

Алюминий и его сплавы

Физические и механические свойства алюминия:

Имеет гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК), полиморфизма нет

Температура плавления, °С	660
Плотность, кг/м ³	2700
Электропроводность, Ом·м	$2,8 \cdot 10^{-8}$

Состояние листа	Толщина листа, мм	σ_b , МПа, не менее	δ , %, не менее
Отожженный	1–10	60	28
Нагартованный	4–10	130	5
Горячекатаный	5–10,5	70	15

Маркируется по (ГОСТ 11069–74) **буквой «А»**. **ЦЫФРА** - только дробная часть содержания основного металла в весовых % после запятой числа «99»: особой чистоты (осч) – А999; высокой чистоты (вч) – А995, А99, А97, А95 и технически чистый – А85, А8, А7, А7Е, А5, А5Е, А0. Если в конце марки стоит буква Е – металл предназначен для получения проволоки, если стоит буква Р – рафинированный. Деформируемый алюминий технической чистоты маркируется (ГОСТ 4784–74) буквами АД (алюминий деформируемый) и порядковым номером: АД00, АД0, АД1, АДШ (Ш – металл для изготовления

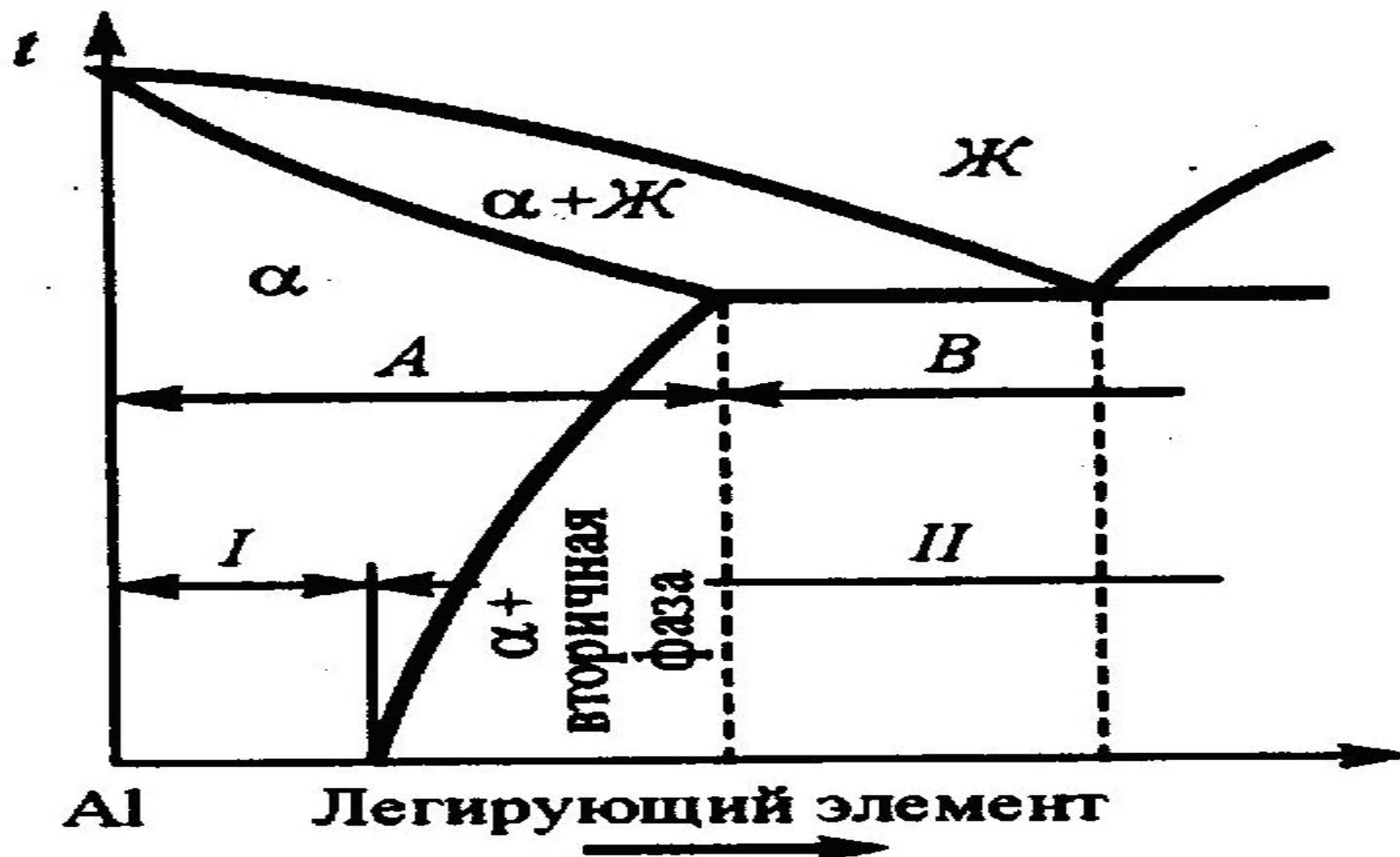


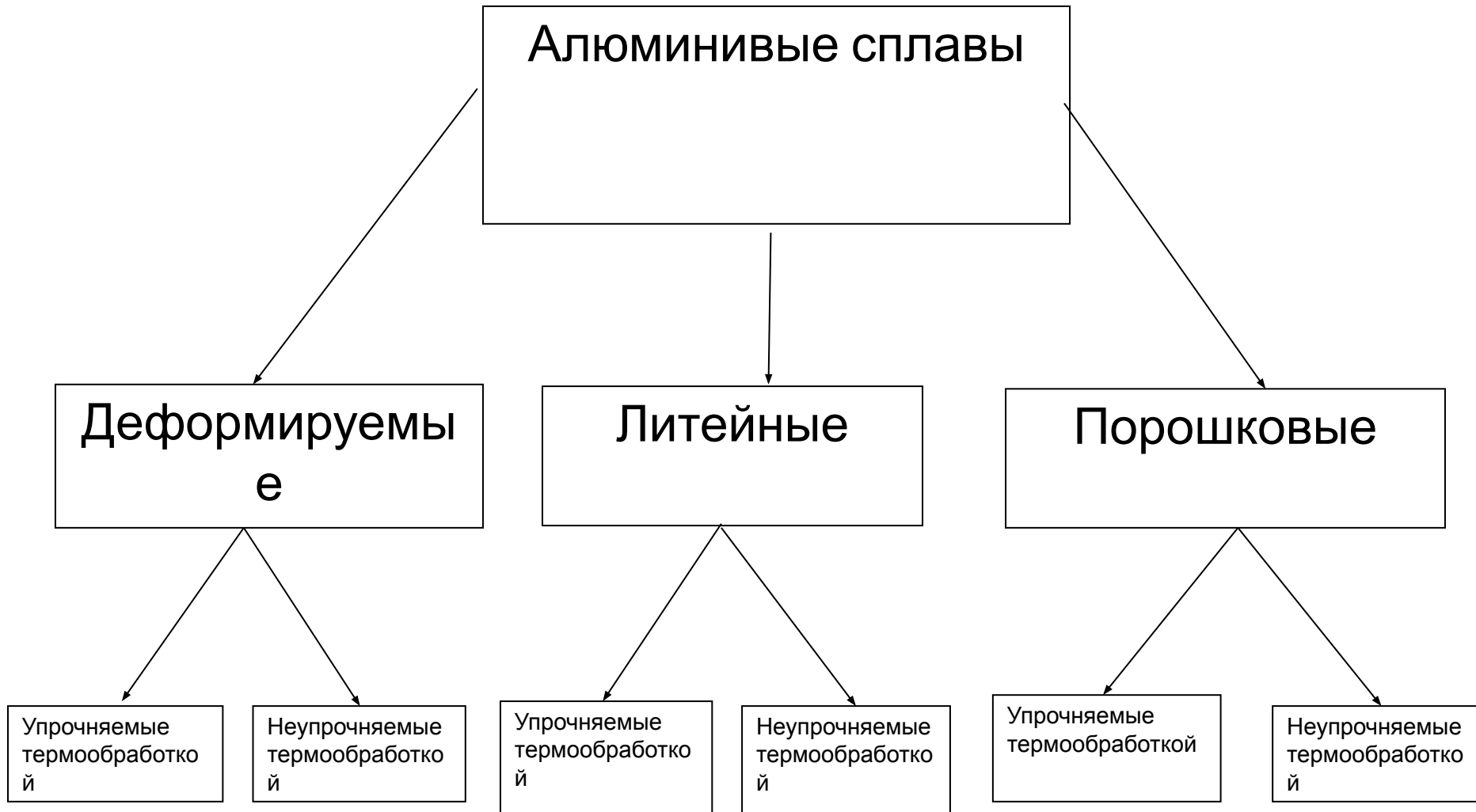
Диаграмма состояния алюминий - легирующий элемент
(схема):

А – деформируемые сплавы, В – литейные сплавы.

I - сплавы не упрочняемые термической обработкой;

II – сплавы упрочняемые термической обработкой

КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ



Деформируемые коррозионностойкие сплавы, неупрочняемые термической обработкой

- сплавы алюминия с марганцем (АМц) и с магнием (АМг). Они хорошо свариваются, а структура твердого раствора обеспечивает им высокую пластичность (легко обрабатываются давлением в холодном состоянии)

Сплав

АМц (1,0—1,6% Mn; 1,8— 6,8% Mg)

Структура - α -твёрдый раствор и вторичная фаза $(\text{Mn, Fe})\text{Al}_6$, не растворимая в алюминий. В отожженном состоянии обладают высокой пластичностью, сплав АМц-М: ($\delta = 18 - 22\%$) и низкой прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 130 \text{ МПа}$), а нагартованный АМц-Н: $\delta = 2 \%$; $\sigma_{\text{в}} = 200 \text{ МПа}$. Упрочняется пластической деформацией.

