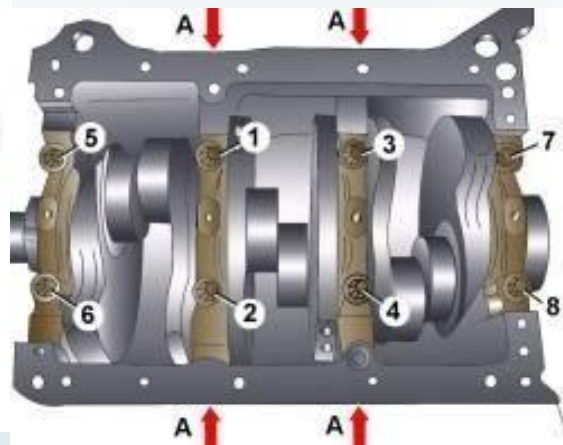


# **Тема 4.1. Антифрикционные материалы**

# Вкладыши подшипников

## \* Вкладыши подшипников



Вкладыши подшипников в судовых двигателях

Подшипники скольжения (вкладыши) в цилиндрах автомобильных двигателей



блоке



Вкладыши подшипников в двигателях тепловозов



# Требования к антифрикционным материалам

Антифрикционными называются материалы, которые используются для подшипников скольжения и обеспечивают малые потери энергии при работе пары трения. **Главное требование к этим материалам** - низкий коэффициент трения в паре с контртелом.

Хорошая прирабатываемость

Малая изнашиваемость вала

Высокая усталостная прочность

Хорошая теплопроводность

Достаточная коррозионная стойкость

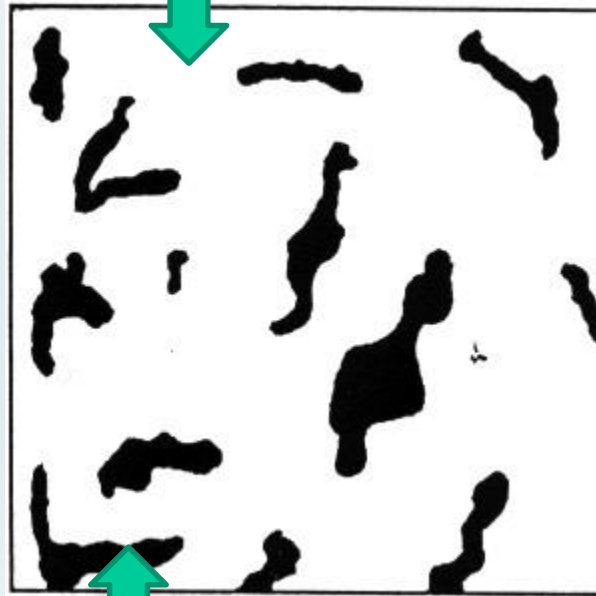
Хорошие технологические свойства

Достаточная прочность

Низкий коэффициент трения имеют материалы, способные удерживать на поверхности масляную плёнку.

## Твёрдая составляющая

Для этого материал должен быть неоднородным, то есть структура должна содержать мягкие и твёрдые составляющие.

