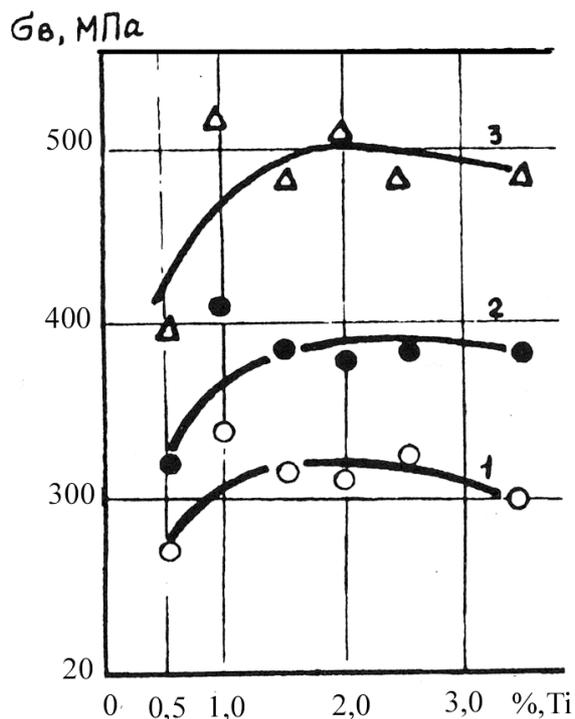
Дальнейшее упрочнение осуществляется введением титана, образующего высокопрочные интерметаллиды TiBe<sub>12</sub>.

Влияние Ti на прочность сплавов системы Ве—Ni показано на рис. 15.8.

На основе системы Ве—Ni разработан сплав, имеющий марку ВБД-1 при изготовлении из литой заготовки и ВБД-1П при изготовлении из порошков со следующим химическим составом: (7,5–8,5 %) Ni; (0,8–1,2 %) Ti; остальное — Ве.

Механические свойства сплава ВБД-1П приведены в табл. 15.6.

Предел выносливости сплава ВБД-1П при 500 °С в два раза выше, чем у бериллия; удельная жесткость ( $E/\gamma$ ) при 20 °С ниже, а при 500 °С — на 10 % выше, чем у бериллия. Модуль упругости составляет 250 ГПа. Высокая жесткость сохраняется при температурах до 700 °С. Предел ползучести и длительная жаропрочность сплава ВБД-1П при 400 °С такие же, как у деформированного бериллия при 300 °С.



**Рис. 15.8.** Влияние Ti на прочность сплавов системы Ве—Ni—Ti при 20 °С и в зависимости от содержания Ni: 1 — 4%; 2 — 6%; 3 — 8% (по И.Н. Фридляндеру)