Сплавы

АМг маркируют содержанием

магния в весовых % после букв АМг, Например, алюминиевый сплав АМг2 (ГОСТ 4784–74) –

алюминиевый сплав с содержанием 2 % магния.

Магний образует с алюминием α -твёрдый раствор и

труднорастворимую фазу Mg_2Al_3 . Сплав АМг в

отожженном состоянии имеет $\sigma_{\text{в}} = 190 \text{ МПа}$, $\delta = 23\%$.

Используют при изготовлении бензо- и маслопроводов, ёмкостей для жидкостей, в авиа- и судостроении, в строительстве (витражи, двери, оконные рамы)

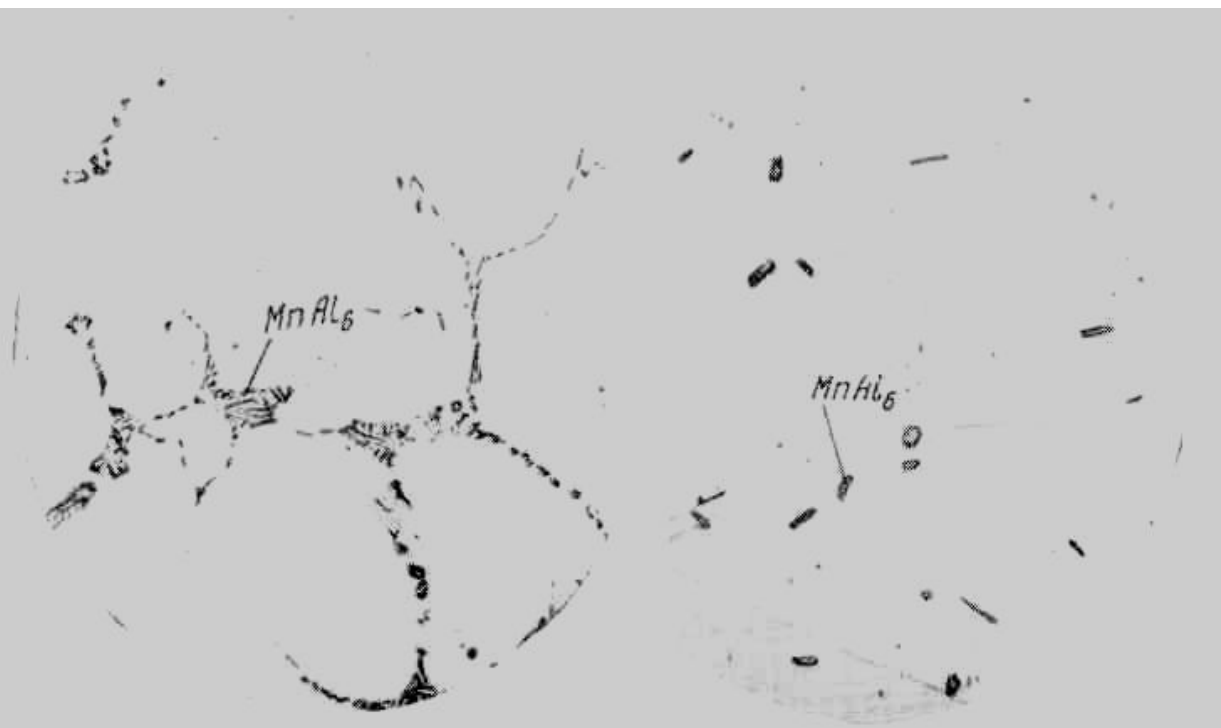


Рис. 1

Слева - микроструктура литого сплава АМц (1,3% Мп, 0,3% Fe, 0,23% Si, остальное А1). X 250. На фоне α -твердого раствора видны включения марганцовистой фазы $MnAl_6$ (темные).

Справа - микроструктура отожженного сплава АМц. Видны зерна α -твердого раствора и фаза $MnAl_6$

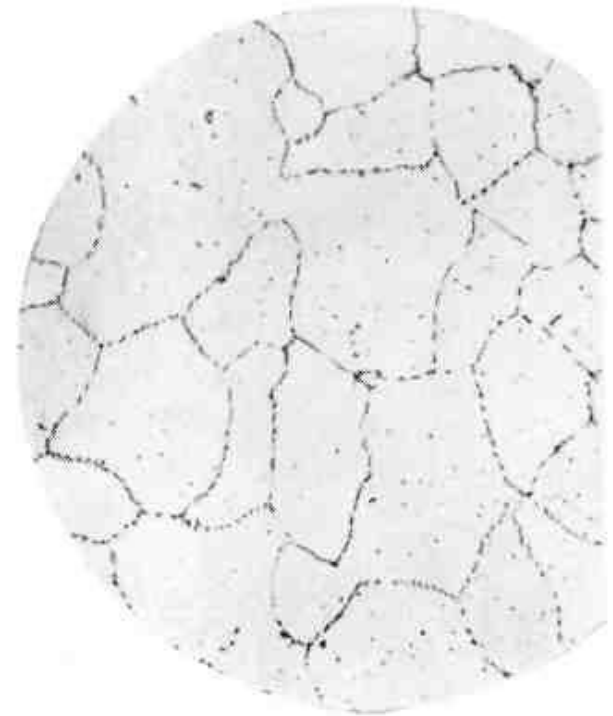


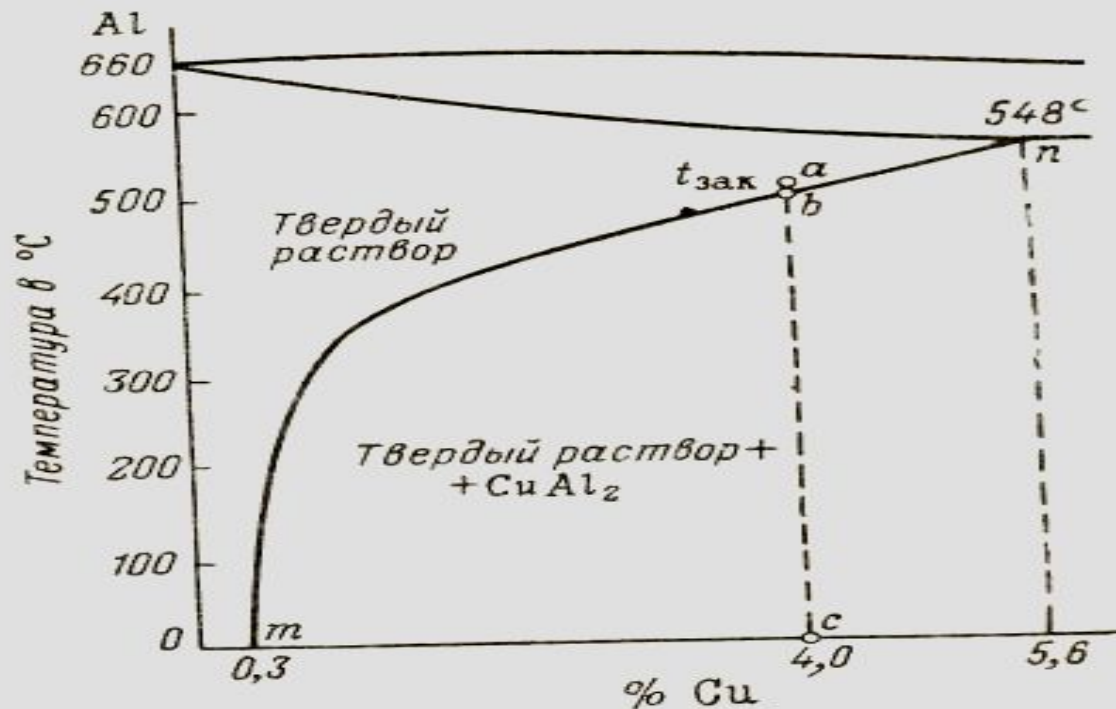
Рис. 2

Микроструктура отожженного сплава АМг5. x250. Основные структурные составляющие: α -твердый раствор, фаза R (Mg_2Al_3) и марганцовистая фаза

обработкой

– сплавы, в состав которых входят медь, магний, цинк, марганец, кремний и др. Эти элементы образуют с алюминием твердые растворы переменной растворимости, зависящей от температуры, и ряд химических соединений (CuAl_2 ; Al_2CuMg ; Mg_2Si и др.), что позволяет упрочнять такие сплавы термической обработкой – закалкой и последующим старением

Дюралюмины – сплавы (на основе алюминия с медью, магнием, марганцем) для повышения коррозионной стойкости и механических свойств. Структура сплавов в отожженном состоянии: твердый раствор и кристаллы CuAl_2 , Al_2CuMg – основных упрочняющих фаз. Маркируют буквой «Д», цифра – номер сплава. После цифры буква: М – мягкий (отожженный), Т – термически обработанный, Н – нагартованный. ТО: закалка с $490 - 500^\circ\text{C}$ и естественное старение – 5 суток; или искусственное старение при 190°C в



Выбор температуры
нагрева под
закалку
дюралюмина
(4 % Cu)