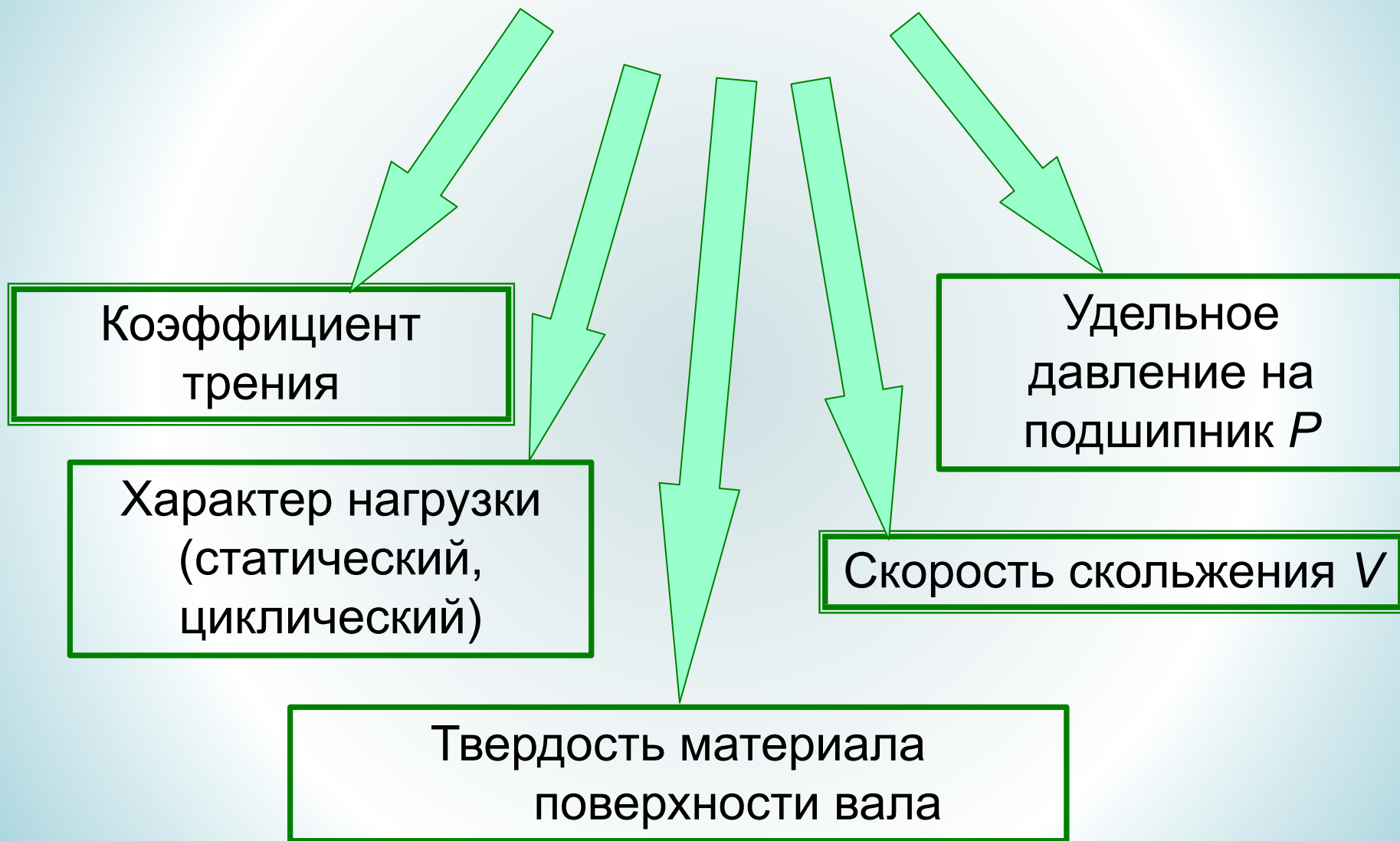


## Мягкая составляющая

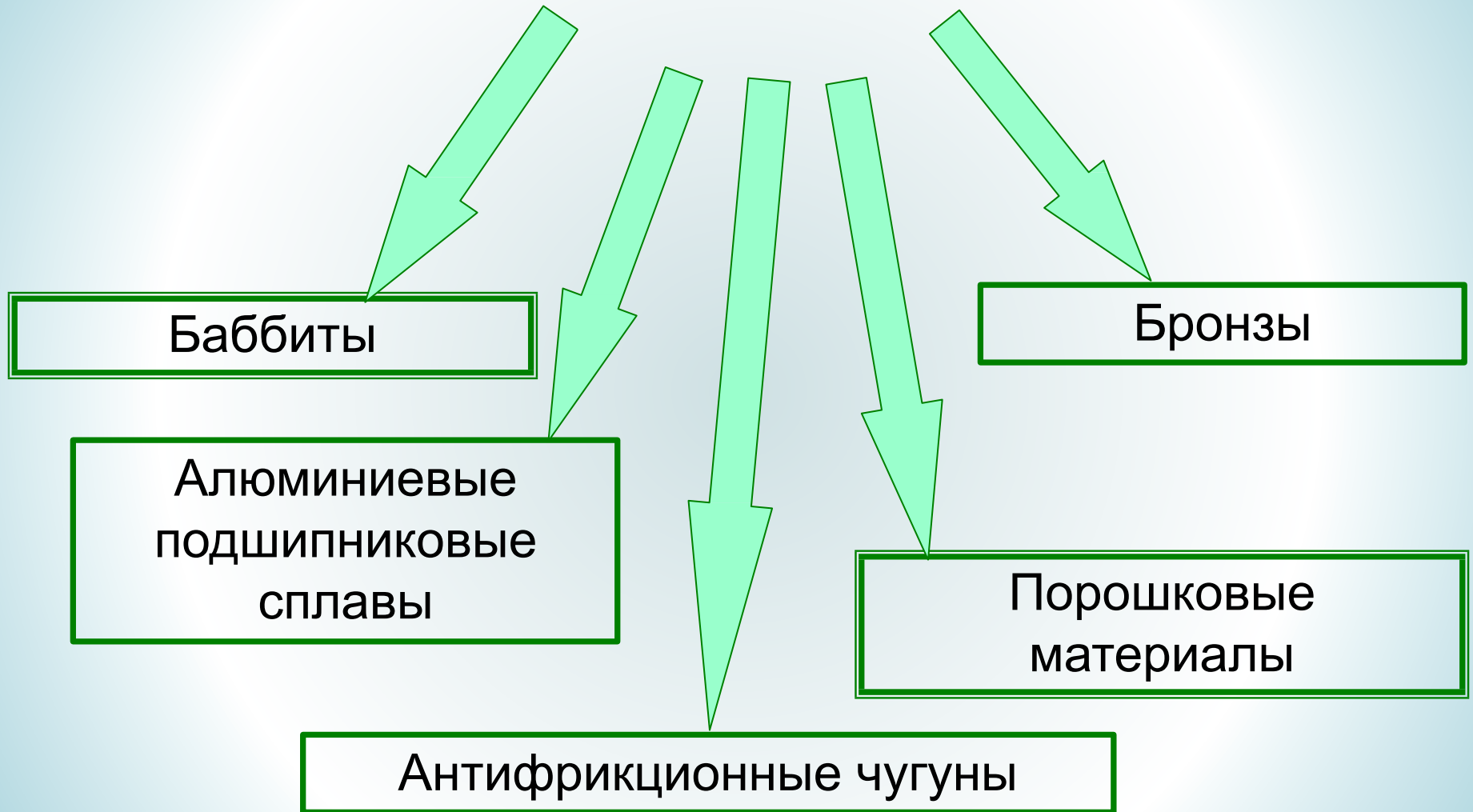
Микроструктура состоит из мягкой основы твёрдых включений или твёрдой основы, в которой расположены мягкие включения.

В процессе работы мягкая составляющая вырабатывается, и образуются микровпадины, в которых задерживается смазка.