Таблица 15.6

### Механические свойства сплава ВБД-1П

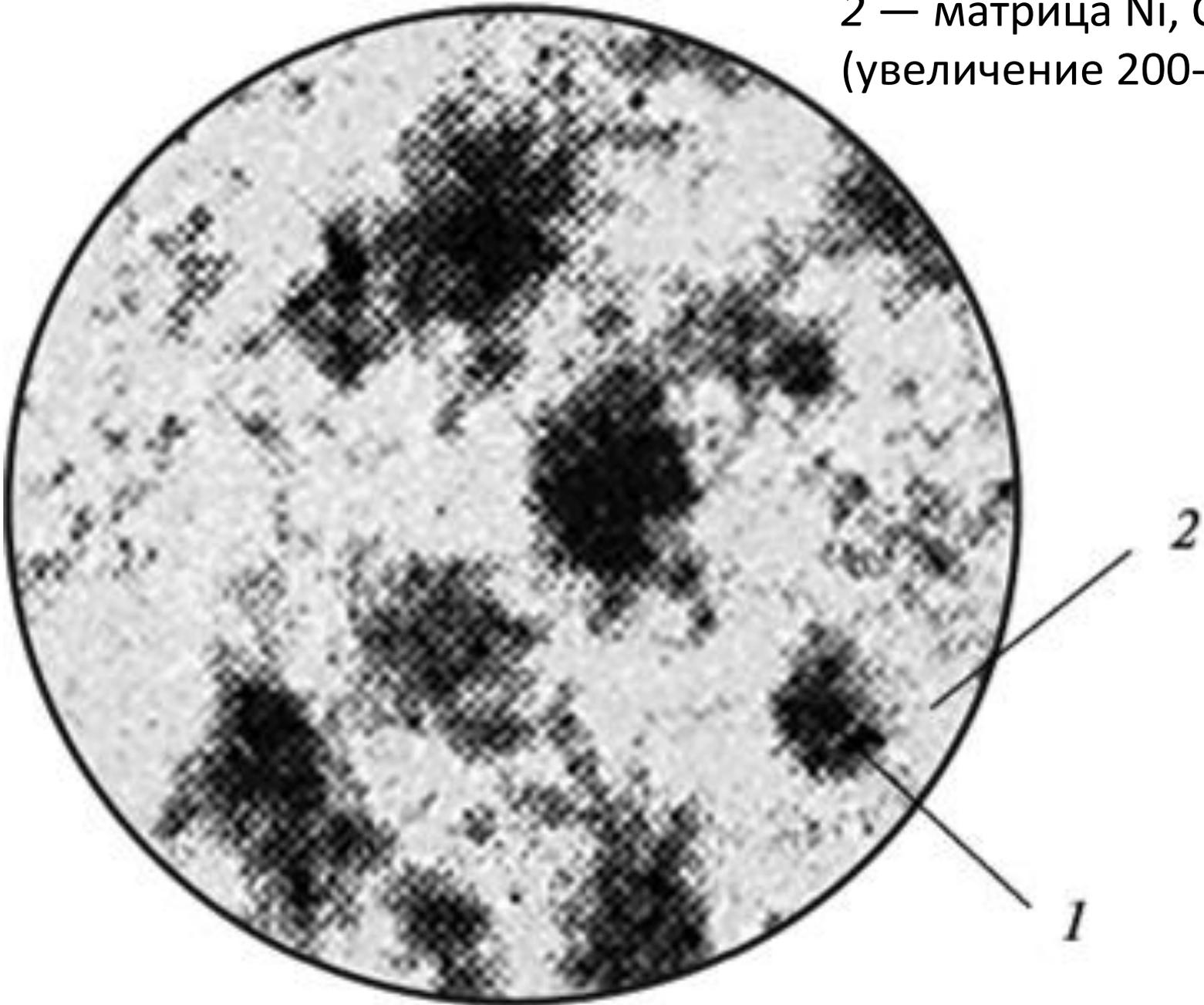
$T_{\text{исп}},$ °С	Состояние	$\sigma_{\text{в}},$ МПа	$\sigma_{0,2},$ МПа	$\delta,$ %	КСУ, МДж/ м <sup>2</sup>
20	Деформированное	500–550	450–490	0,8–1,5	0,01
500	Отожженное	350–370	290–310	2,5–6,0	0,03
700	То же	150–170	100–120	14–18	–



## Микроструктура бериллия



1 — частицы бериллия;  
2 — матрица Ni, Co или др.  
(увеличение 200-кратное)