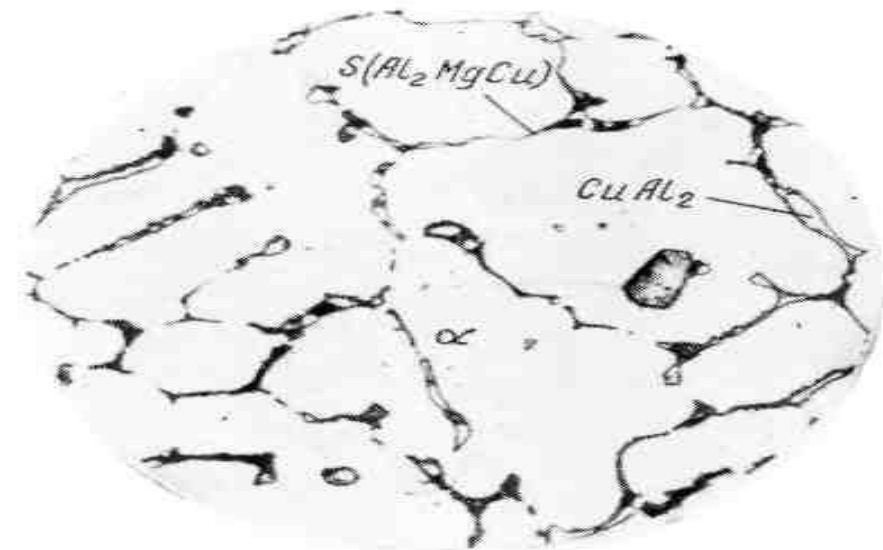


Рис. 1. Микроструктура литого дюралюминия Д16 (4,52% Си, 1,4% Mg, 0,6% Мп, остальное А1). х 150. Дендриты алюминиевого твердого раствора — светлые, фаза CuAl_2 — светлая фаза



Рис.2. Микроструктура деформированного отожженного дюралюминия. х1000

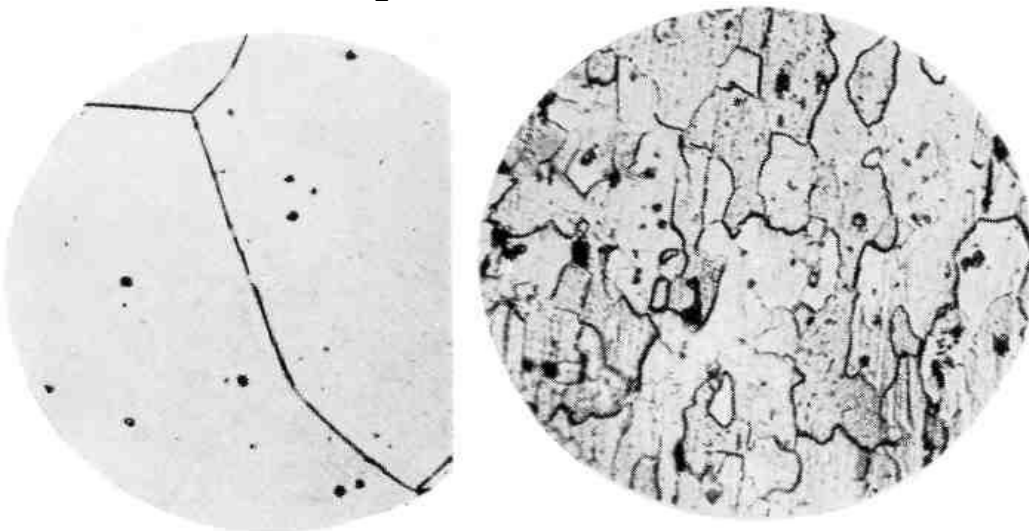
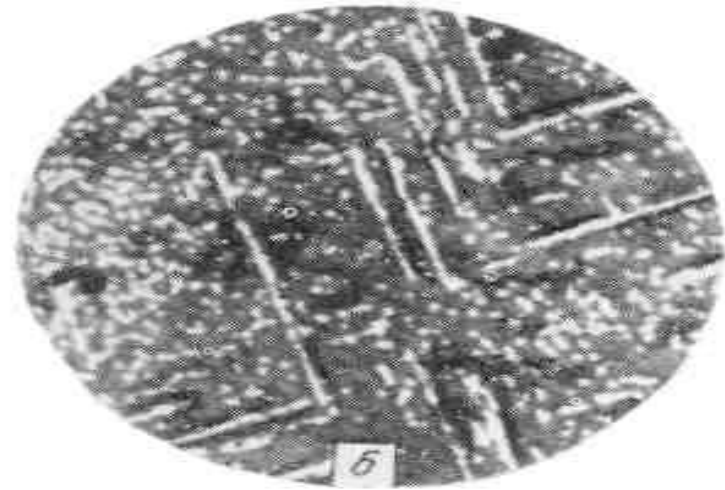
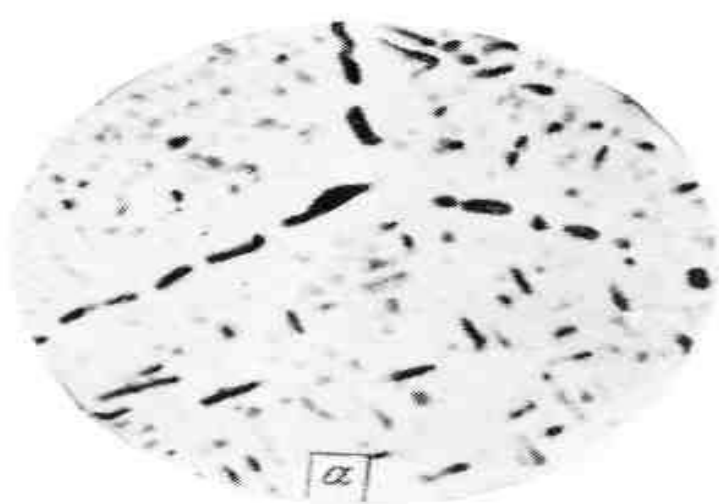
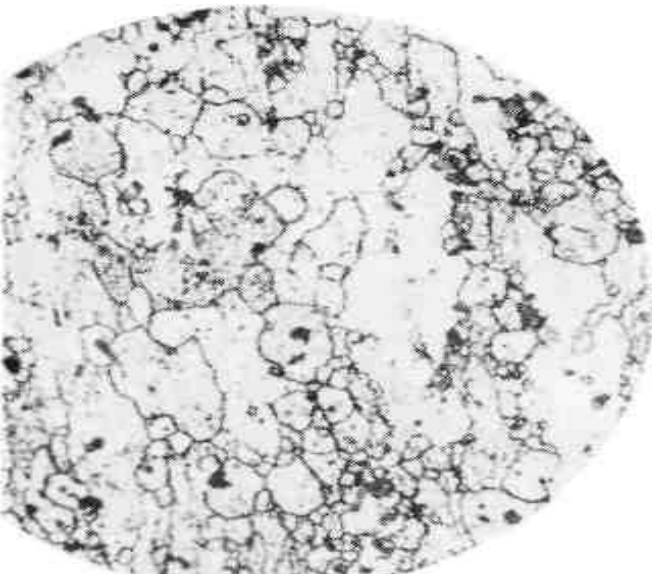


Рис.3. **Слева** - микроструктура закаленного дюралюминия Д16. х500. Видны зерна твердого раствора и включения нерастворимых фаз. **Справа** - микроструктура естественно состаренного дюралюминия Д16. х 200. На шлифе, кроме твердого раствора, видны темные включения марганцевистой и железосодержащих фаз

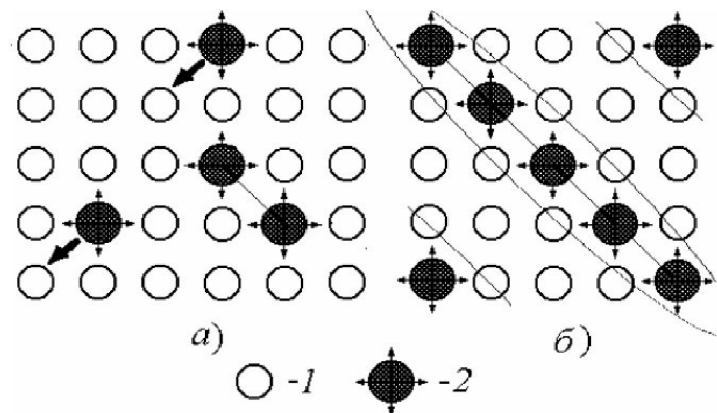


Микроструктура искусственно состаренных сплавов:

а — картина распада в закаленном сплаве Al — Cu при 180° C (электронный микроскоп x250000); **б** — микроструктура искусственно состаренного дюралюминия (3,67% Cu; 0,95% Mg, остальное Al). Закалка с 510°С и старение при 250° C в течение 2 ч. x1000. По границам и внутри зерен α -твердого раствора видны серые включения CuAl_2 и темные включения фазы S - (Al_2MgCu)

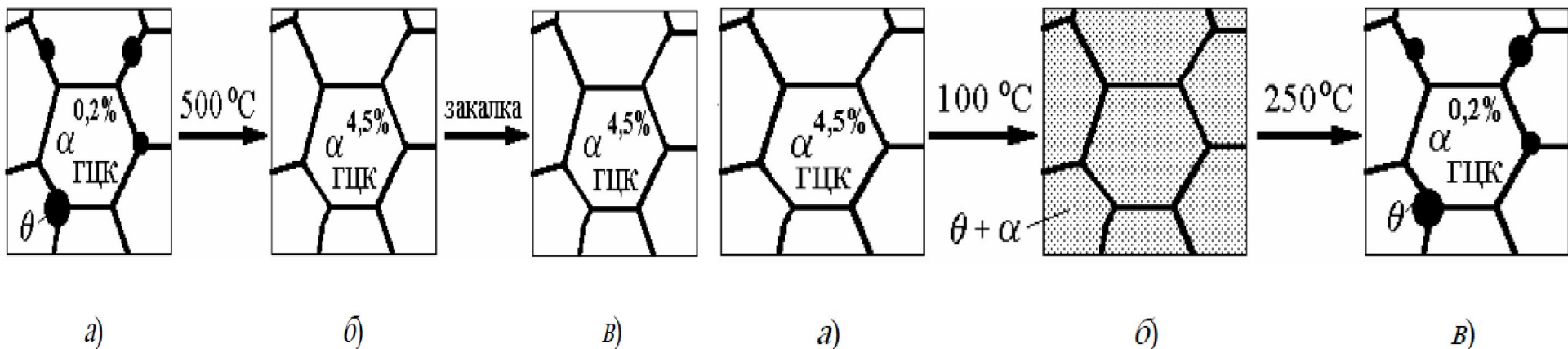


Микроструктура сплава АК8 (4,5% Cu; 0,69% Mn; 0,8% Mg остальное Al) после закалки с 510°С и искусственного старения при 150°С в течение 12 ч. x250. Внутри и по границам зерен видны включения упрочняющих фаз: Mg_2Si и CuAl_2



Образование зон Гинье-Престона при естественном старении: а – исходное состояние; б – скопление атомов меди. 1 – атомы меди; 2 – атомы алюминия

Схемы строения дуралюмина: а – в отожженном состоянии; б – после закалки; в – после старения



Изменение структуры дуралюминия при закалке

Изменение структуры дуралюминия при фазовом (искусственном) старении)

Литейные алюминиевые сплавы

В маркировке этих сплавов по ГОСТ 1583–93 после буквы А стоят буквы, обозначающие легирующие элементы, цифры – их процентное содержание. В конце марки могут буквы: ч – чистый; пч – повышенной чистоты; оч – особой чистоты; р – рафинированный. Режим термообработки обозначают буквой «Т» и номером (Т1, Т2, Т3 ... Т8). Где, например, Т2 – отжиг при 300° С, Т6 – закалка и полное искусственное старение.