# Основные параметры при выборе материала подшипника



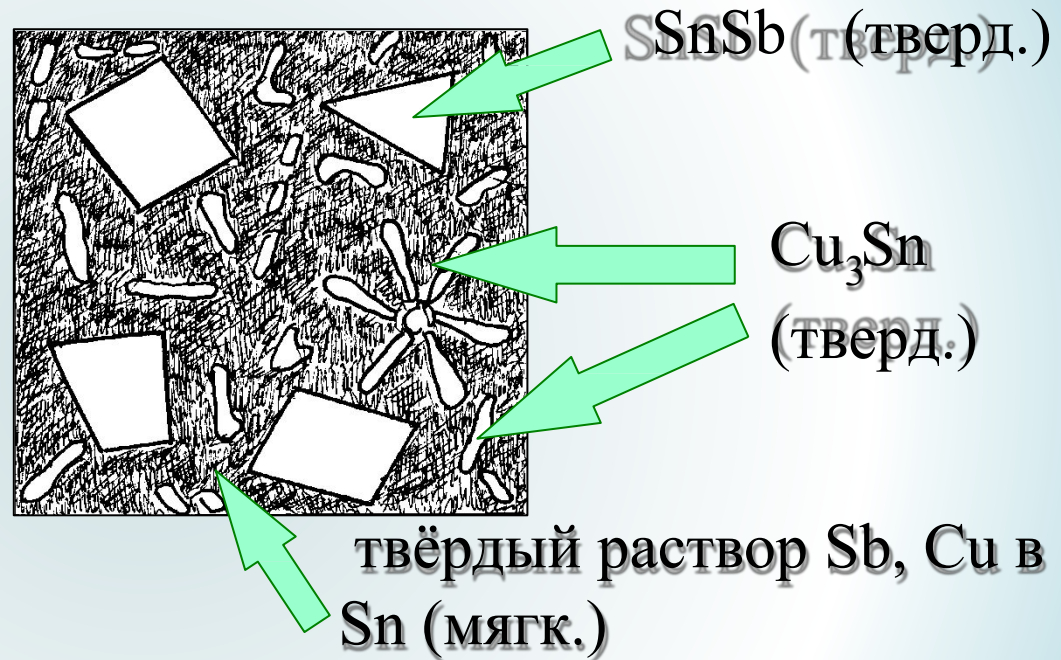
# Основные группы металлических антифрикционных материалов



# Баббиты

Баббитами называются легкоплавкие сплавы на основе олова или свинца. Классическим является оловянный баббит **Б83 (83% Sn, 11% Sb, 6% Cu)**.

Его структура состоит из твердых кристаллов  $\text{SnSb}$  кубической формы и звездчатых или удлиненных кристаллов  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ , располагаемых в мягкой пластической основе, которая представляет твердый раствор  $\text{Sb}$  и  $\text{Cu}$  в  $\text{Sn}$ .

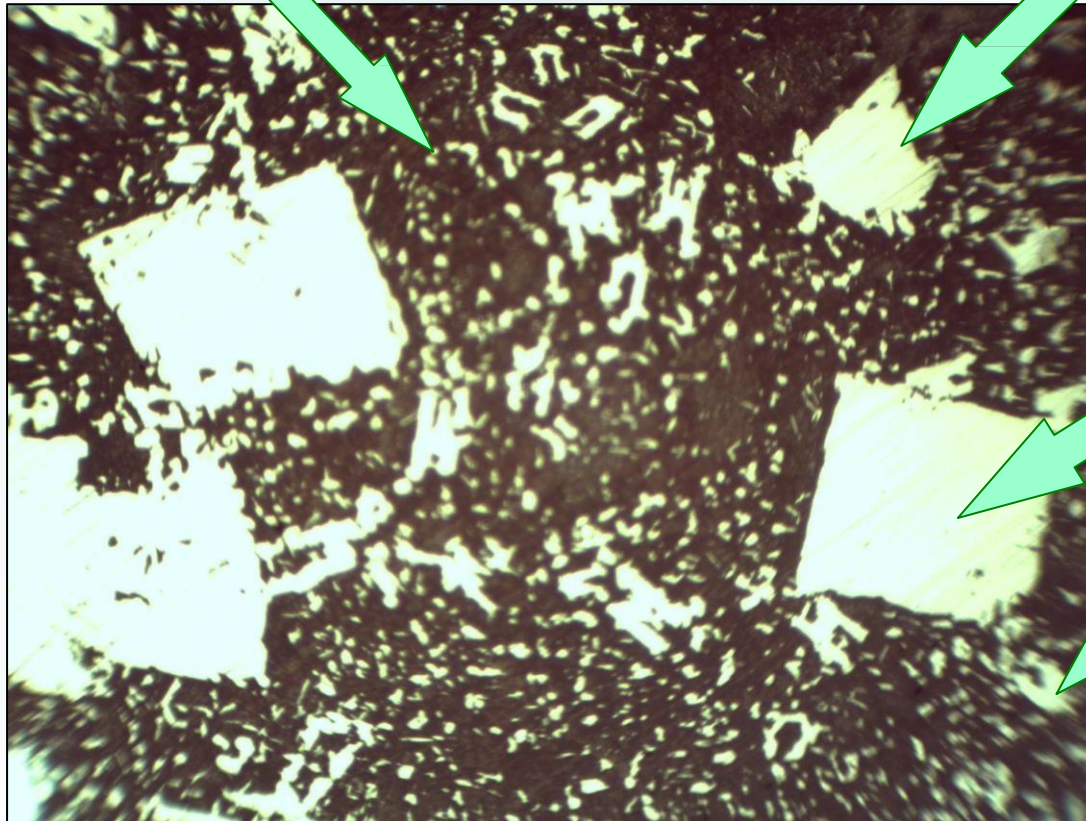


Такая структура обеспечивает низкий коэффициент трения. Основным недостатком оловянных баббитов является их низкая усталостная прочность. Поэтому они **непригодны для быстроходных бензиновых двигателей**. Так как баббиты имеют низкий коэффициент трения и низкую прочность, то их наносят в виде покрытия на более прочную основу, т.е. для изготовления биметаллических подшипников.