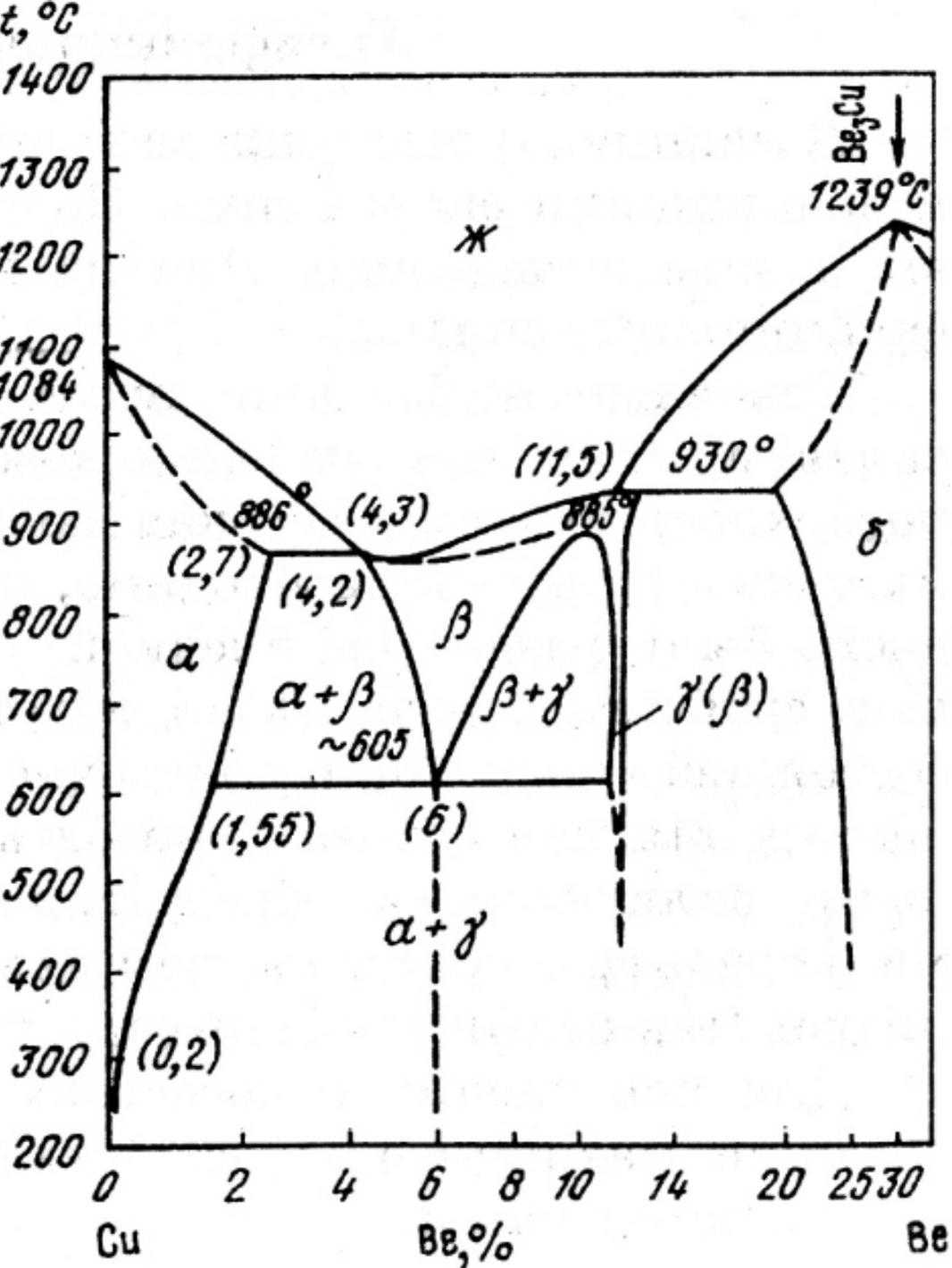
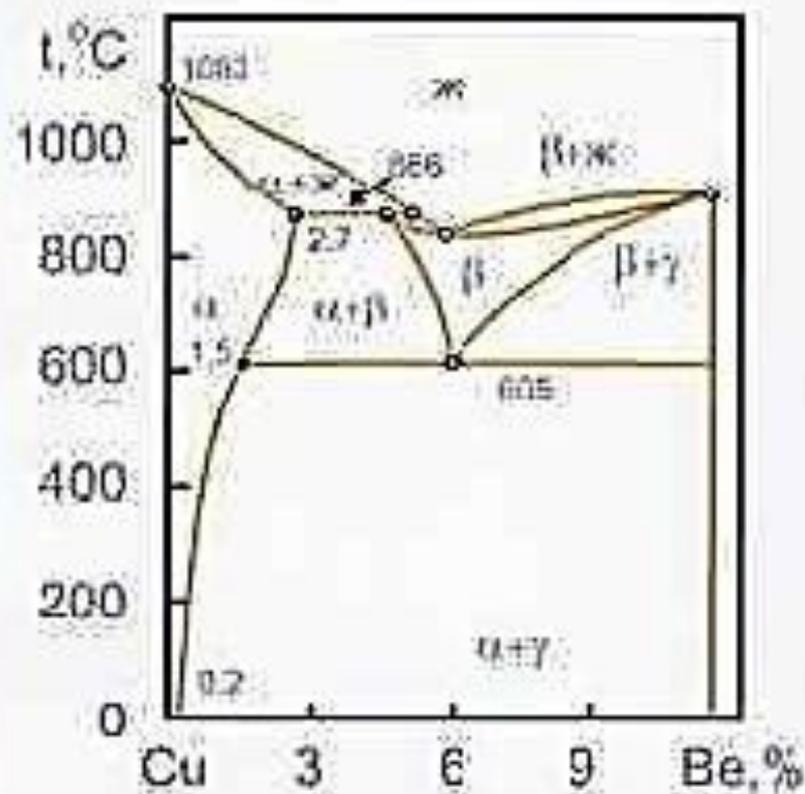


