

**МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

**МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ**

**Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материаловедение»**

Бишкек – 2011

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Технологии машиностроения»
Протокол № 10 от 30.06.2011 г.

«Одобрено»
Методическим советом
ФТиМ
Протокол № 10 от 28.06.2011 г.

УДК: 621.762.4.04

Составитель к.т.н., профессор САПРЫКИН Ю.В.

Микроструктурный анализ сплавов на основе меди и алюминия. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Материаловедение» / КГТУ им. И.Раззакова; сост. Ю.В.Сапрыкин. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 16 с.

В данном методическом указании рассмотрены состав свойства и микроструктура широко применяемых в промышленности сплавов цветных металлов, а так же микроструктура технической меди и алюминия.

Рис.:22. Библиограф. 3

Рецензенты: проф. Омуралиев У.К.,
доц. Жумалиев Ж.М.

Тех. редактор *Эркинбек кызы Жанара*

Подписано к печати 26.09.11 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 1п.л. Тираж 150 экз. Заказ 330. Цена 13,25 с.

Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ

1. Введение

Наряду со сталями и сплавами на железной основе в промышленности широко применяются сплавы на основе цветных металлов – меди и алюминия, а так же титана, магния и др. Эти сплавы соответственно называются медными, алюминиевыми титановыми, магниевыми, бериллиевыми и т.д.

Ниже рассматривается состав, свойства, микроструктура и область применения меди, алюминия и сплавов на их основе.

2. Цель работы

Ознакомление с микроструктурой, свойствами и областью применения некоторых медных и алюминиевых сплавов.

3. Медь и сплавы на основе меди

3.1. Медь и ее свойства

Медь получают из сульфидных руд, содержащих медный колчедан (CuFeS_2), который обжигают для снижения содержания серы, а затем плавят на медный штейн. Цель этой плавки – отделение сернистых соединений меди и железа от рудных примесей. В результате получают черновую медь, содержащую 1-2% примесей железа, цинка, никеля и др. Для снижения примесей в черновой меди, ее рафинируют, в результате получают технически чистую медь с чистотой 99,5÷99,9%Cu. Частая медь имеет одиннадцать марок: М00б; М0б; М1б; М1у; М1; М1р; М1ф; М2р; М3р; М2 и М3. Суммарное количество примесей в лучшей марке М00б – 0,01%, а в марке М3 – 0,5%.

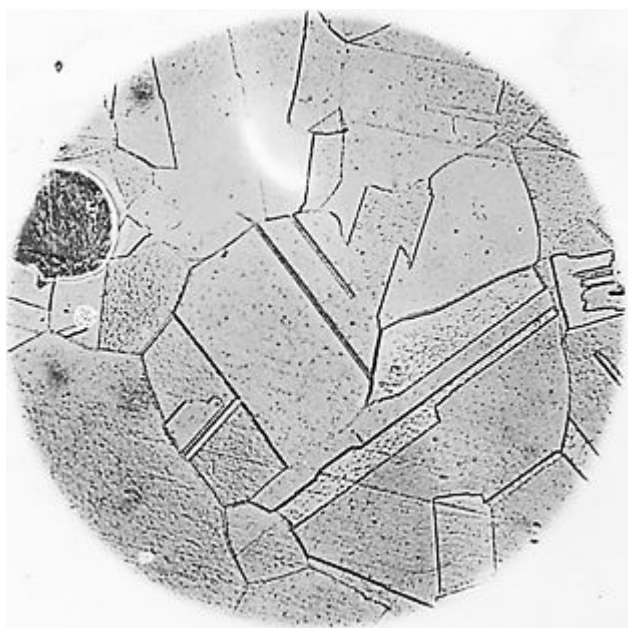


Рис.1 Медь отожженная при температуре 650°C ; $\times 500$

Механические свойства чистой отожженной меди: $\sigma_B=220 - 240\text{МПа}$; $\text{НВ}=40 - 50$; $\delta=45\div 50\%$. Ее применяют в электротехнике и поставляют в виде полуфабрикатов – проволоки, прутков, лент, листов, полос и труб. Как конструкционный материал чистую медь (рис.1) практически не используют из-за малой прочности и твердости, а применяют сплавы меди с цинком, оловом, алюминием, кремнием, бериллием, марганцем, свинцом. Сплавы на основе меди обладают более высокими

механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

3.2. Медные сплавы

Медные сплавы делятся на две группы: латуни и бронзы. **Латунями** называются сплавы меди с цинком. **Бронзами** называются сплавы меди с другими элементами (оловом, алюминием, свинцом, бериллием, кремнием, марганцем, сурьмой, никелем и другими). Цинк может входить в состав бронз в небольших количествах, вместе с другими элементами, но не как основной легирующий элемент.

3.2.1. Латуни

Латуни подразделяются на двойные (простые) и специальные (сложные). Двойные латуни представляют собой двухкомпонентные сплавы меди с цинком. В специальные латуни для придания им тех или иных свойств вводят, кроме цинка, различные элементы.

Латуни двойные (простые).

Латуни маркируются заглавной буквой Л, за которой следует цифра, показывающая процентное содержание меди (процентное содержание цинка в марке латуни не указывается и определяется путем вычитания содержания меди из ста процентов): Л63, Л68, Л70, Л80, Л90, Л96.

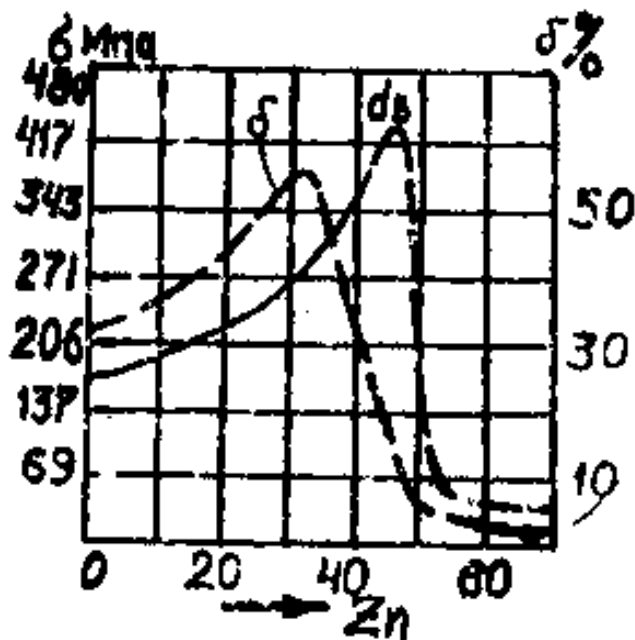


Рис.2 Влияние цинка на механические свойства меди

Практическое применение имеют латуни с содержанием цинка до 44%. При содержании цинка менее 39% латуни имеют однофазную структуру α – твердого раствора замещения цинка в меди с кубической гранецентрированной решеткой и называются α – латунями.

Альфа – латуни обладают высокой пластичностью в холодном состоянии ($\delta = 40\%$) и относительно невысокой прочностью – $\sigma_b \leq 294$ МПа (см. рис.2). Поэтому латуни марок Л63, Л68, Л70 используют в виде тонких листов, лент и других полуфабрикатов, из которых штампуются различные детали.