Силумины — сплавы алюминия с кремнием и легируются др. элементами, обладают хорошими литейными свойствами, высокой коррозионной стойкостью, хорошо свариваются и имеют низкую плотность.

Сплав АК12 содержит 10—13% кремния, по диаграмме – заэвтектический. Структура – эвтектика и крупноигольчатые кристаллы кремния, которые снижают пластичность и прочность сплава. Для повышения свойств силумины модифицируют фтористыми и хлористыми солями натрия. Натрий сдвигает эвтектическую точку диаграммы вправо и вниз, сплав становится доэвтектическим. Эвтектика измельчается, а вместо кристаллов кремния в структуре появляются кристаллы «мягкой» пластичной фазы — твердого раствора. Это приводит к увеличению относительного удлинения до 10—12% и предела прочности – до 180—200 МПа.

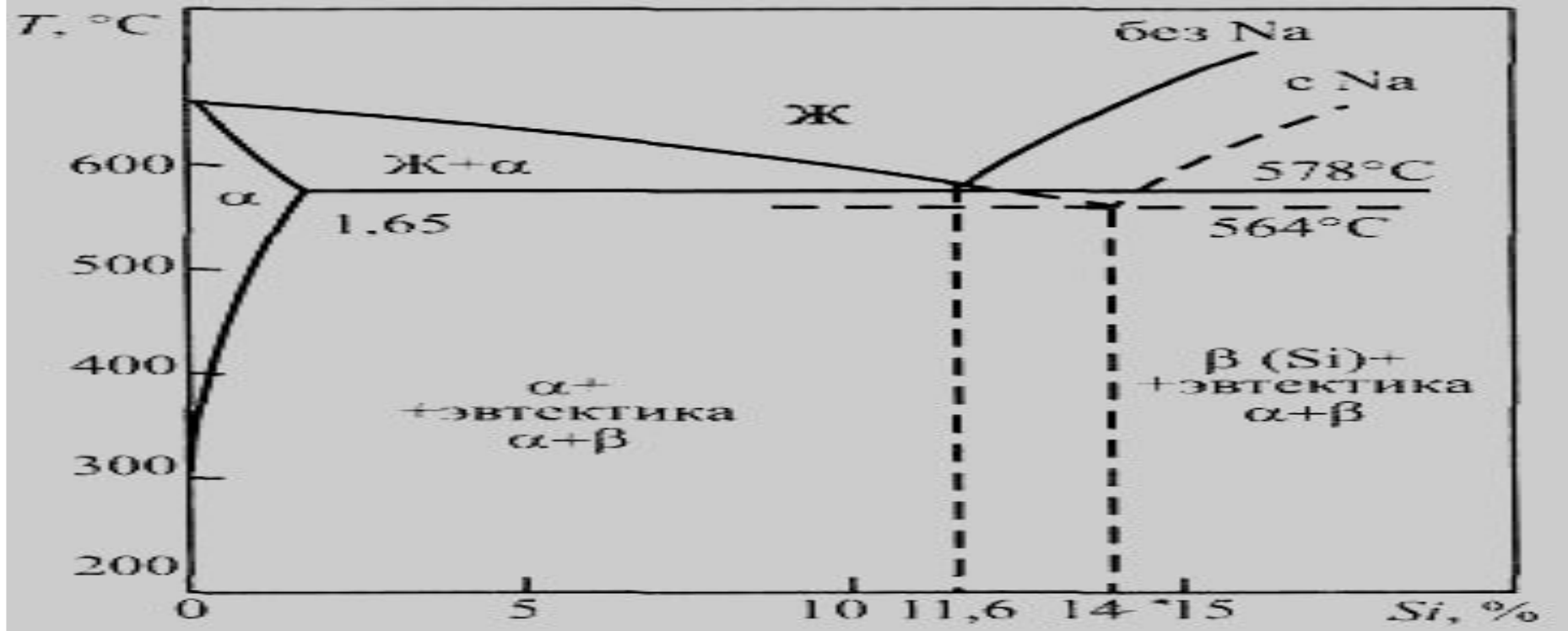
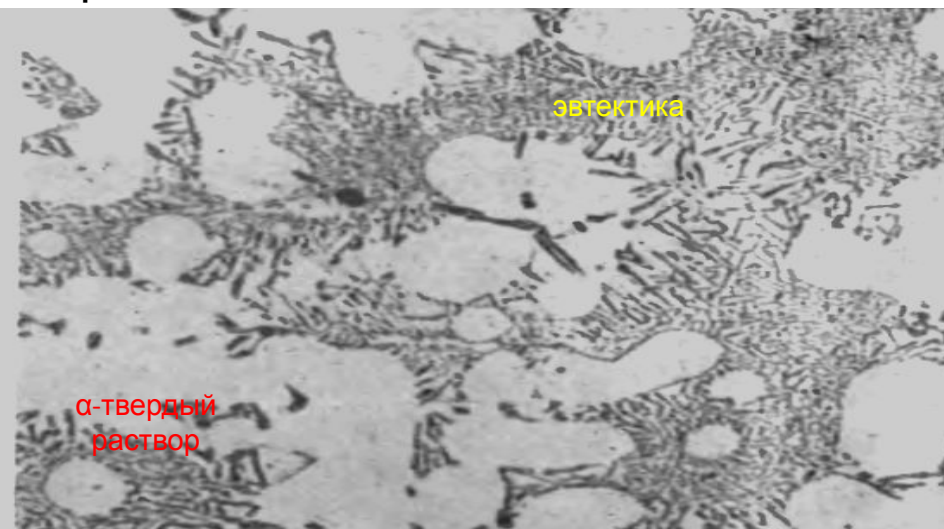


диаграмма состояния Al – Si: — — до модифицирования; ----- после



Структура сплава АК12, $\times 200$: а – до ; б – после модифицирования

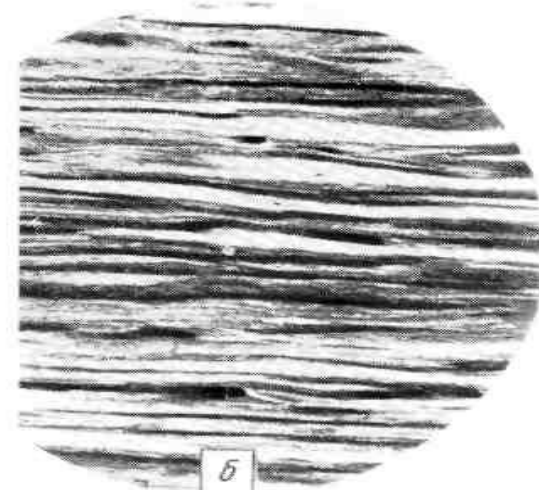
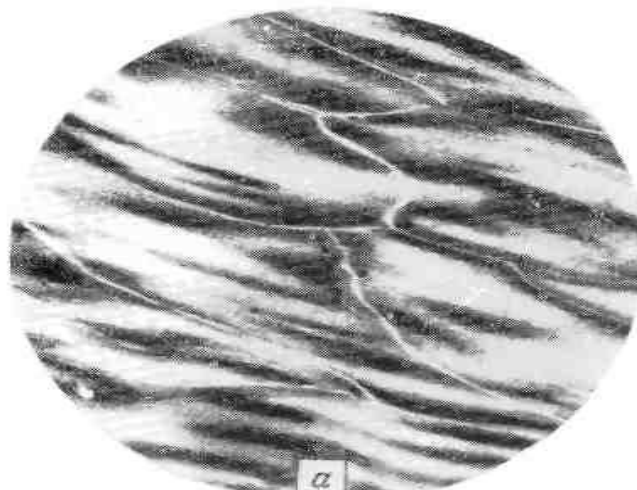
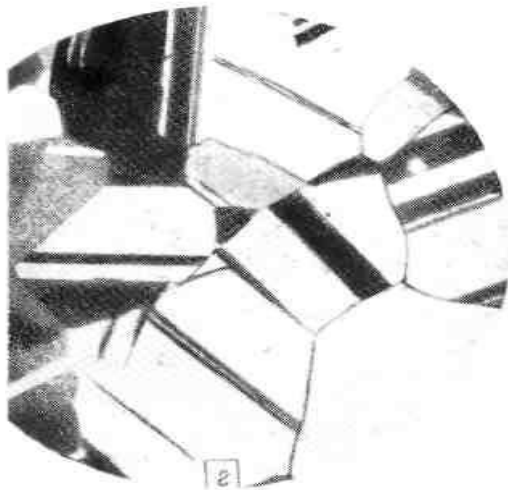
Медь и ее сплавы

Физические и механические свойства меди:

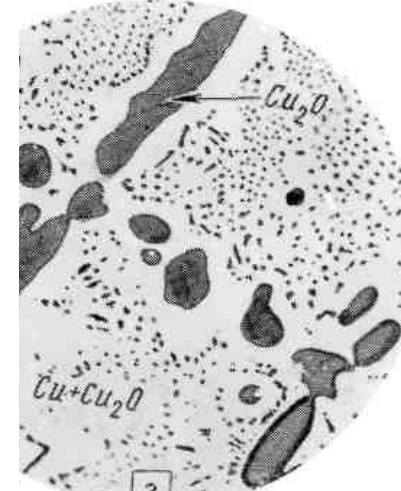
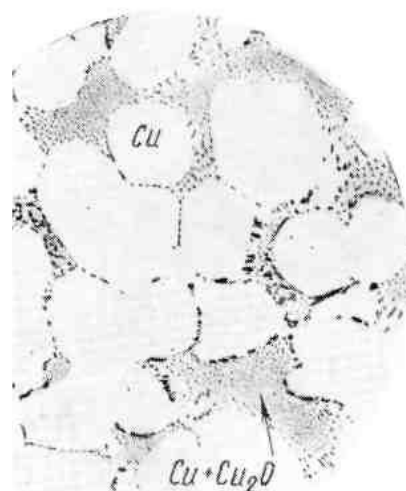
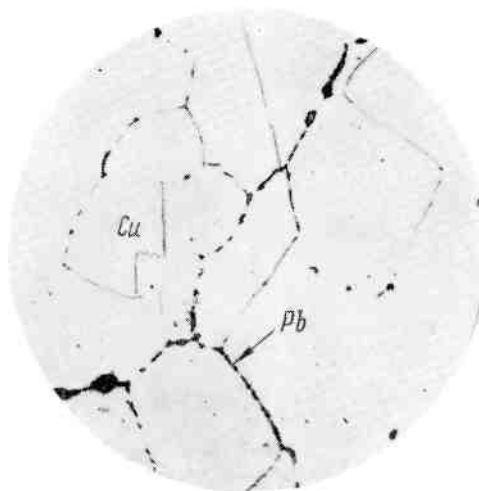
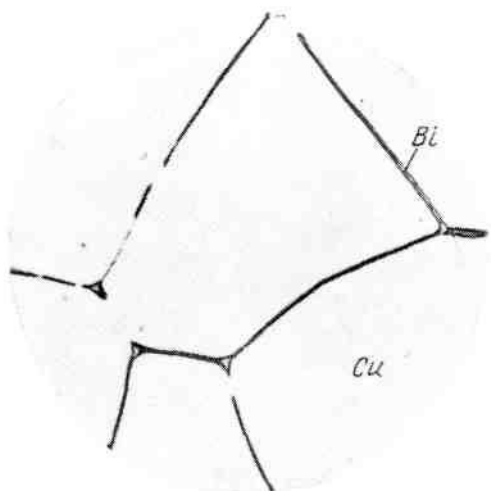
Имеет гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК), полиморфизма нет

Температура плавления, °С		1083	
Плотность, кг/м ³		8940	
Электрическое сопротивление, Ом·м		$1,72 \cdot 10^{-8}$	
Состояние	σ_B , МПа, не менее	δ , %, не менее	НВ, МПа
Отожженная	220	45	450
Нагартованная	450	3	900

По (ГОСТ 859–78) маркируется буквой М и числом. Чем меньше число, тем она чище (00 – высокочистая, 0 – чистая, 1, 2, 3 – технически чистая): М00 (99,99 % Cu), М4 (99,0 % Cu). Буквы в конце марки : к – катодная; б – безкислородная; р, ф – раскисленная. Примеси снижают тепло- и электропроводность, пластичность и коррозионную стойкость меди. Более других снижает электропроводность ее раскислитель – фосфор. Кислород ухудшает пайку и лужение меди, вызывает при нагреве «водородную болезнь». Висмут и свинец – краснопомкость.



микроструктура меди: г – отожженной; а – степень деформации 20 %; б – 80 %



Микроструктура литой меди X 200: а - с примесью **висмута (0,2% Bi)**. По границам зерен расположены прослойки легкоплавкой эвтектики Cu — Bi; б - с **примесью свинца (0,3% Pb)**. Свинец располагается в виде тонких прослоек по границам зерен меди; в – **с примесью кислорода 0,15%**. По границам зерен меди видны значительные участки эвтектики; г - **кислорода 0,5%**. Видны первичные кристаллы закиси меди (темные дендриты) и эвтектика Cu - Cu₂O

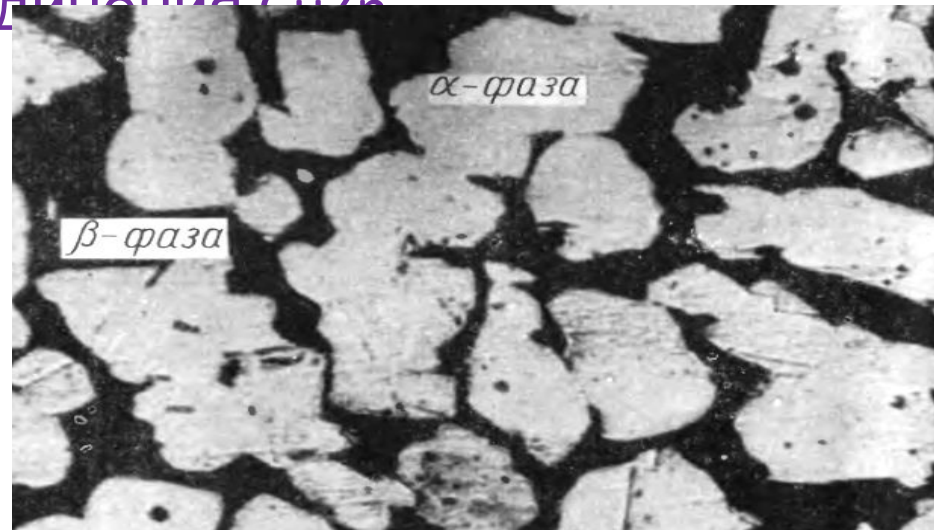
ЛАТУНИ (сплавы меди с цинком)

подразделяются на простые – сплавы системы «медь – цинк» и сложные, содержащие другие элементы (никель, олово, алюминий и др.). Их прочность выше, чем у меди, и они дешевле.

При концентрации цинка до 39 % латуни однофазны, их структура – кристаллы α -твердого раствора цинка в меди. С содержанием цинка больше 39 % латуни двухфазны, и их структура – кристаллы α -твердого раствора и кристаллы β -фазы – твердого и хрупкого соединения $Cu_{5}Zn_{8}$.



а



б

Микроструктура двойных латуней, х 200:

а – однофазных α -латуней; б – двух фазных $\alpha + \beta$

ВЛИЯНИЕ ЦЫНКА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСТОЙ ЛАТУНИ

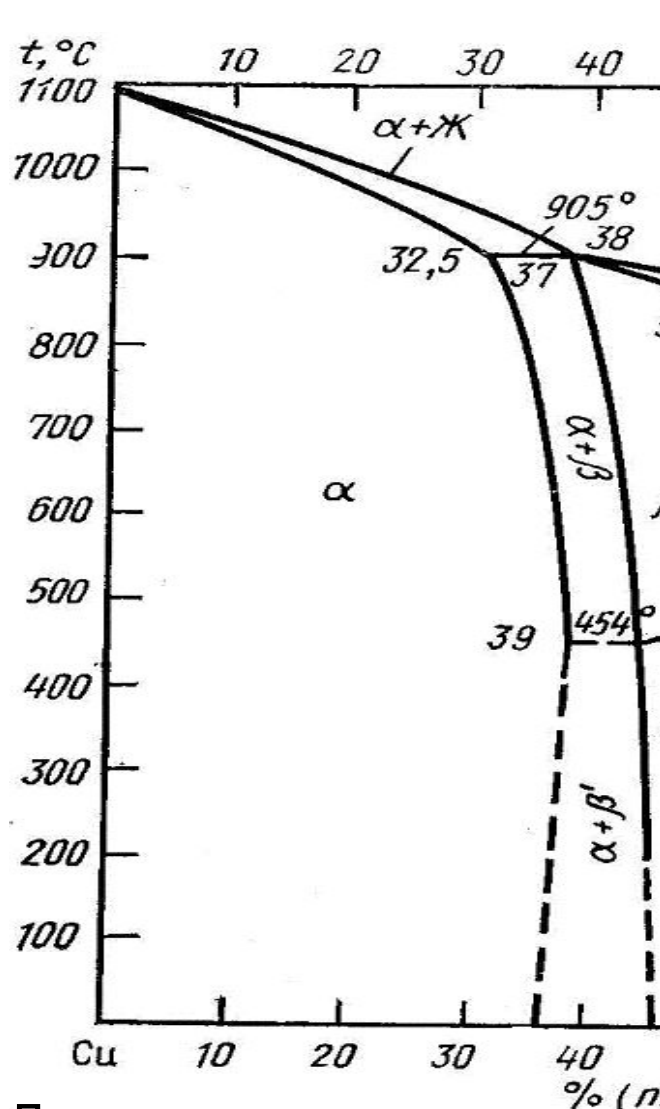
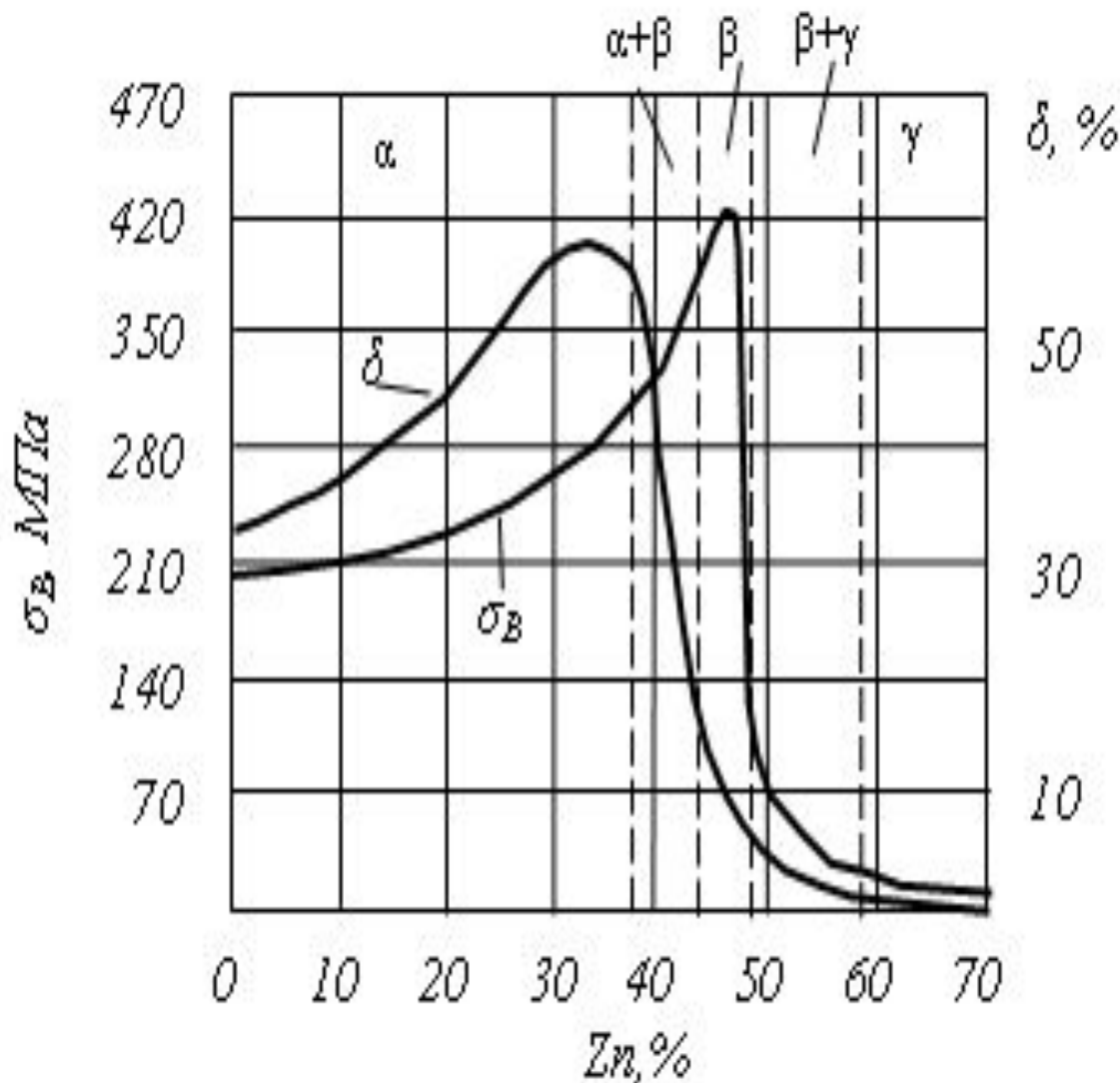


Диаграмма состояния системы «Cu – Zn»



Влияние содержания цинка на свойства латуней

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЛАТУНЕЙ

Маркировка латуней начинается с буквы **Л**. В зависимости от метода обработки их делят на **литейные** (ГОСТ 17711–80) и **обрабатываемые давлением** (ГОСТ 15527–70).

В марке латуни, обрабатываемой давлением, после **Л** стоит **содержание меди в процентах**. Затем **буквы (кириллица)** – обозначение легирующих элементов, их содержание дают цифрами через тире в том же порядке. Остальное в латуни цинк – как остаток до 100 %. Например. **Латунь ЛАНКМц75–2–2,5–0,5–0,5** – обрабатываемая давлением латунь содержит 75 % меди, легирована 2 % алюминия, 2 % никеля, 0,5 % кремния, 0,5 % марганца, остальное – цинк.

В марке **литейной латуни** после **Л** стоит буква **Ц** и сразу **цифра – содержание цинка в %**. Далее, аналогично – буквы с цифрами – легирующие элементы. Медь – остальное. Например, **ЛЦ23А6ЖЗМц2** – литейная латунь с содержанием 23 % цинка, 6 % алюминия, 3 % железа, 2 % марганца, остальное – медь.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА БРОНЗ

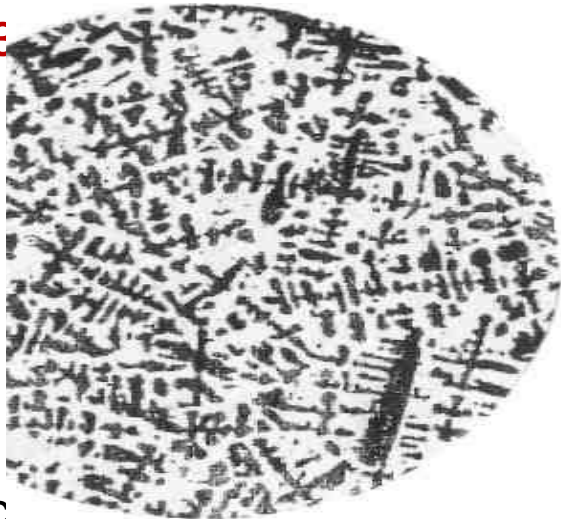
Бронзы — сплавы меди с оловом, алюминием, бериллием, кремнием и другими элементами. Марки их обозначают буквами **Бр.**

В зависимости от состава и метода обработки бронзы делят на **литейные** оловянные (ГОСТ 613–79) и **безоловянные** (ГОСТ 493–79); **обрабатываемые давлением** оловянные (ГОСТ 5017–74) и **безоловянные** (ГОСТ 18175–78).

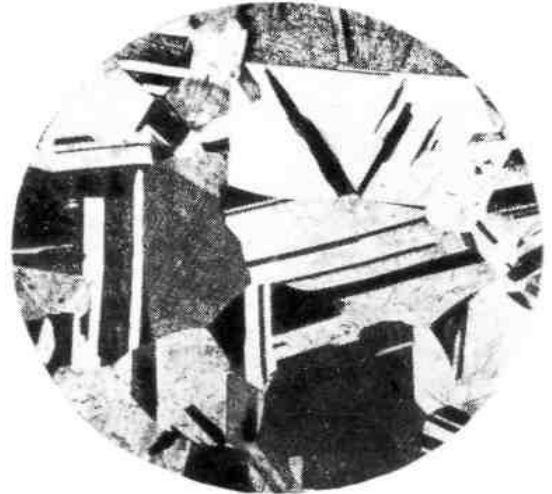
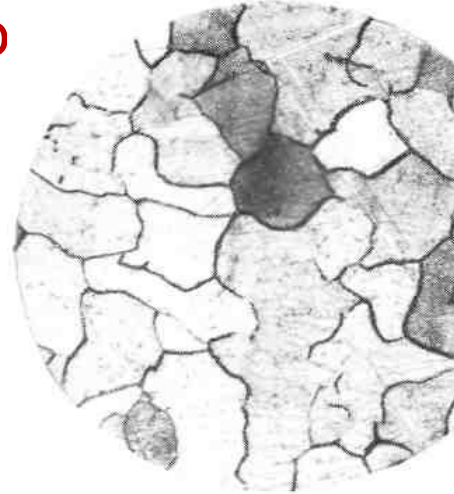
В марке литейной бронзы после **Бр** стоят **буквенные обозначения легирующих элементов с их содержанием в %**. Например, **БрО5Ц5С5** – литейная бронза с содержанием 5 % олова, 5 % цинка, 5 % свинца, **остальное – медь**. **БрА7Мц15Ж3Н2Ц2** – литейная бронза с содержанием 7 % алюминия, 15 % марганца, 3 % железа, 2 % никеля, 2 % цинка, **остальное – медь**.

В марке бронзы, **обрабатываемой давлением** после **Бр** – перечень всех **буквенных обозначений легирующих элементов** и, далее, через тире - **их % содержание**. Например, **БрОЦС4–4–4** – обрабатываемая давлением бронза с содержанием – 4 % олова, 4 % цинка, 4 % свинца, **остальное – медь**. **БрАЖНМц9–4–4–1** – бронза с содержанием – 9 % алюминия, 4 % железа, 4 % никеля, 1 % марганца,

Оловянные бронзы с добавлением фосфора, цинка, свинца при содержании **олова до 5—6%** пластичны, **используются как деформируемые**. В деформированном и отожженном состоянии, они однофазны, их структура – кристаллы α -твердого раствора олова в меди. **При содержании олова более 6 %** в структуре литейных бронз появляется вторая фаза – δ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) в составе эвтектоида ($\alpha + \delta$). Пластичность резко снижается, возрастают прочность и твердость. **Двухфазные бронзы**



я по



Микроскопическая структура оловянистой бронзы с 5% Sn. X 300. Видны темные оси дендритных зерен бедного оловом твердого раствора. Светлые — твердый раствор, обогащенный оловом.