Диаграмма  
состояния Си-Ве

# Бериллиевые бронзы

Диаграмма состояний  
Cu-Be



Структура бронзы БрБ2

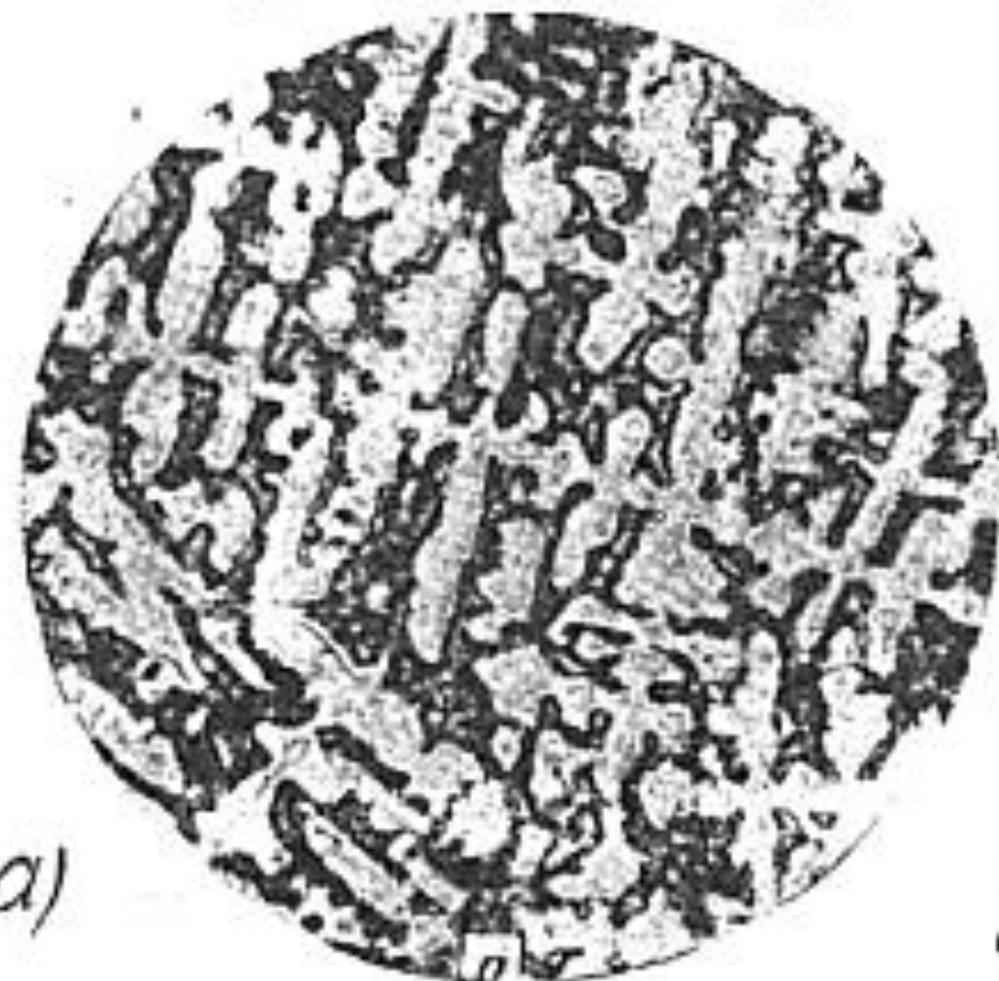


x800

## Состав и свойства бериллиевых бронз

Марка сплава	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{в}$ МПа	$\delta$ , %