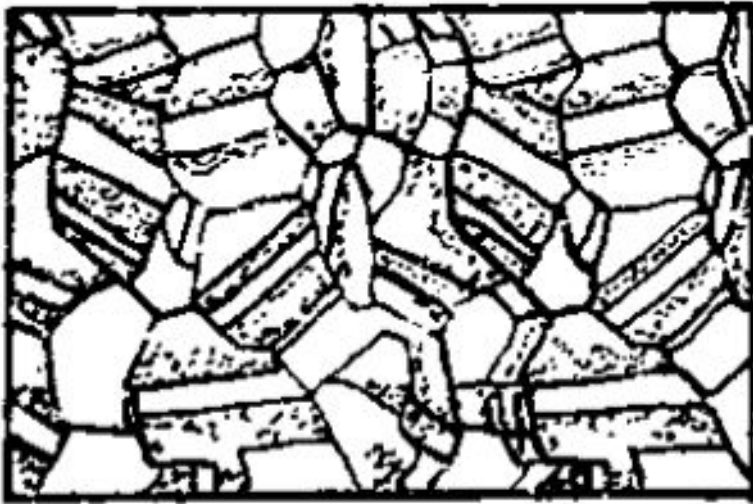


Рис.3 Латунь Л70 (альфа-фаза с двойниками) (схема)

На рис.3 показана схема микроструктуры деформированной и отожженной латуни Л70, а на рис.4 фотография ее микроструктуры. Видно, что микроструктура состоит из зерен α – твердого раствора, имеющих несколько различную «окраску» (вид). Дело в том, что зерна твердого раствора в пространстве ориентированы по-разному и поэтому «разрезаются» плоскостью шлифа по разным плоскостям. Вследствие неодинаковости свойств по разным плоскостям

и направлениям (анизотропия), каждое зерно прореагирует с химическим реактивом по-разному: одни сильнее растворяются, другие больше рассеят лучей, третьи будут выглядеть при освещении в микроскопе более темными. Кроме того, внутри зерен α – твердого раствора видны полосы, ограниченные двумя параллельными линиями, с иной окраской, чем остальной объем зерен. Это так называемые двойники, появление которых обусловлено протеканием деформации способом, характерным для металлов и сплавов с кубической гранецентри-