# Баббиты

твёрдый раствор Sb и  
Cu в Sn (мягк.)

SnSb (твёрд.)



Cu<sub>3</sub>Sn  
(твёрд.)

Оловянный баббит Б83  
(11% Sb, 6% Cu, остальное Sn)

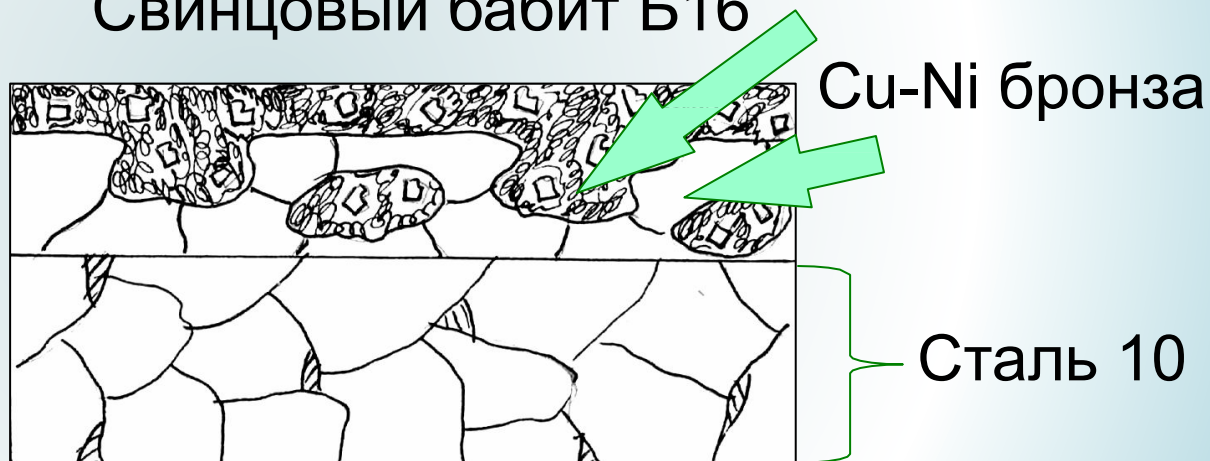


# Баббиты

Уменьшения толщины слоя баббита можно достичь в так называемых триметаллических подшипниках, где между основой и антифрикционным материалом наносится промежуточный пористый медно-никелевый слой.

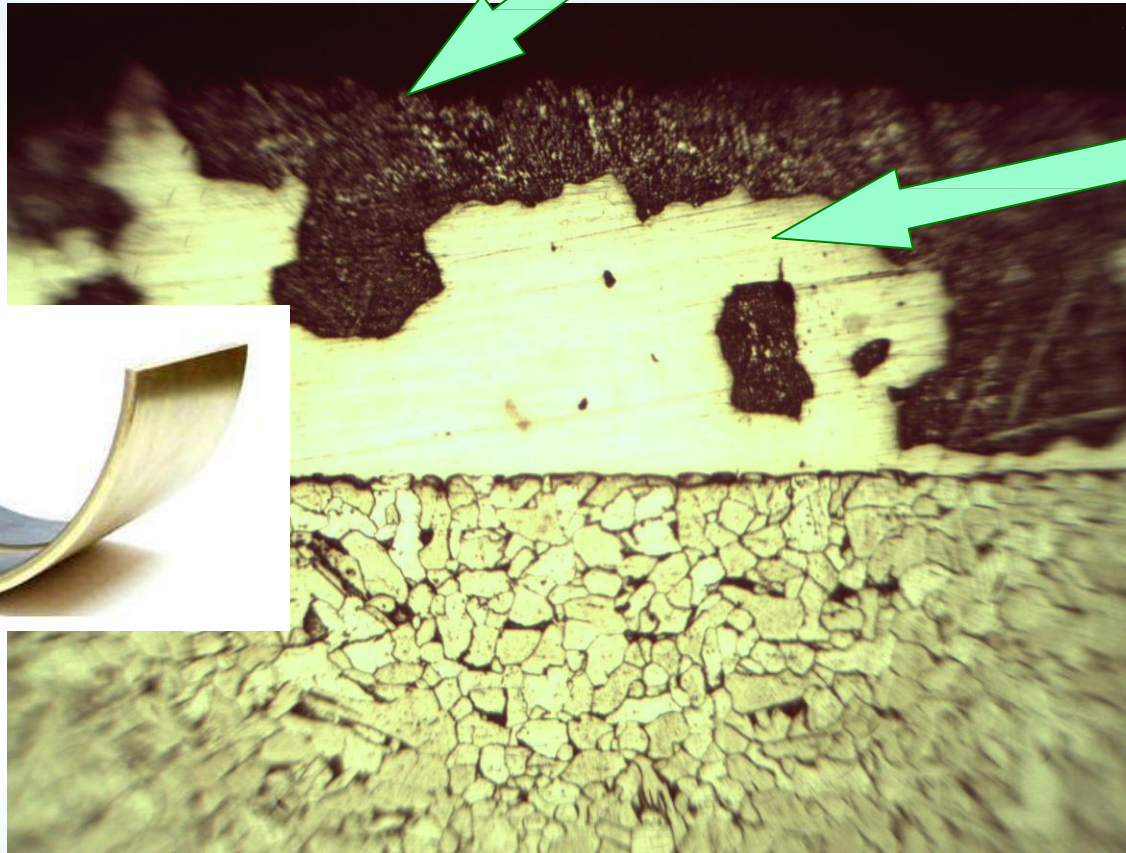
При заливки баббит затекает в поры подслоя, что обеспечивает хорошее сцепление слоя с основанием.