	Be	Ni	П			
БрБ2	1,9-2,2	0,2-0,5	-	Закалка от 760-780°С старение 320-350°С 2-5 часов	1150	4
БрБНП1,7	1,6-1,85	0,2-0,4	0,1-0,25	Закалка от 760-780°С старение 320-350°С 2-5 часов	1000	5

# Микроструктура бериллиевой бронзы x250



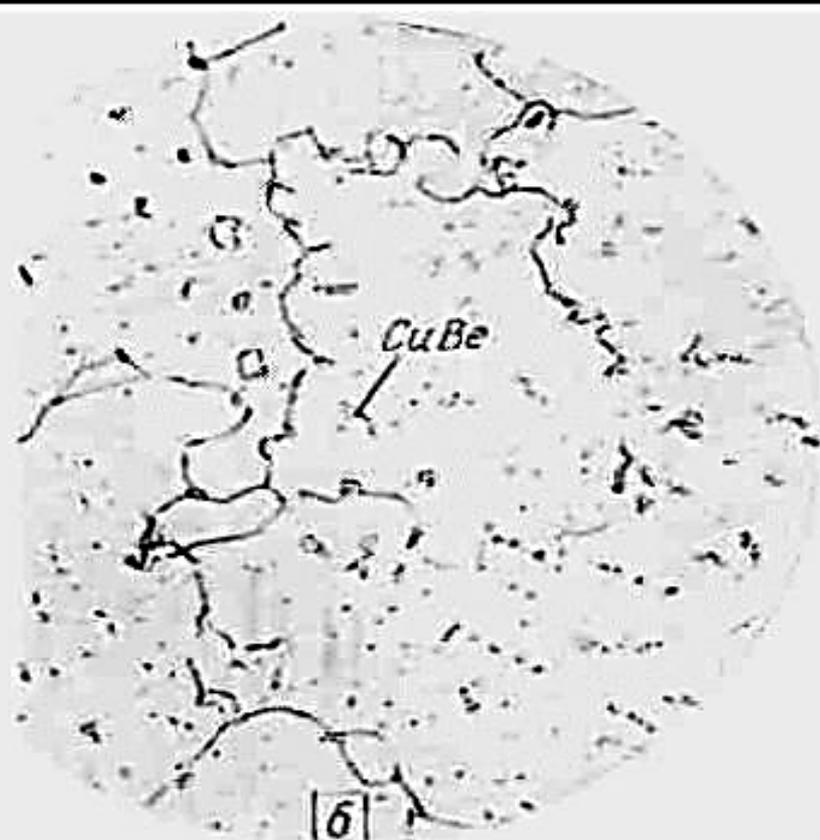
a)