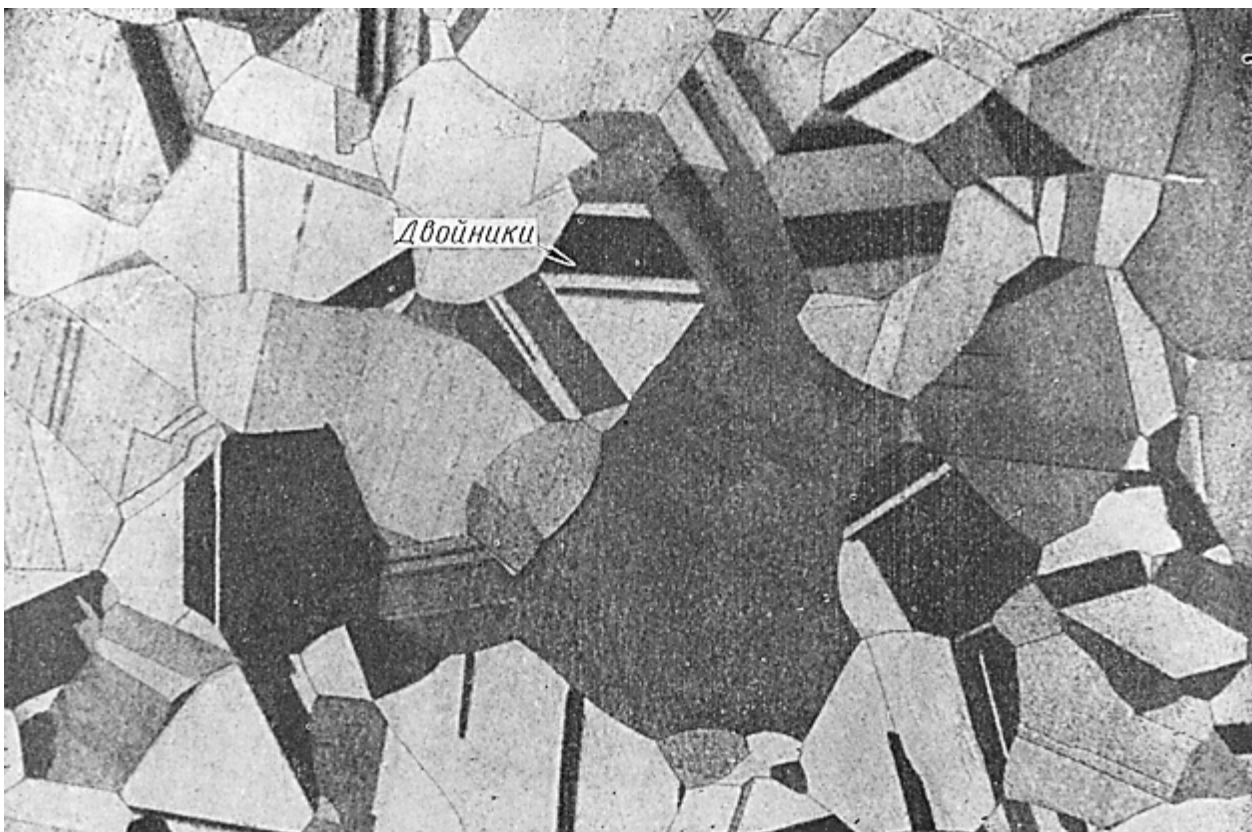


Рис.4 Микроструктура α -латуни; x250

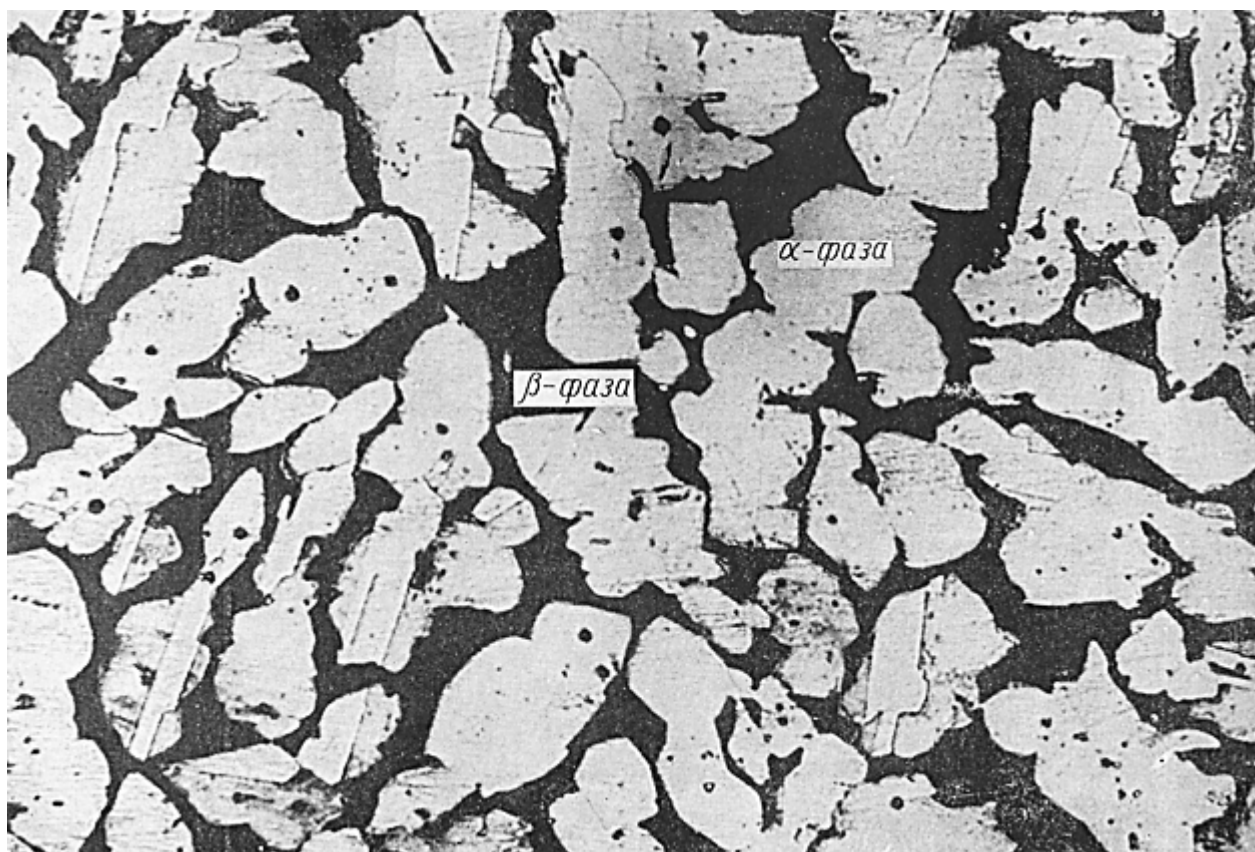


Рис.5 Микроструктура $\alpha + \beta$ -латуни; $\times 250$

рованной решеткой (путем двойникования).

Латунь Л70, имея 30% цинка, обладает максимальной пластичностью (см. рис.2), поэтому из нее изготавливают детали, получаемые глубокой вытяжкой (в частности, гильзы), радиаторные ленты, полосы, трубы теплообменников и др.

При содержании цинка более 39% латуни имеют двухфазную структуру, состоящую из α и β – твердых растворов и называются $\alpha + \beta$ – латунями (рис.5).

Двухфазные $\alpha + \beta$ – латуни имеют большую прочность ($\sigma_{\text{в}} \approx 343 \div 412$ МПа), но меньшую пластичность ($\delta = 20\%$), по сравнению с α – латунями.

Латуни сложные (специальные).

В специальные латуни помимо цинка вводят еще другие элементы. Например, свинец вводят для улучшения обрабатываемости резанием (автоматная латунь ЛС59-1), олово – для повышения сопротивления коррозии в морской воде (ЛО 70-1), алюминий и никель – для повышения механических свойств (латунь ЛАН59-3-2).

В марках специальных латуней дополнительно вводимые элементы показываются путем написания за буквой Л первых заглавных букв их русских названий. Процентные содержания этих элементов проставляются в марке цифрами, которые пишутся через тире после первой цифры, соответствующей содержанию меди, и в той последовательности, в которой написаны буквы, обозначающие эти элементы.



Рис.6. Латунь LC59-1 (альфа и бета фазы и включения свинца) (схема)

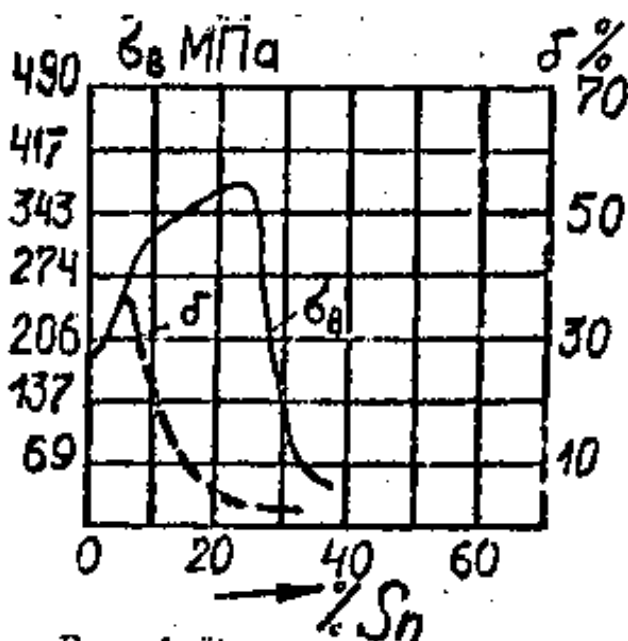


Рис.7. Влияние олова на механические свойства меди



Рис.8. Бронза – оловянная BrO16 (альфа-фаза и эвтектоид $\alpha + Cu_3Sn$) (схема)

На рис.5 показан фотоснимок микроструктуры специальной латуни LC59-1, а на рис.6 – ее структурная схема. Так как в этой латуни содержится более 39% цинка, то структура ее состоит из α – твердого раствора (светлые участки) и β – твердого раствора (темные участки).

Кроме того, в латуни LC59-1 введен 1% свинца, который в твердом состоянии в меди не растворяется и поэтому виден в виде отдельных включений (темные точки на рис.5,6).

3.2.2. Бронзы

Перед маркой бронзы ставятся две буквы Бр., вслед за которыми пишутся русские заглавные буквы, соответствующие начальным буквам русского названия вводимых элементов (например, О – олово, А – алюминий, С – свинец, Ж – железо, Б – бериллий, Ф – фосфор, Х – хром, Н – никель и так далее). После букв ставятся через тире цифры, соответствующие процентным содержаниям элементов. Они представляются в той последовательности, в которой поставлены буквы. Между последней буквой и первой цифрой тире не ставится. Содержание меди определяется путем вычитания из ста суммарного содержания легирующих элементов и примесей. В промышленности широко применяют оловянные, свинцовые, алюминиевые, бериллиевые и другие бронзы. Рассмотрим некоторые из них.