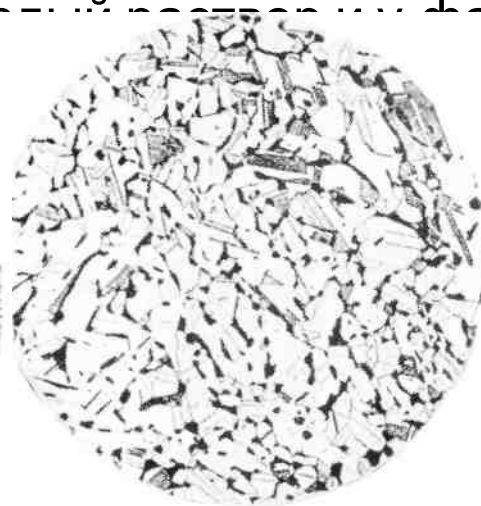
той

При отжиге происходит выравнивание состава внутри зерен и сплав принимает полиэдрическое строение. В деформированной оловянистой бронзе с 5% Sn после рекристаллизации видны двойниковые

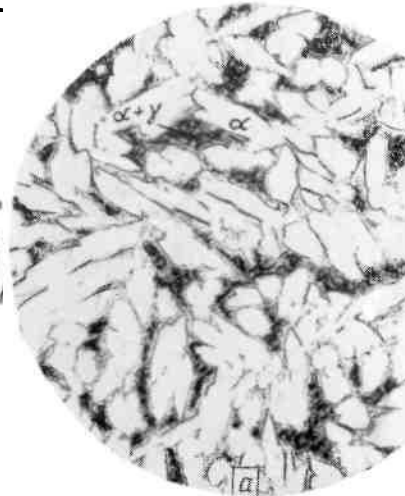
АЛЮМИНИЕВЫЕ БРОНЗЫ — сплавы меди с алюминием, в которые для улучшения свойств вводят железо, никель, марганец, обладают высокими механическими, антикоррозионными, антифрикционными свойствами и повышенной жаропрочностью. Растворимость алюминия в меди до 9,5%, но реально имеют однофазную структуру при содержании алюминия до 6—8%. При большем его содержании структура будет двухфазна: α -твердый раствор и эвтектоид.



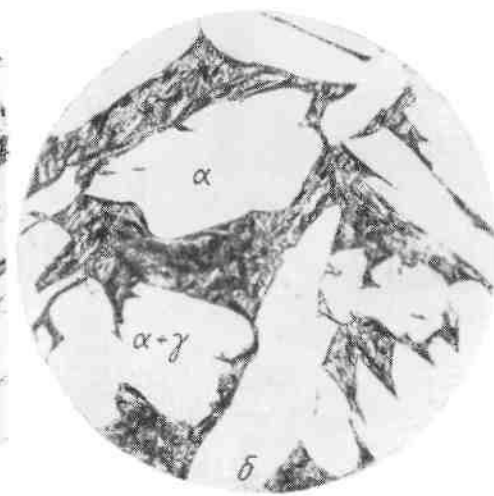
Микроструктура литой алюминиево-железистой бронзы. БрАЖ9-4. $\times 75$. По границам дендритов α -твердого раствора (светлые кристаллы) видны включения эвтектоида $\alpha + \gamma$

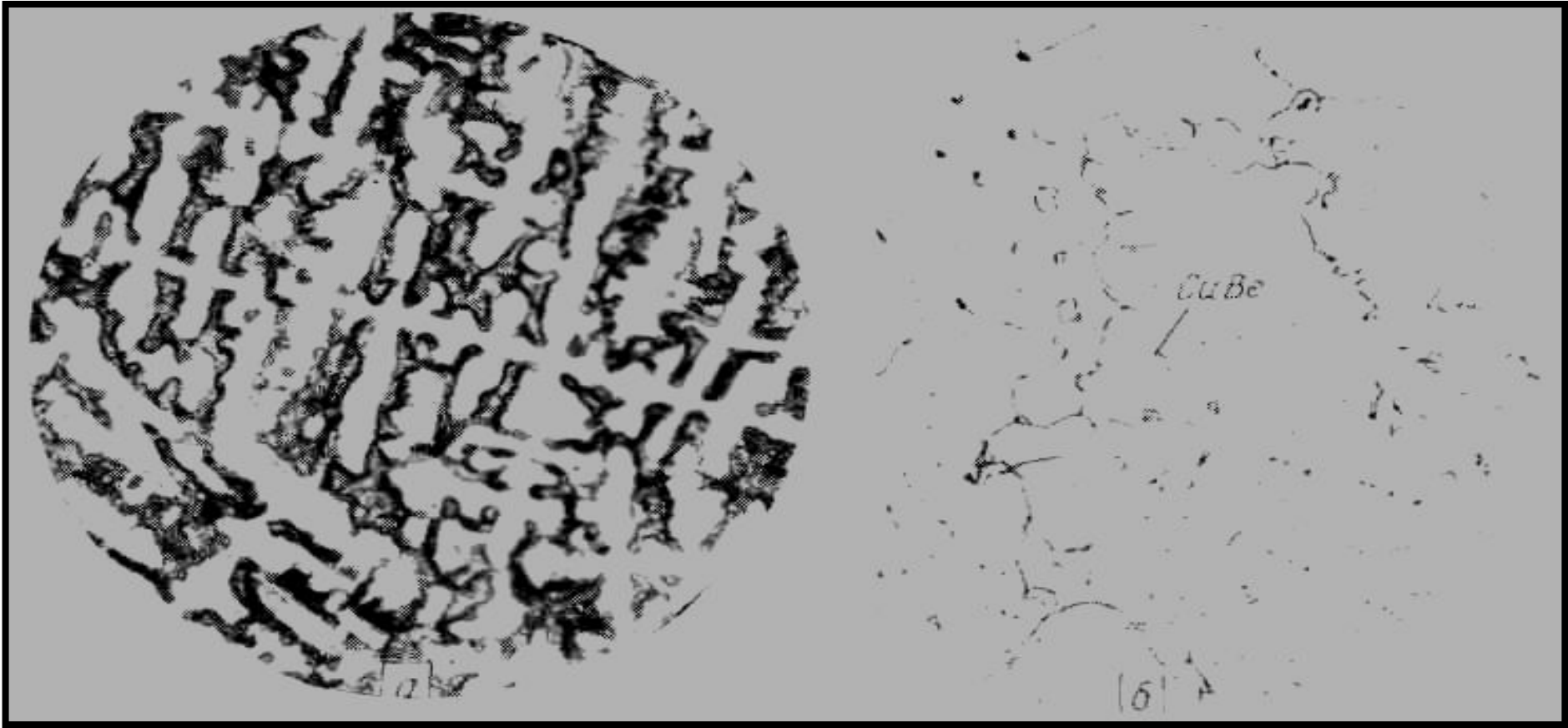


Бронза БрАЖ9-4 после деформации и отжига. $\times 250$. Светлые зерна α -твердого раствора и включения эвтектоида



Литая алюминиевая бронза БрА10: а — $\times 250$: α -фаза (светлые зерна) и эвтектоид ($\alpha + \gamma$) (темные пестрые поля); б — $\times 500$. Строение эвтектоида. В нём темная основа α -твердого раствора, светлые включения — γ фаза





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

АНТИФРИКЦИОННЫЕ (ПОДШИПНИКОВЫЕ) СПЛАВЫ

Сплавы, из которых изготавливают вкладыши подшипников скольжения (или их рабочую часть), **называются подшипниковыми**. Антифрикционными называют сплавы, обеспечивающие минимальный коэффициент трения между поверхностью вкладыша подшипника и шейкой вала.

Требования к подшипниковым сплавам:

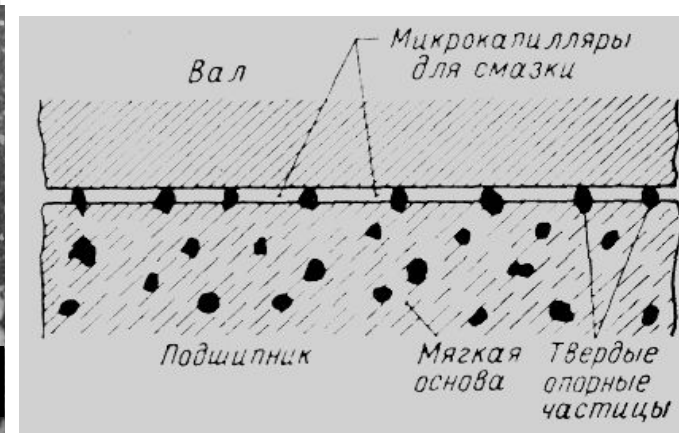
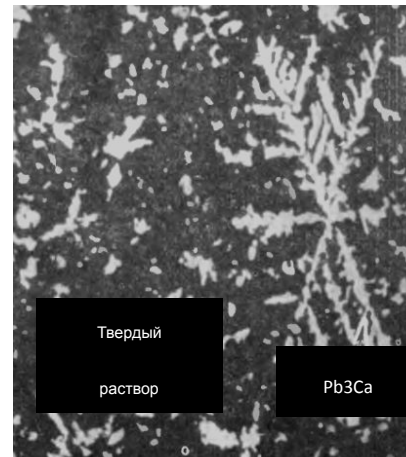
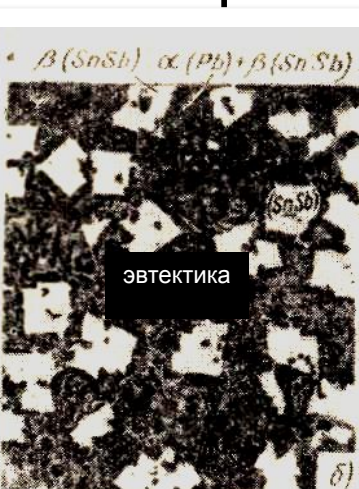
- 1) низкий коэффициент трения при работе в паре с валом;
- 2) высокая теплопроводность для отвода теплоты из зоны контакта поверхностей трения;
- 3) достаточно высокие прочность (выдерживать повышенное удельное давление – сопротивление выдавливанию), ударную вязкость и циклическую прочность (сопротивление выкрашиванию) и теплостойкость (способность работать при повышенной «рабочей» температуре);
- 4) хорошая прирабатываемость к шейке вала (способность за короткое время принимать её форму поверхности), что снижает удельное контактное давление, способность поглощать продукты изнашивания;
- 5) наименьшая интенсивность изнашивания поверхностей подшипника (твёрдость ниже чем у вала) и, особенно, вала (подшипник сменить легче);
- 6) хорошо удерживать смазку (в процессе приработки образовывать на поверхности трения «масло удерживающий» рельеф);
- 7) сопротивление коррозии (в состав смазки могут входить кислоты, щелочи и другие агрессивные присадки);
- 8) удовлетворительные технологические свойства: низкая температура заливки, высокая адгезия к поверхности вкладыша, хорошая обрабатываемость резанием и др.;
- 9) низкая стоимость (изготовить и заменить вкладыш должно быть дешевле, чем