Свинцовый бабит Б16



Это позволяет уменьшить толщину слоя и улучшить служебные свойства вкладыша. Такие подшипники широко используют в автомобилях ГАЗ, ЗИЛ, КрАЗ.

Баббиты

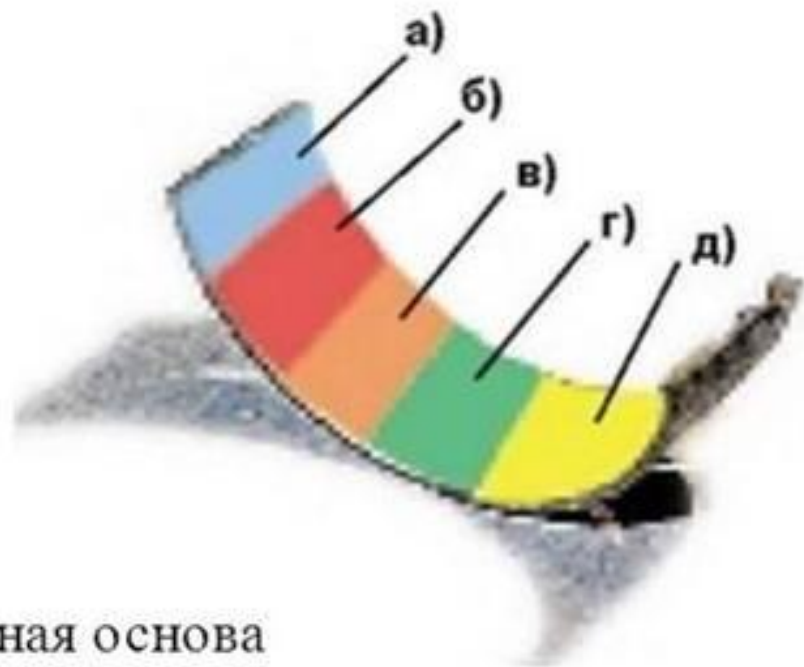


Cu-Ni бронза

Сталь 10

Триметаллический вкладыш подшипника.  
Сталь 10 + Cu-Ni бронза + свинцовый баббит Б16