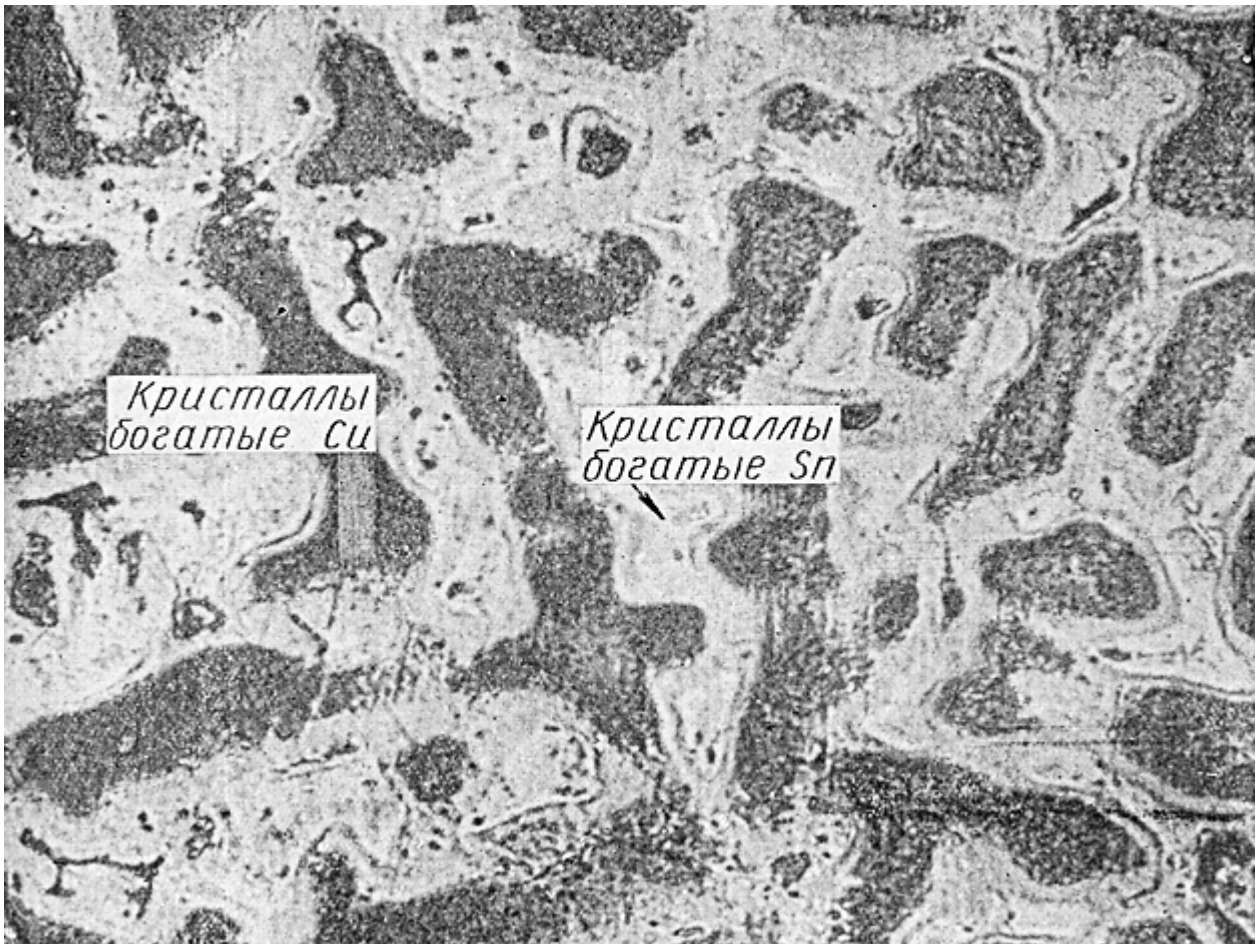


Рис.9 Оловянная бронза; x200

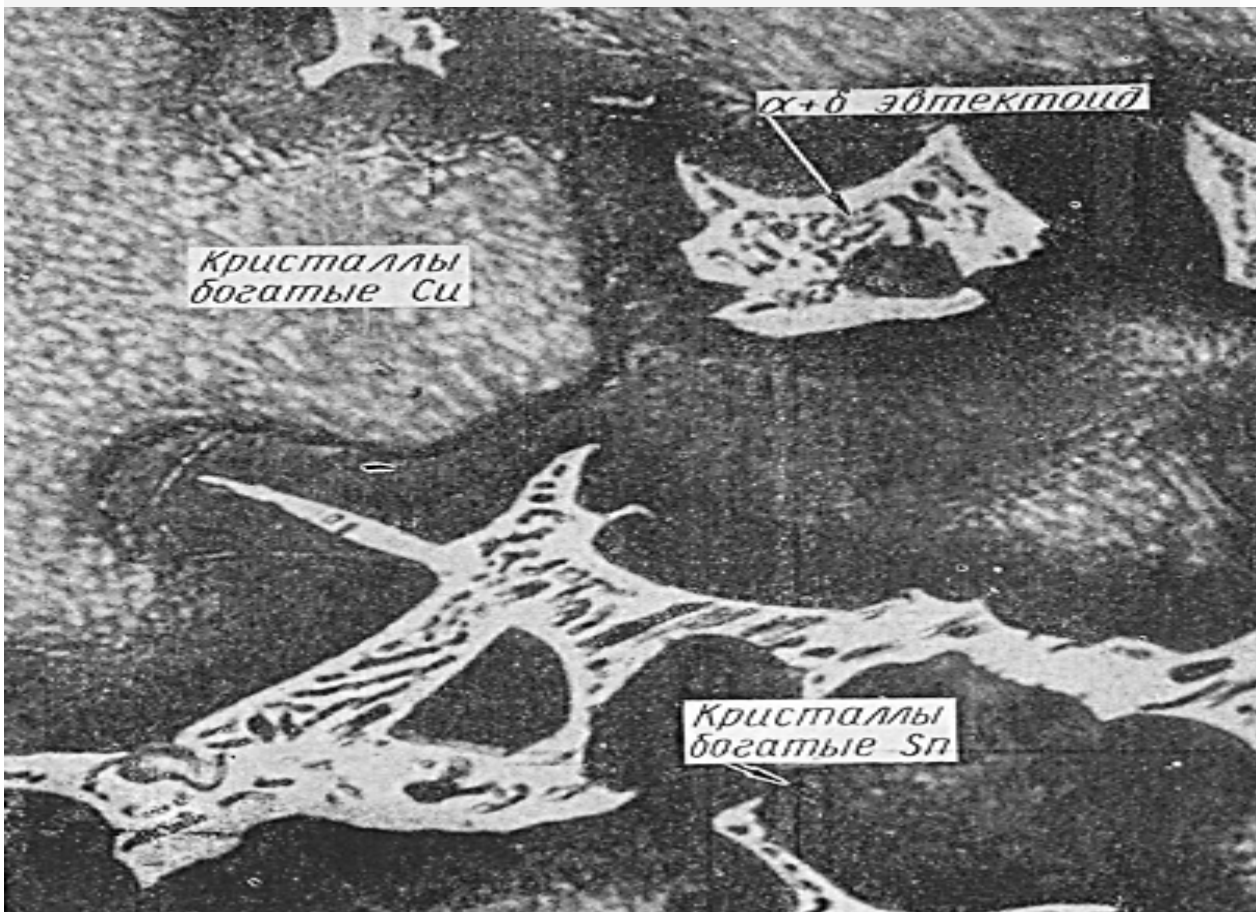


Рис.10 Оловянная бронза; x1000

Бронзы оловянные

Сплавы меди с оловом называются оловянными бронзами. Структура литой бронзы при содержании олова менее 5-6% состоит из α – твердого раствора, который представляет собой твердый раствор замещения олова в меди с гранецентрированной кубической решеткой.

Структура литых бронз, содержащих более 5-6% олова, состоит из α – твердого раствора и эвтектоида - механической смеси $\alpha + \text{Cu}_x \text{Sn}_y$. Вторая фаза $\text{Cu}_x \text{Sn}_y$ является соединением.

В отожженных оловянных бронзах граница между однофазными и двухфазными бронзами соответствует 14% олова.

При увеличении содержания олова повышается прочность оловянных бронз (см. рис.7), но уже при содержании олова более 20% прочность резко падает и бронза становится хрупкой. Структурная схема (рис.8) и фотоснимки микроструктуры оловянистой бронзы, полученные при увеличениях в $\times 200$ и в $\times 1000$ раз, показаны, соответственно, на рис.9 и 10.