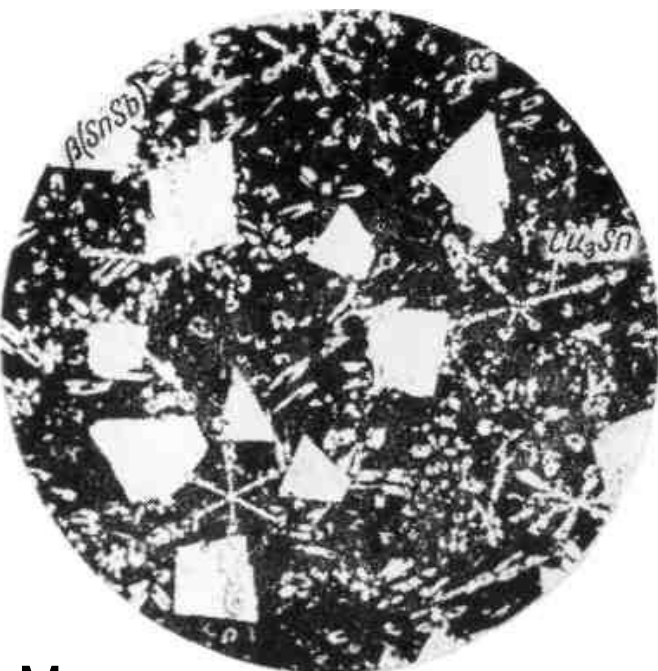


Рис. 1.1. Классификация антифрикционных материалов

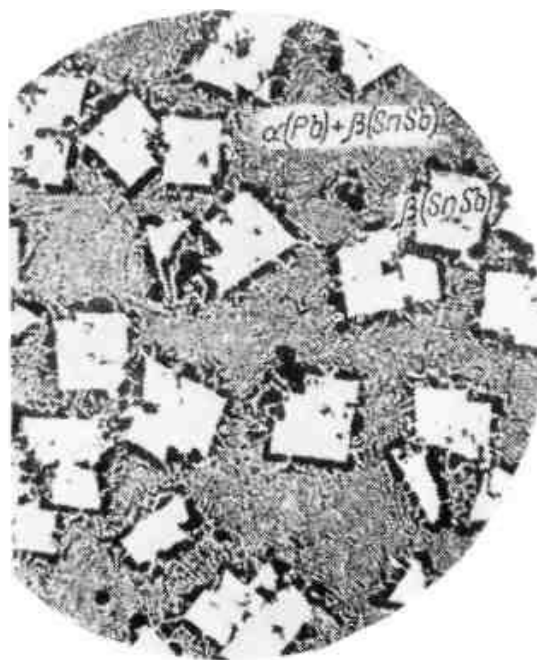
СТРУКТУРА ПОДШИПНИКОВЫХ СПЛАВОВ

Для выполнения этих требований структура антифрикционного сплава должна быть только неоднородной (гетерогенной) - состоять из **«МЯГКОЙ» ОСНОВЫ**, обеспечивающей хорошую прирабатываемость подшипника к шейке вала, задиростойкость, ударную вязкость, поглощение продуктов изнашивания. И равномерно распределенными в ней **ТВЕРДЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ** – опорных частиц, (обеспечивающими прочность, теплостойкость, износоустойчивость, а также способствуют образованию зазора между изношенной мягкой основой и шейкой вала, который заполняется смазкой)

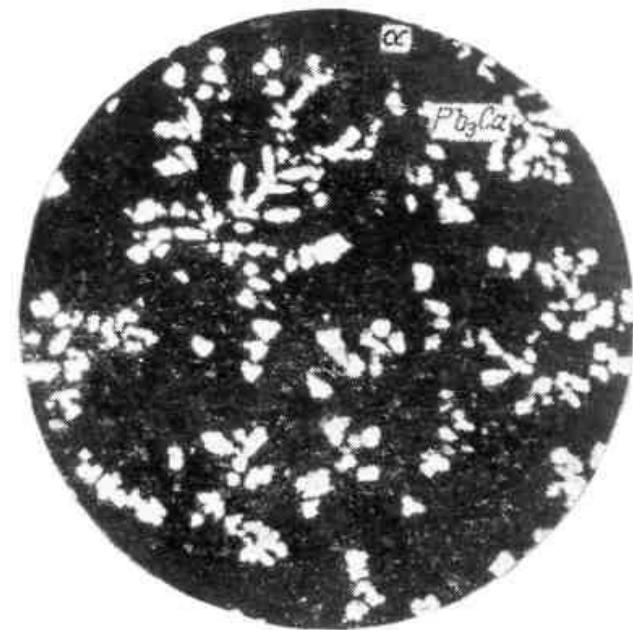




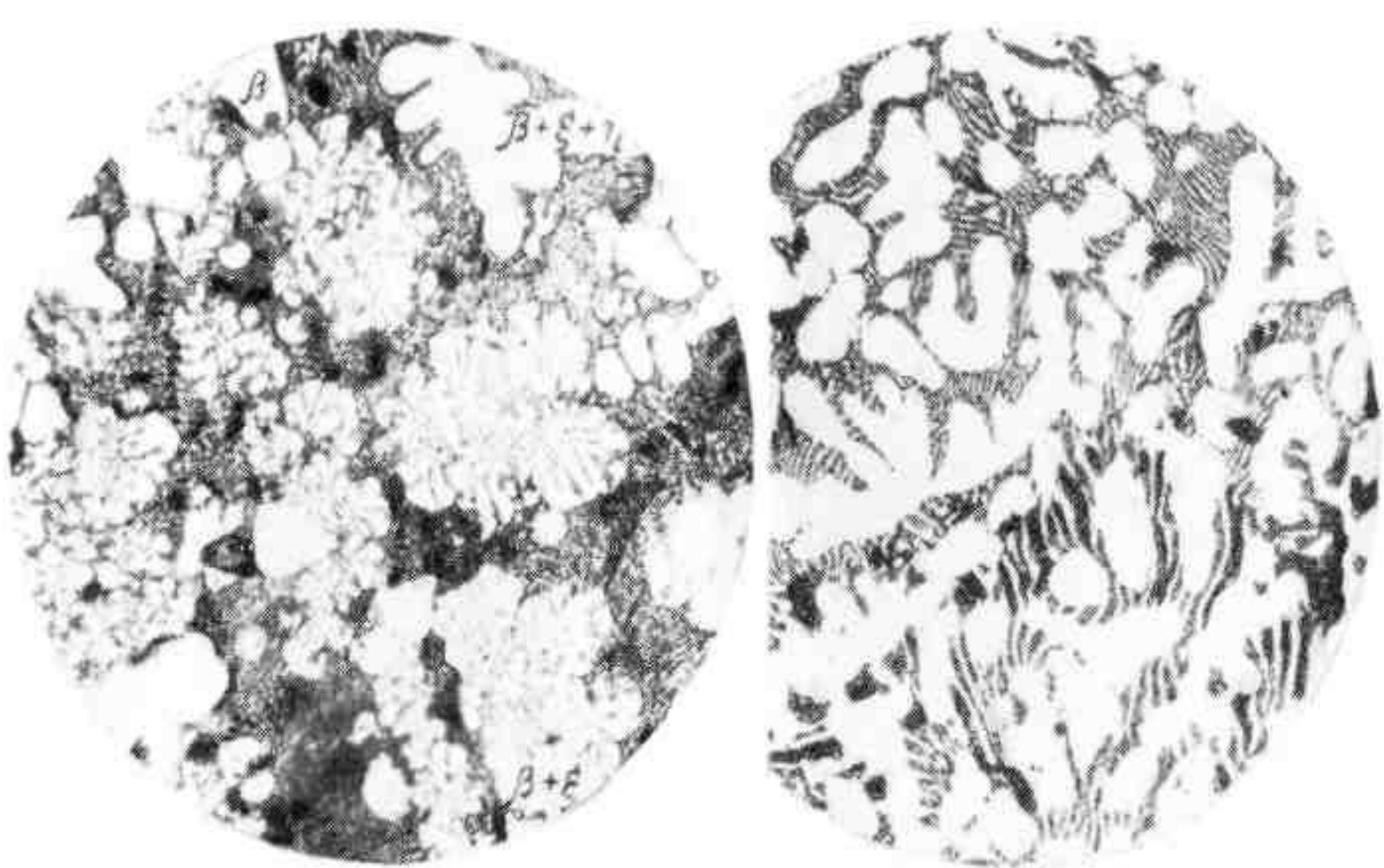
Микроструктура баббита Б83 (11% Sb, 6% Си, остальное Sn). x100. Структура состоит из α -твердого раствора (темная основа), крупных кубических кристаллов (SnSb) (светлые) и химического соединения Cu_3Sn (в



Микроструктура баббита Б16 (16% Sb, 16% Sn, остальное РЬ). x100. Видны светлые кристаллы (SnSb), иглы химического соединения Cu_2Sb и эвтектика (Pb) + (SnSb)



Микроструктура баббита БК (1% Са, 0,9% Na, остальное РЬ) x 100. На темном фоне α -твердого раствора сложного состава видны дендриты химического соединения Pb_3Ca



Микроструктура антифрикционных цинковых сплавов:
а – ЦАМ10-5 (10% Al, 5% Си, остальное Zn); б – ЦАМ5-10