**У многослойных вкладышей каждый слой выполняет свою задачу:**



а) стальная основа

б) основной бронзовый антифрикционный слой

в) подслой никеля

г) баббитовое покрытие

д) покрытие оловом для приработки

## Биметаллический подшипник

Антифрикционный  
алюминиевый сплав

Алюминиевый  
подслой



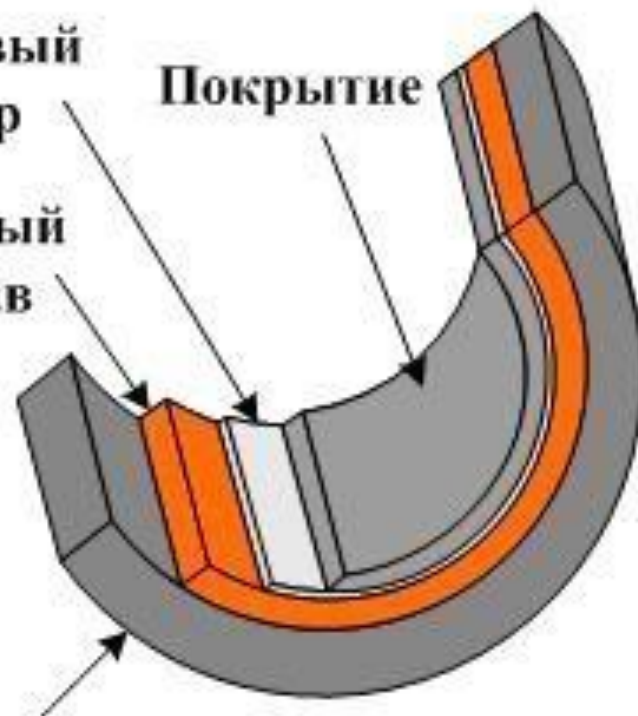
Стальное основание

## Триметаллический подшипник

Никелевый  
барьер

Медный  
сплав

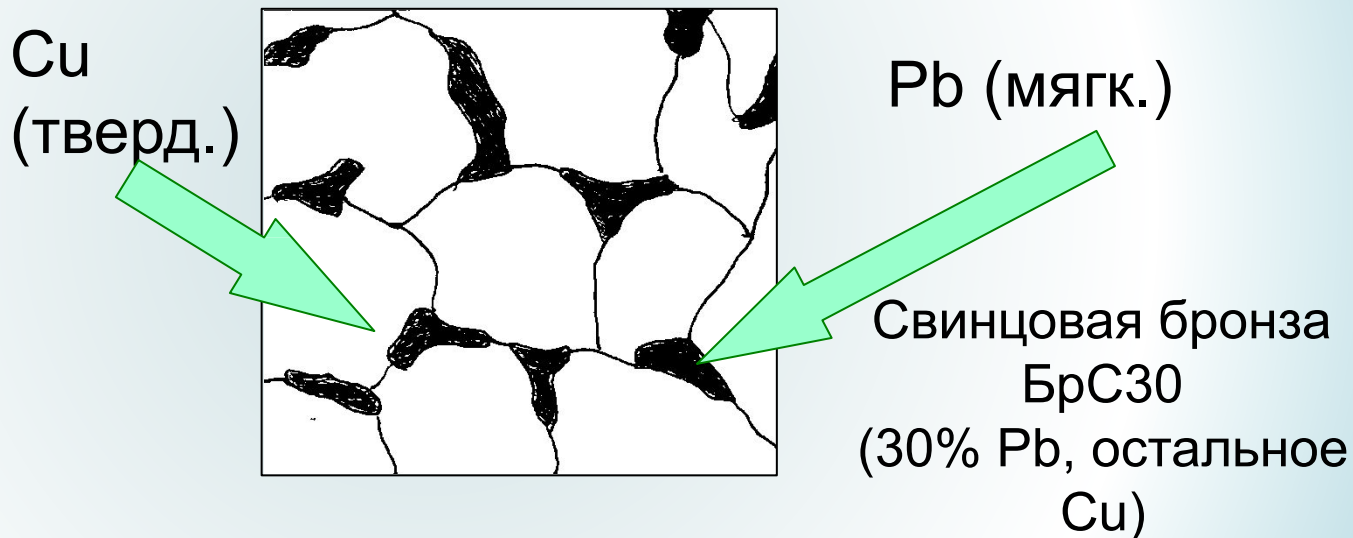
Покрытие



# Антифрикционные бронзы и латуни

В качестве антифрикционных применяют двойные свинцовые и оловянные, а также сложные бронзы. Эти сплавы прочнее баббитов, поэтому они используются для тяжело нагруженных подшипников, работающих при больших удельных давлениях и высоких скоростях скольжения.

В частности, бронзовые подшипники применяют в авиастроении.

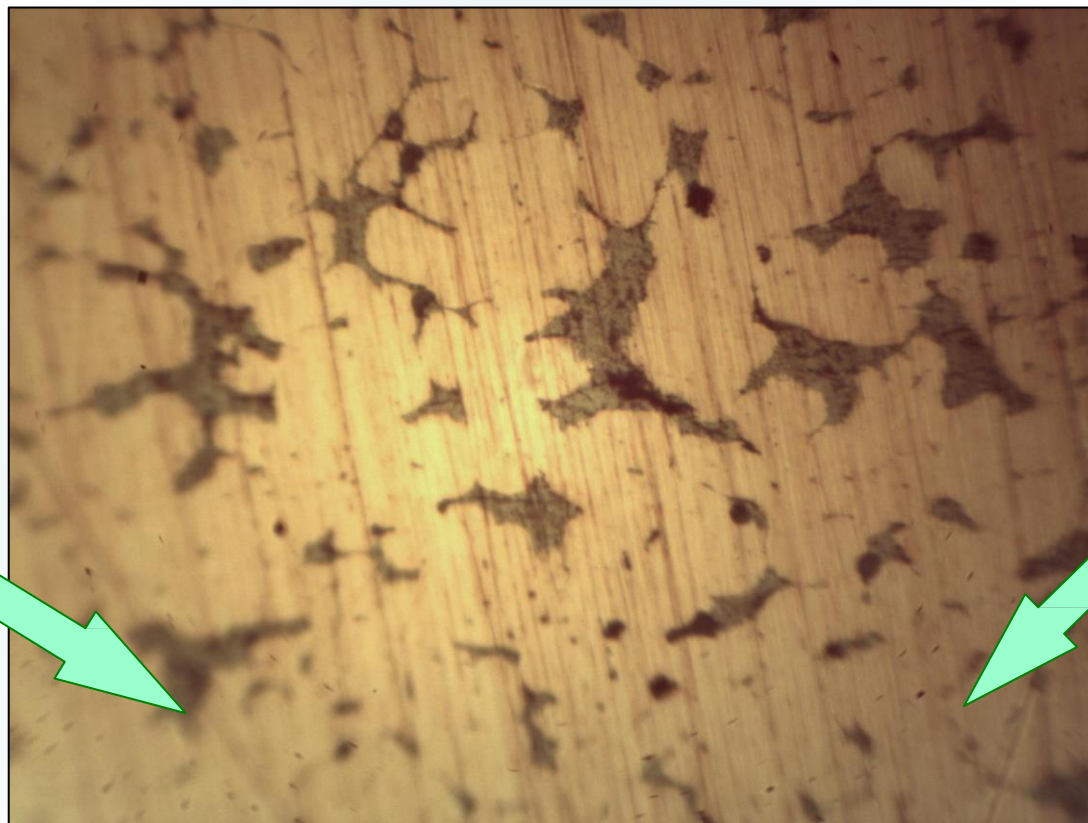


Структура свинцовой бронзы БрС30 (70% Cu, 30% Pb) является механической смесью зерен Pb и Cu. Равномерное вкрапление мягкого свинца в твердую медь обеспечивает высокие антифрикционные свойства.