Пластичность оловянных бронз начинает снижаться уже при содержании 5% олова. Оловянные бронзы имеют малую усадку. Основные области их применения – сложные отливки, вкладыши подшипников, арматура.

Для улучшения обрабатываемости резанием этих бронз в них добавляют 3-5% свинца, фосфор улучшает литейные свойства, повышает твердость, прочность, упругие и антифрикционные свойства.

Наиболее распространенными оловянными бронзами являются бронзы марок Бр.О10; Бр.ОФ6, 5-0,15; Бр.ОЦС-5-5 и другие.

Бронзы свинцовые

Сплавы меди со свинцом называются свинцовыми бронзами. Свинец не растворяется в твердом состоянии в меди и поэтому свинцовые бронзы после затвердения состоят из кристаллов меди и включений свинца (см. схему на рис.11).

Микроанализ свинцовой бронзы БрС30 выявляет в структуре светлые участки (зерна меди) и темные (включения свинца). Свинец располагается по границам зерен меди или в междендритных пространствах (см. фотоснимок микроструктуры бронзы БрС30 на рис.12).

Равномерное распределение свинца и меди обеспечивает высокие антифрикционные свойства сплава.

Бронза БрС30 имеет низкие механические свойства: предел прочности $\sigma_B \approx 59$ МПа, относительное удлинение $\delta \approx 4\%$, но обладает высокой теплопроводностью (в 4 раза больше, чем у оловянных бронз) и допускает большой нагрев. Поэтому ее используют для изготовления высоконагруженных биметаллических подшипников, в которых бронза наплавлена тонким слоем на сталь. Такие подшипники просты в изготовлении и легко заменяются при износе.

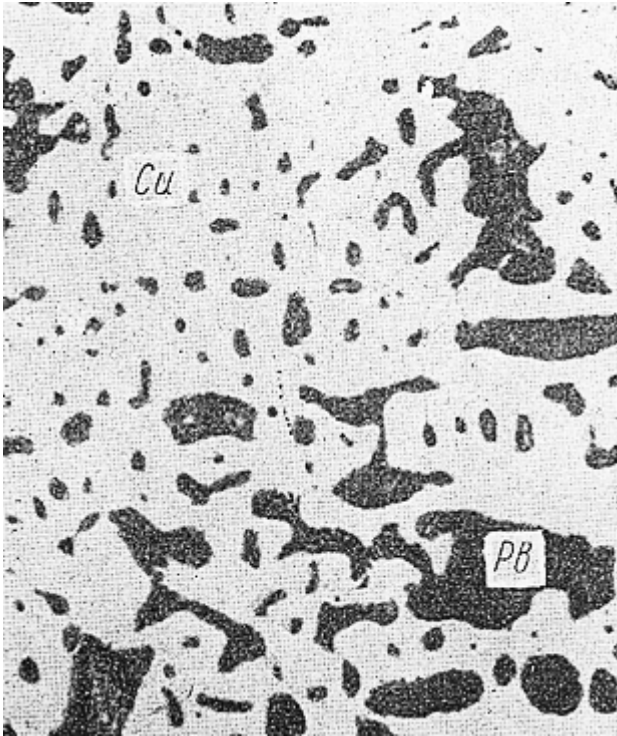


Рис.12 Микроструктура свинцовой бронзы Бр.С30; x200

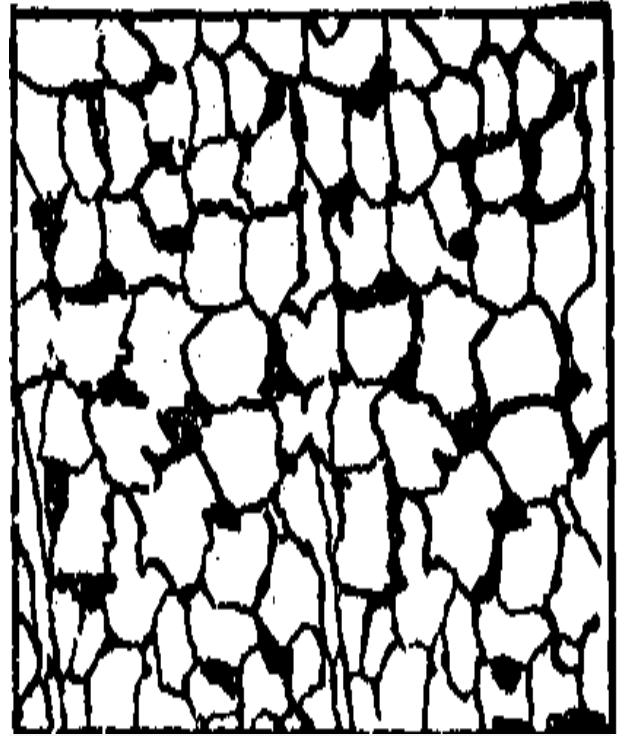


Рис.11. Свинцовая бронза БрС30 (медь и свинец) (схема).

3.3. Баббиты

Баббиты – антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. Они применяются для заливки вкладышей подшипников скольжения, работающих при больших окружных скоростях и при переменных (циклических) и ударных нагрузках. По химическому составу баббиты подразделяются на три группы оловянные (Б83, Б89), оловянно-свинцовые (БС6, Б16) и свинцовые (БК2, БКА), не имеющие в своем составе олова.

Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты. Микроструктура оловянно-сурмяно-медного баббита Б83 (см. фотоснимок на рис.13) состоит из мягкой основы, представляющей собой твердый раствор на базе олова. Твердыми частицами являются кубические включения SnSb и игольчатые кристаллы включений Cu_6Sn_5 . На рис.14 представлен фотоснимок микроструктуры баббита Б89, в которой отсутствуют твердые включения SnSb кубической формы, поэтому баббит Б89 по антифрикционным свойствам уступает баббиту Б83.