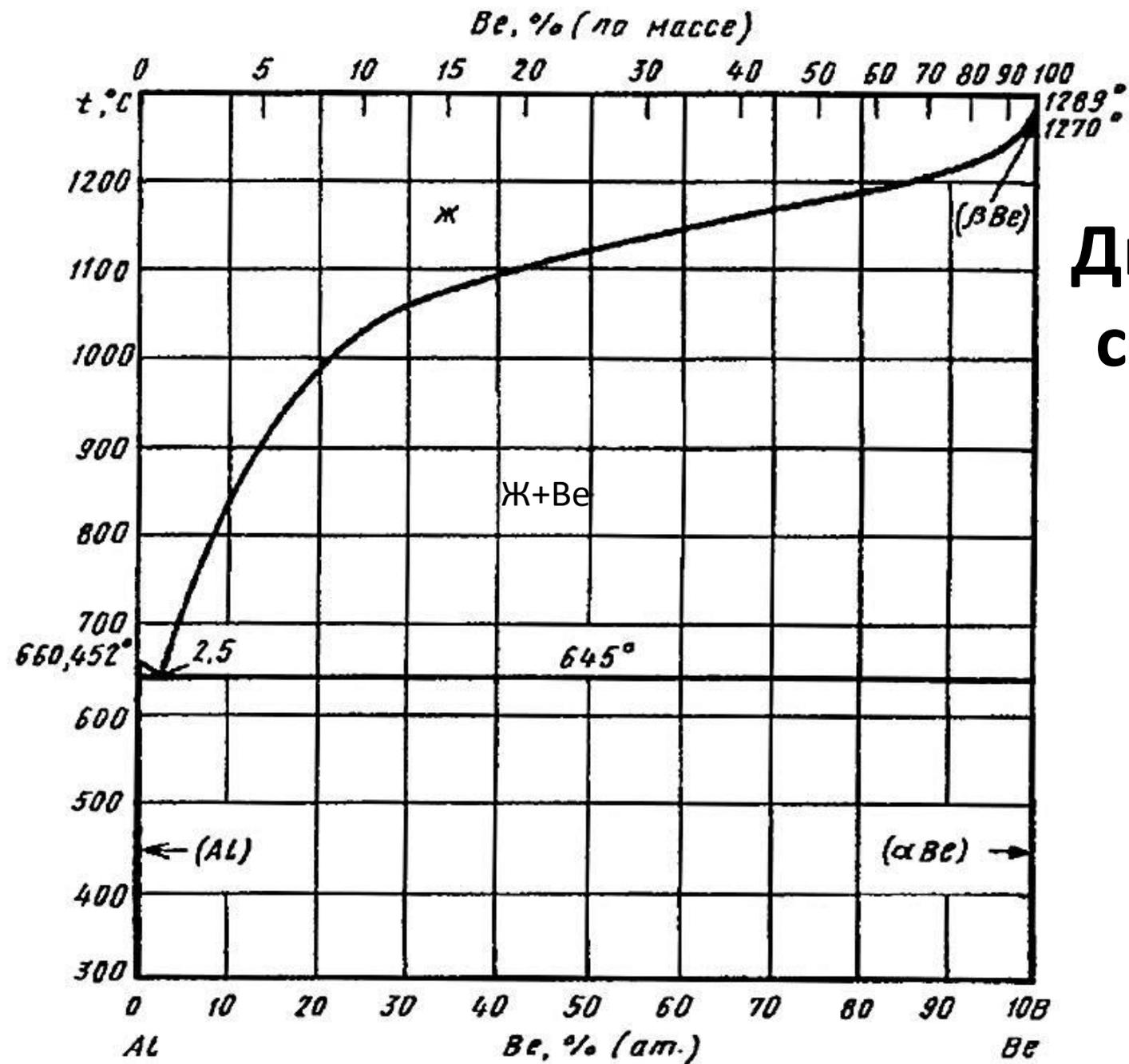
б)

а - литая бериллиевая бронза;

б - деформированная бериллиевая бронза



Микроструктура бериллиевой бронзы Бр.Б2,5: а — литой. В межосных пространствах дендритов  $\alpha$  - твердого раствора видны включения эвтектоида  $\alpha + \gamma$  (CuBe). x150; б — литой бронзы, закаленной с  $800^{\circ}\text{C}$  и отпущенной при  $350^{\circ}\text{C}$  в течение 2 ч. По границам и внутри зерен  $\alpha$ -фазы имеются включения фазы CuBe.