# Антифрикционные бронзы и латуни

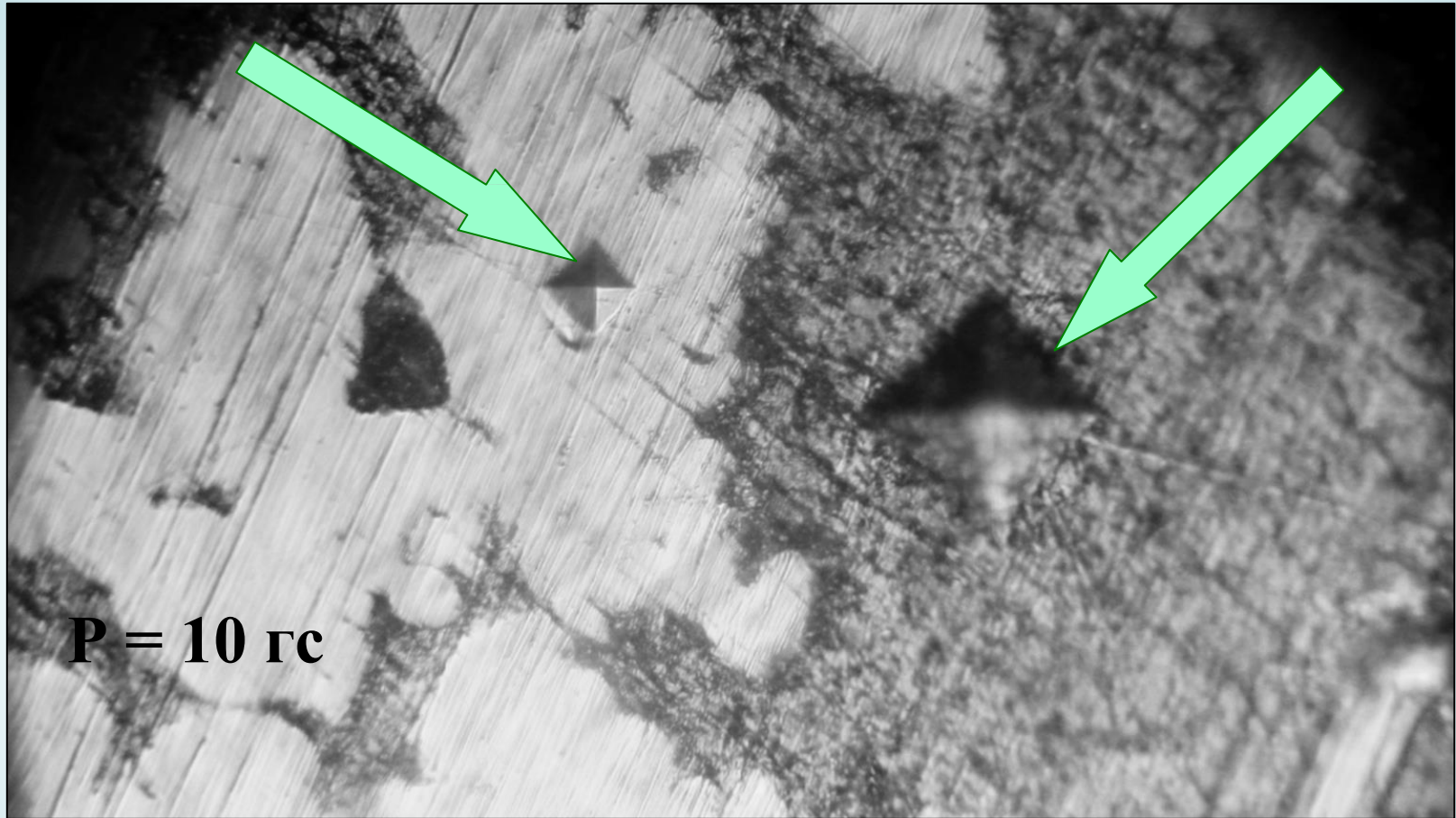
Pb  
(мягк.)

Cu  
(тverd.)



Свинцовая бронза БрС30  
(30% Pb, остальное Cu)

# Антифрикционные бронзы и латуни

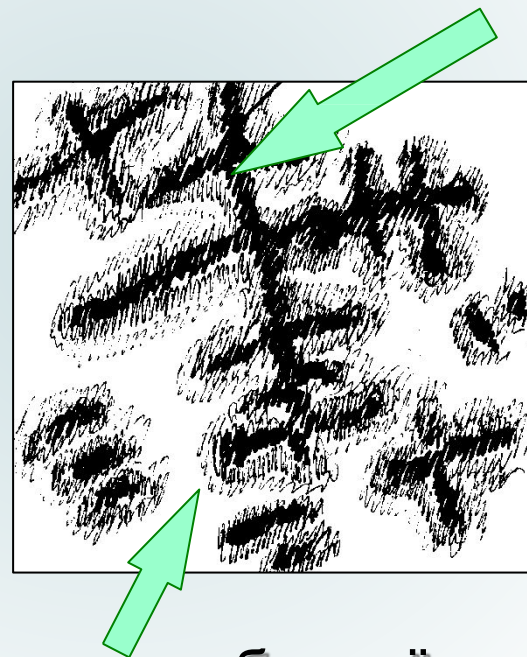


Структура БрС30: механическая смесь мягких зёрен свинца и твёрдых зёрен меди. Твёрдость свинца - HV9, твёрдость меди – HV57.

# Антифрикционные бронзы и латуни

В качестве антифрикционных используют оловянные бронзы Бр06 (6% Sn, остальное Cu), Бр010 (10% Sn, остальное Cu). В таких количествах олово полностью растворяется в меди, образуя твердый раствор.

Распределение олова в литом сплаве неоднородное: оси дендритов обедненные оловом, междендритные пространства обогащенные этим элементом, и создает необходимую микрогетерогенность структуры.



$\alpha$  – тв. р-р, обеднённый Sn (мягк.)