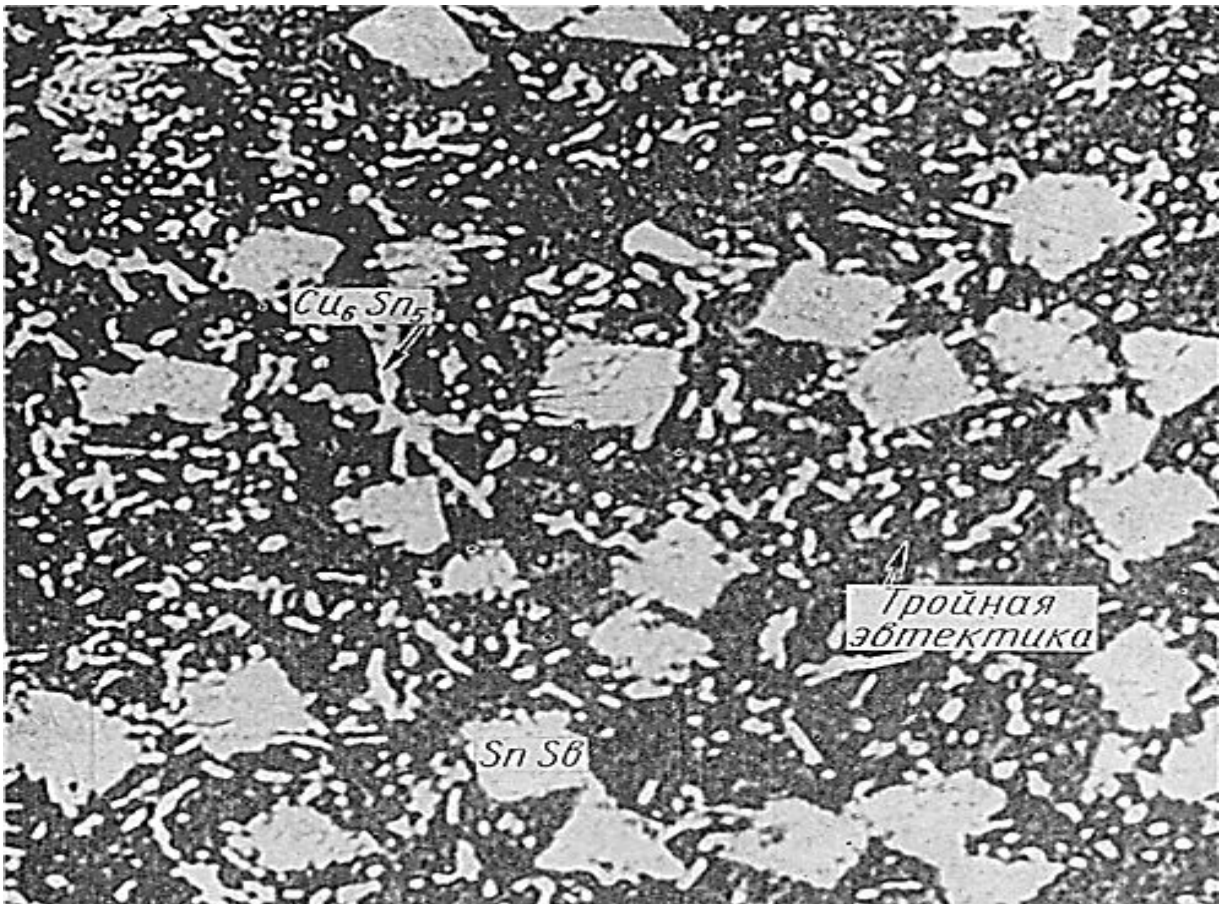


Рис.13 Микроструктура баббита Б83; x200

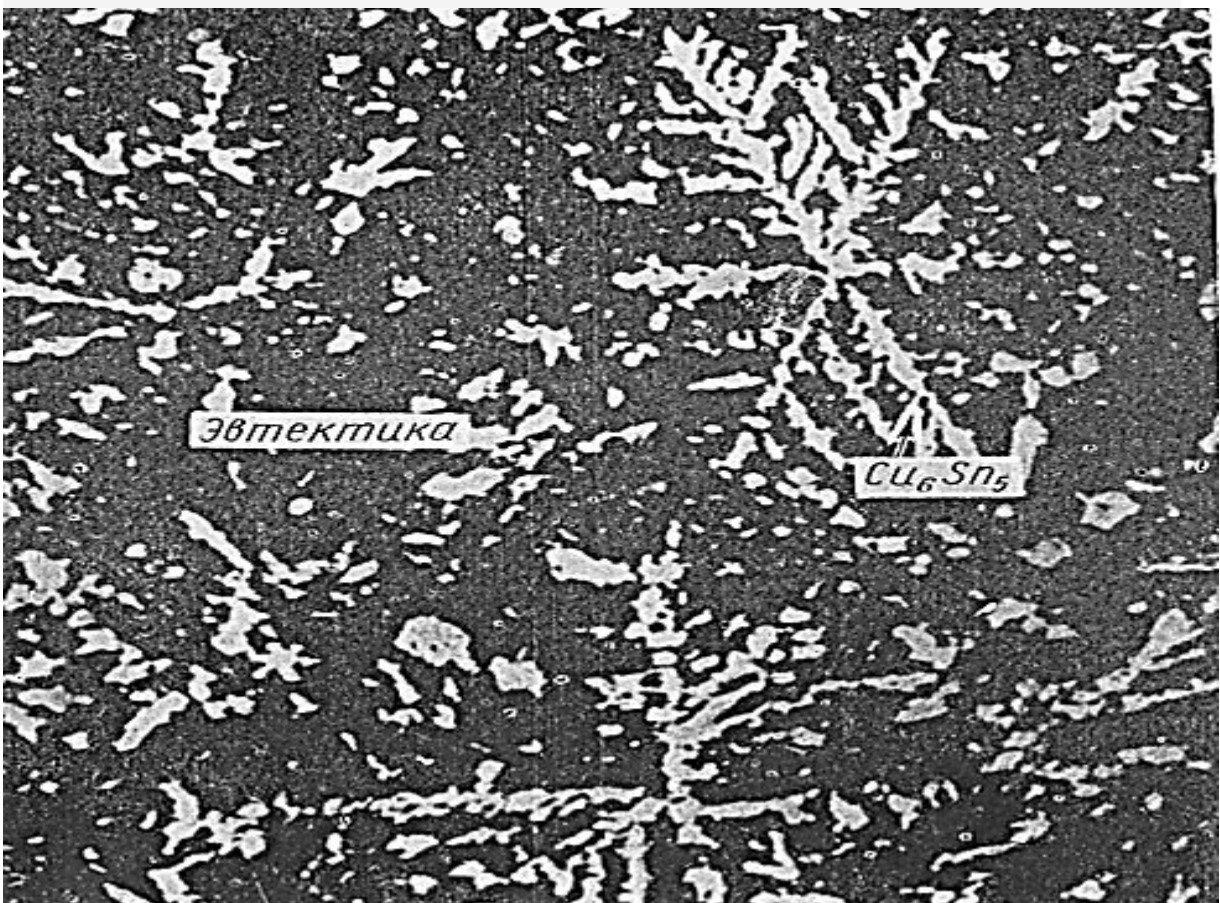


Рис.14 Микроструктура баббита Б89; x200

4. Алюминий и сплавы на основе алюминия.

4.1. Алюминий и его свойства.

Производство алюминия состоит из двух основных процессов:

- получение глинозема Al_2O_3 из бокситов
- восстановление металлического алюминия электролизом из раствора глинозема в расплавленном криолите (Na_3AlF_6).

Образующийся в результате алюминий называется **алюминием-сырцом**. Он содержит металлические (Fe, Si, Cu, Zn) и неметаллические (C, Al_2O_3 и др.) примеси. Эти примеси удаляют хлорированием (продувкой хлором) жидкого алюминия-сырца. После рафинирования хромом алюминий отливают в слитки.

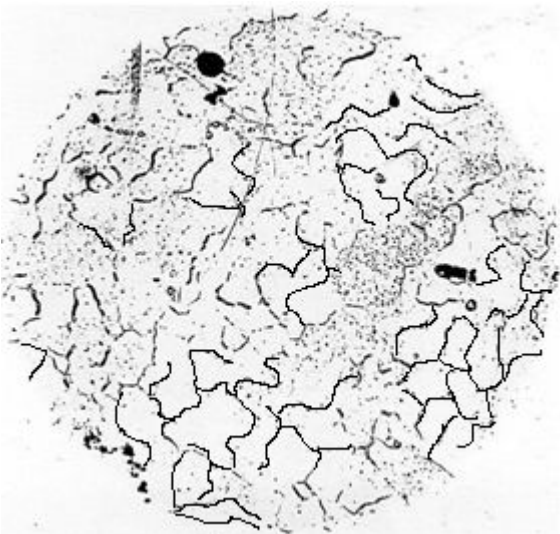


Рис.15 Микроструктура алюминия технической частоты; $\times 200$

Первичный алюминий делят на три группы: алюминий особой чистоты (марка А999), высокой чистоты (А99) и технической чистоты (А8) (рис.15). Цифра «8» означает, что в алюминии содержится 0,2% примесей и т.д.