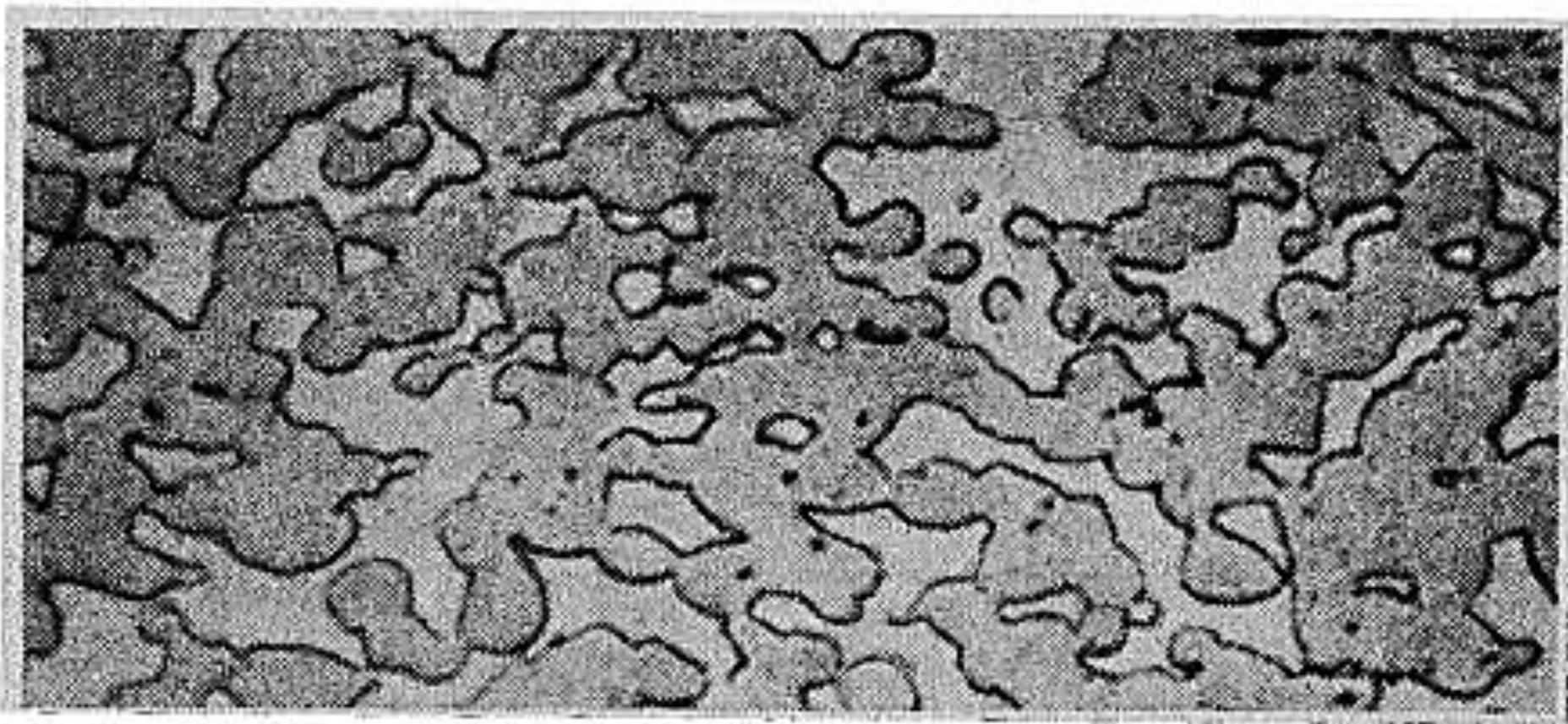


**Диаграмма  
состояния  
Al-Be**

# Сплавы алюминия и бериллия

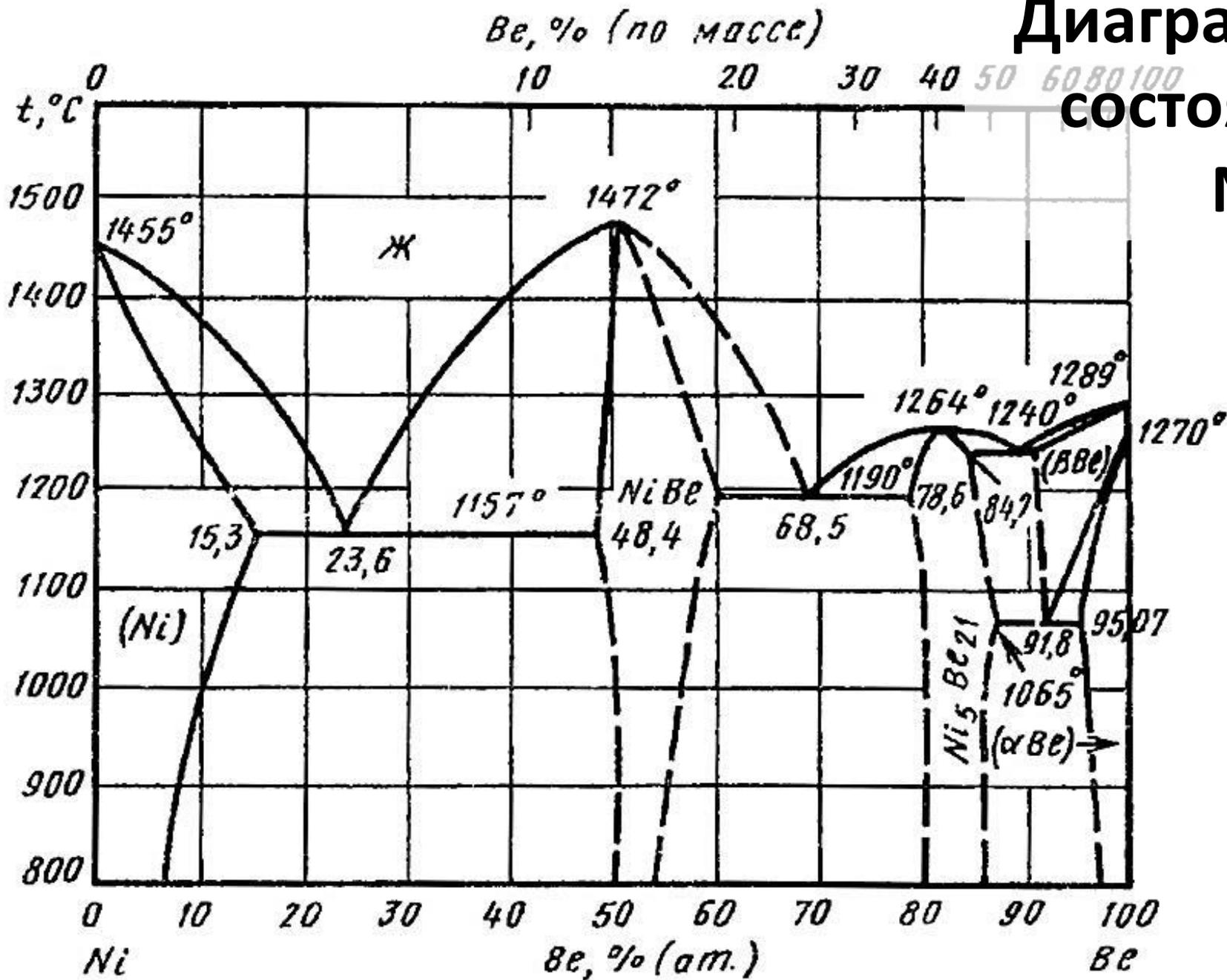
Некоторые бериллиевые сплавы имеют идеальные для **сверхпластичности** микроструктуры. На рис. далее показана микроструктура отожженного сплава **локаллой** [Be+33%(по массе)Al].

**Двухфазная** микроструктура по своему характеру напоминает микроструктуру сверхпластичных **эвтектоидных** сплавов. Зерно чрезвычайно **мелкое** и должно быть **стабильно** при **высоких** температурах ввиду двухфазности. **Бинарные** сплавы, выявляющие сверхпластичность, обычно состоят из элементов с **близкими температурами плавления** и близкими диффузионными характеристиками в обеих фазах. Сплавы **Be-Al** не соответствуют этим критериям. Однако, скорость **самодиффузии** в бериллии аномально высокая и очень близка к самодиффузии алюминия при любой температуре ниже точки плавления алюминия. Поэтому, вероятно, можно установить условия, при которых **бериллиево-алюминиевые** сплавы будут **сверхпластичными**.



**Рис. 12. Микроструктура сплава локаллой Be+33% (по массе) Al**

# Диаграмма СОСТОЯНИЯ Ni-Be



# Диаграмма состояния Fe-Be