Алюминий легкий металл серебристо-белого цвета с высокой электро- и теплопроводностью; плотность его 2700кг/м^3 , температура плавления в пределах $660\div 667^\circ\text{C}$.

В отожжённом состоянии алюминий имеет малую прочность ($\sigma_B=80\text{-}100\text{МПа}$), низкую твердость (НВ 20-40), но обладает высокой пластичностью ($\delta=35\text{-}40\%$). Хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо поддается резанию. Имеет высокую

стойкость против коррозии.

В качестве конструкционных материалов алюминий широко применяется в сплавах с другими металлами – медью, марганцем, кремнием и т.д.

4.2. Алюминий и его сплавы.

Все алюминиевые сплавы делятся на две группы: на **деформируемые** и на **литейные** сплавы. В свою очередь, деформируемые сплавы алюминия подразделяются на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой сплавы.

Однофазные сплавы (только со структурой твердого раствора), содержащие легирующего элемента меньше предела его растворимости в алюминии при комнатной температуре, пластичны в холодном и горячем состоянии и являются деформируемыми, но не упрочняемыми термообработкой (см. рис.16, сплавы I).

Если сплав содержит легирующего элемента больше его растворимости в алюминии при комнатной температуре, но меньше максимальной растворимости при высокой температуре, то появляется возможность получения пересыщенных твердых растворов. Такие сплавы остаются еще достаточно пластичными, относятся к группе деформируемых и могут упрочняться термической обработкой (см. рис.16, сплавы II).

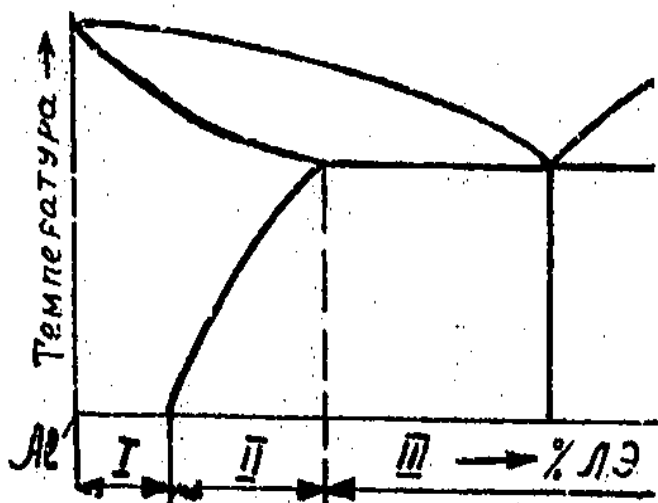


Рис.16 Диаграмма состояния алюминий – легирующий элемент: I – деформируемые сплавы не упрочняемые термической обработкой; II – деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой; III – литейные сплавы

Если концентрация легирующего элемента превышает его максимальную растворимость в алюминии, то в структуре, наряду с твердым раствором, появляется эвтектическая составляющая. Появление эвтектики резко повышает жидкотекучесть сплава. Такие сплавы относятся к группе литейных (см. рис.16, сплавы III).

Если концентрация легирующего элемента превышает его максимальную растворимость в алюминии, то в структуре, наряду с твердым раствором, появляется эвтектическая составляющая. Появление эвтектики резко повышает жидкотекучесть сплава. Такие сплавы относятся к группе литейных (см. рис.16, сплавы III).

Алюминиевый деформируемый сплав

Сплав АК4 помимо меди (1,9 – 2,5%) и магния (1,4 – 1,8%) содержит ни-



Рис.17 Алюминиевый сплав АК4 (α – твердый раствор и химические соединения – интерметаллиды) (схема)

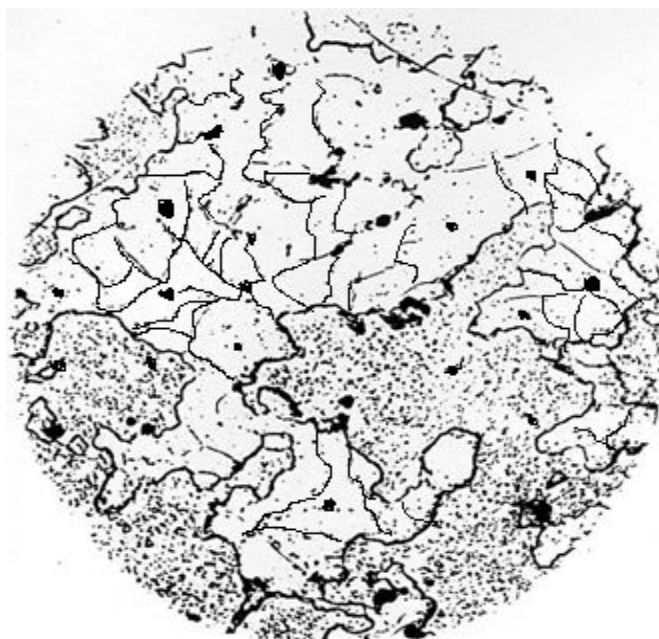


Рис.18 Микроструктура алюминиевого деформируемого сплава; x200

кель (0,8 – 1,4%), железо (0,8 – 1,4%), кремний (0,5 – 1,2%). Металлы, входящие в состав сплава, частично растворяются в алюминии, образуя α – твердый раствор. Те количества легирующих элементов, которые не растворились в алюминии, образуют между со-

бой химические соединения, наблюдаемые при микроанализе в виде темных включений, разных по цвету, форме, размерам, вытянутых в цепочке по направлению деформации. Таким образом, структура сплава АК4: твердый раствор (белый фон) и химические соединения – интерметаллиды (темные включения, рис.17 (схема)). Фотоснимок микроструктуры сплава представлен на рис. 18.

Из сплава АК4 изготавливают детали, работающих при температурах до 350°С (поршни, головки цилиндров, диски, крыльчатки компрессоров и др.).

Алюминиевый литейный сплав

Сплав АЛ4 является доэвтектическим, содержит 8,0 – 10,5% кремния, 0,17 – 0,3% магния, 0,2 – 5% марганца.

Не модифицированный сплав имеет в структуре (рис.19): α – твердый раствор (крупные светлые поля) и эвтектику, состоящую из крупных игл кремния (темные участки на схеме) и из α – твердый раствора (белые участки между иглами кремния).

Грубые крупные иглы кремния играют роль внутренних надразов в пластичном α – твердом растворе, что снижает механические свойства не модифицированного сплава: предел прочности не превышает 150 МПа, а относительное удлинение – 2%.

Повышение механических свойств сплава АЛ4 достигается модифицированием (введением в жидкий сплав натрия или смесей его солей). В модифицированном сплаве образуется дисперсная эвтектика, состоящая из α – твердого раствора (светлый фон) и мелких включений кремния (темные, мелкие пятна, рис.20).

Измельчение эвтектики в результате модифицирования обеспечивает повышение прочности сплава АЛ4 до 235 МПа.

Сплавы АЛ4 применяют для изготовления крупных и сложных по конфигурации отливок, в частности, отливают картеры и блоки поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Обе рассмотренные на рис.19 и 20 микроструктуры схематично изображены на рис.21 и 22.

Задания

1. Ознакомиться с классификацией, составом, с принципом маркировки и областью применения медных и алюминиевых сплавов.
2. Исследовать с помощью металлографического микроскопа МИМ-8 микроструктуру латуней, бронз, а так же литейных и деформируемых сплавов на основе алюминия.
3. Зарисовать микроструктуры исследуемых медных и алюминиевых сплавов с обозначением структурных составляющих, сравнивая наблюдаемую с помощью микроскопа картину с соответствующими фотографиями микроструктур сплавов цветных металлов.

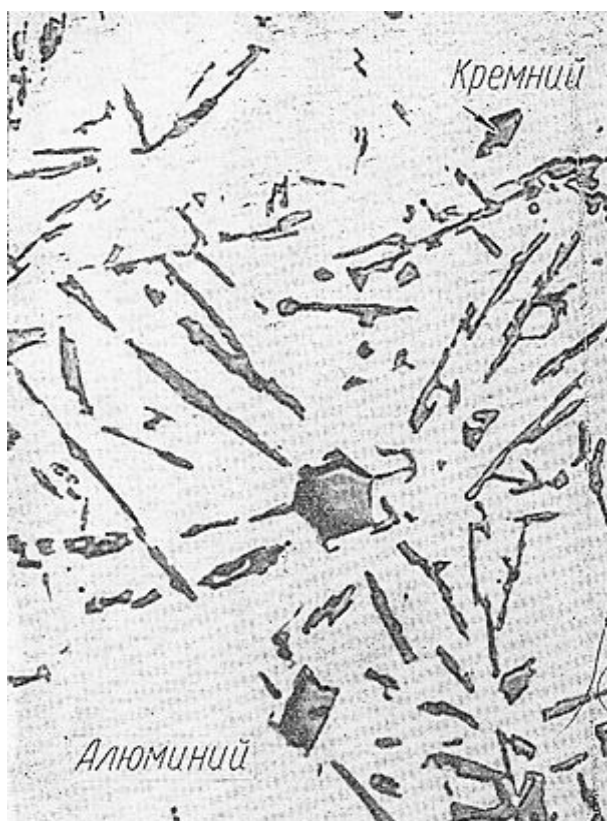


Рис.19 Микроструктура немодифицированного сплава АЛ4; x200



Рис.21 Схема структуры немодифицированного сплава АЛ4.

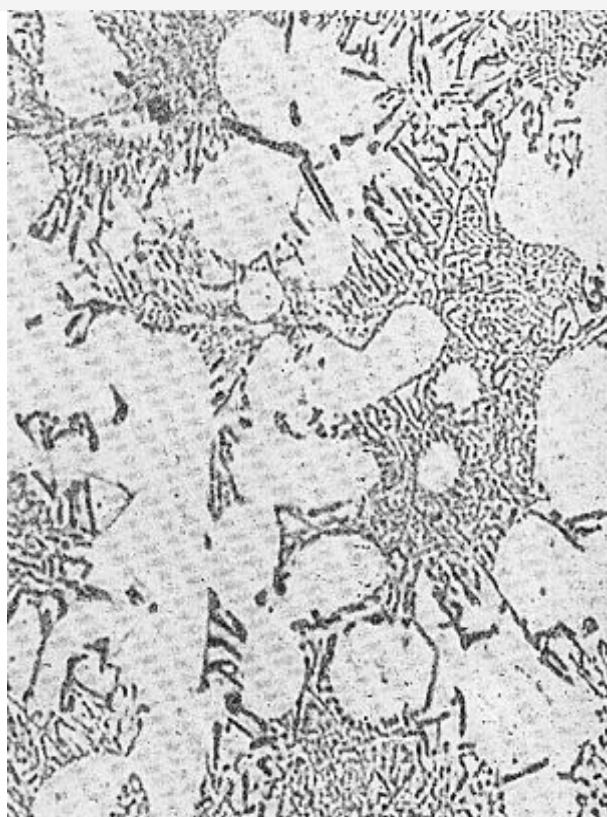


Рис.20 Микроструктура модифицированного сплава АЛ4; x200

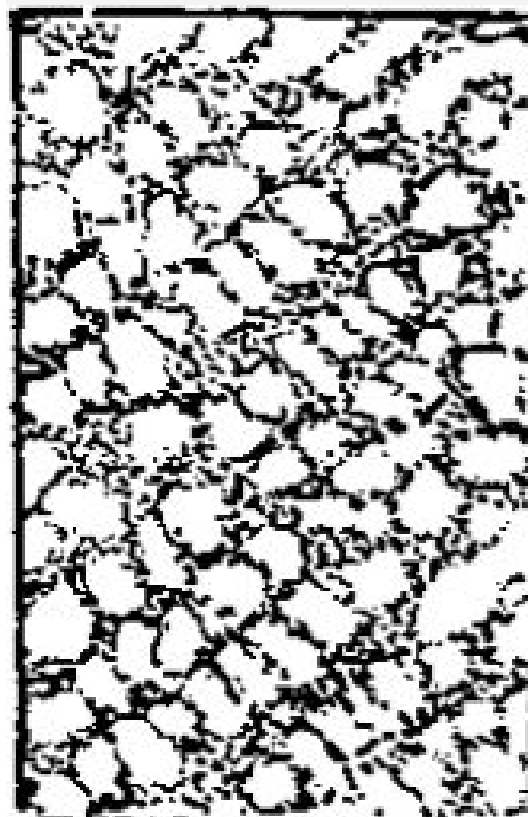


Рис.22 Схема структуры модифицированного сплава АЛ4.

Содержание письменного отчета

1. Цель работы.
2. Тип и марки исследуемых сплавов.
3. Химический состав, свойства, маркировка и область применения исследуемых сплавов.
4. Рисунки микроструктур латуни, бронзы, литейного и деформируемого алюминиевого сплава с обозначением структурных составляющих (твердого раствора, химического соединения, эвтектики).

Контрольные вопросы

1. Механические свойства, маркировка и область применения технической меди.
2. Какие сплавы называют латунями?
3. Структура, механические свойства, маркировка и область применения простых, однофазных и двухфазных латуней.
4. Структура, состав и область применения специальной (сложной) латуни ЛС59-1.
5. Какие сплавы называют бронзами?
6. Особенности структуры, свойства, маркировка и область применения оловянных бронз.
7. Структура, свойства, маркировка и область применения свинцовых бронз.
8. Структура, свойства, маркировка и область применения свинцовых баббитов.
9. Классификация алюминиевых сплавов и принцип маркировки.
10. Приведите пример алюминиевого деформируемого сплава. Состав сплава, особенности структуры, свойства, области применения.
11. Приведите пример алюминиевого литейного сплава. Состав сплава, особенности структуры, свойства, области применения.
12. С какой целью выполняется модифицирование алюминиевых литейных сплавов?

Литература

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Гуляев А.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986.
3. Сапрыкин Ю.В. Материаловедение. КГТУ. – Б.: ИЦ «Текник», 2009.