Оловянная бронза Бр06 (6% Sn, ост. - Cu)

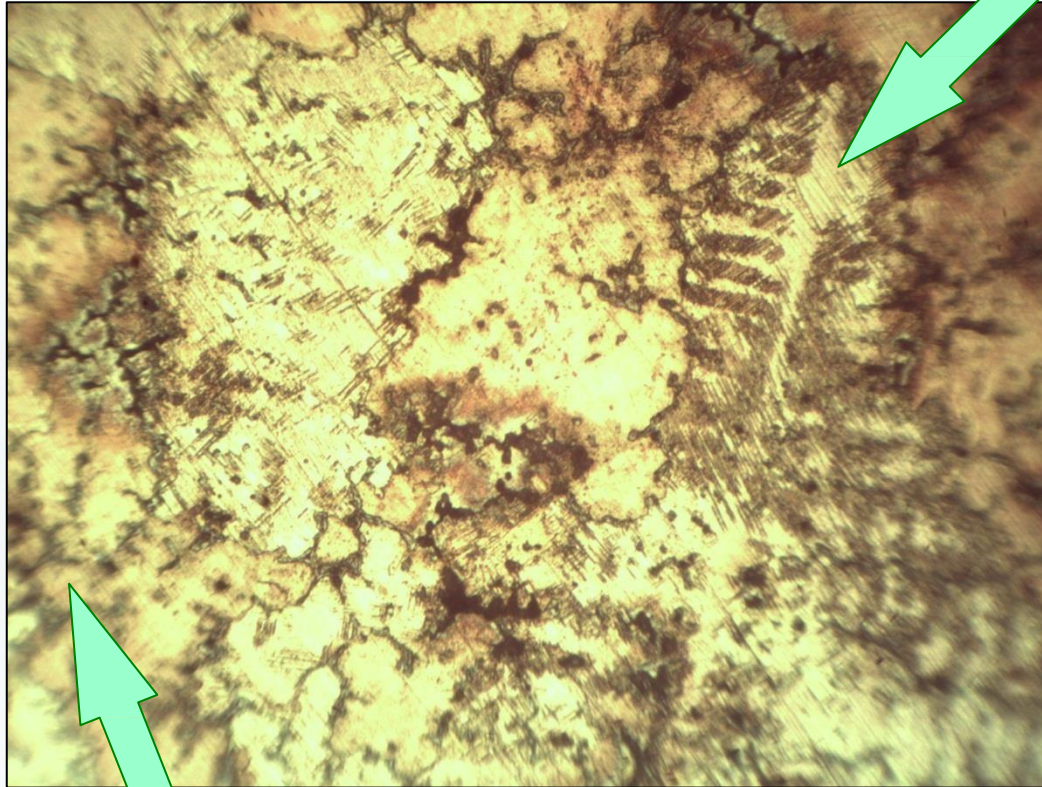
$\alpha$  – тв. р-р, обогащённый Sn (тврд.)

Антифрикционные латуни дешевле бронзы и используются как их заменители.



# Антифрикционные бронзы и латуни

$\alpha$  – тв. р-р, обеднённый Sn (мягк.)



$\alpha$  – тв. р-р, обогащённый Sn (твёрд.)  
(твёрд.)

Оловянная бронза Бр06

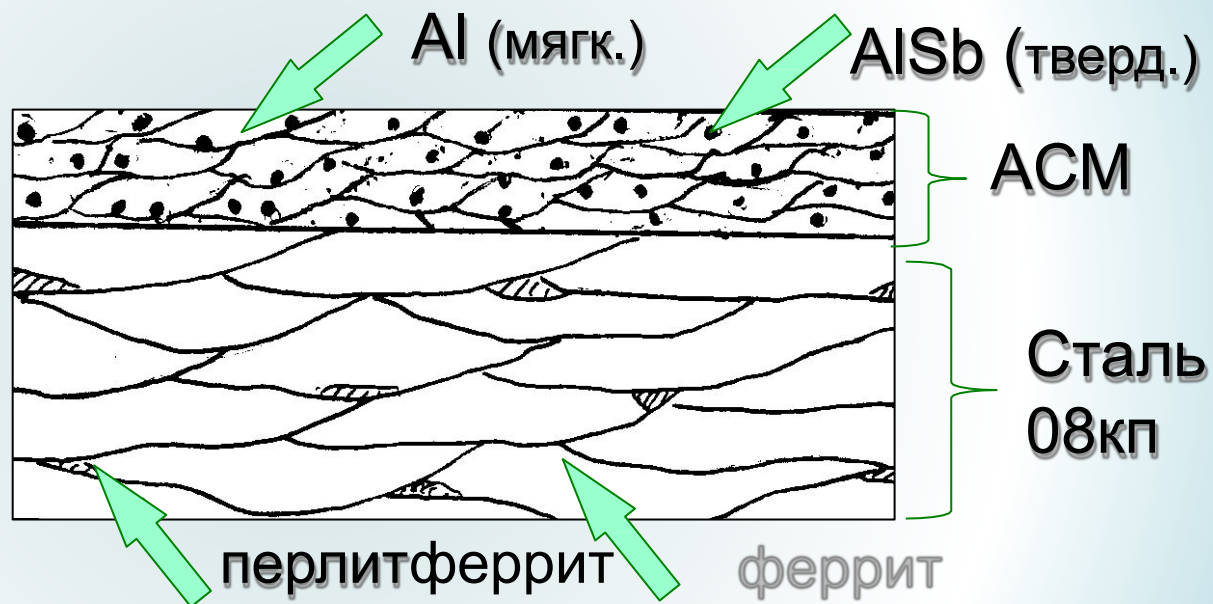
Оловянная бронза Бр06

(6% Sn, ост. – Cu)

# Алюминиевые подшипниковые сплавы

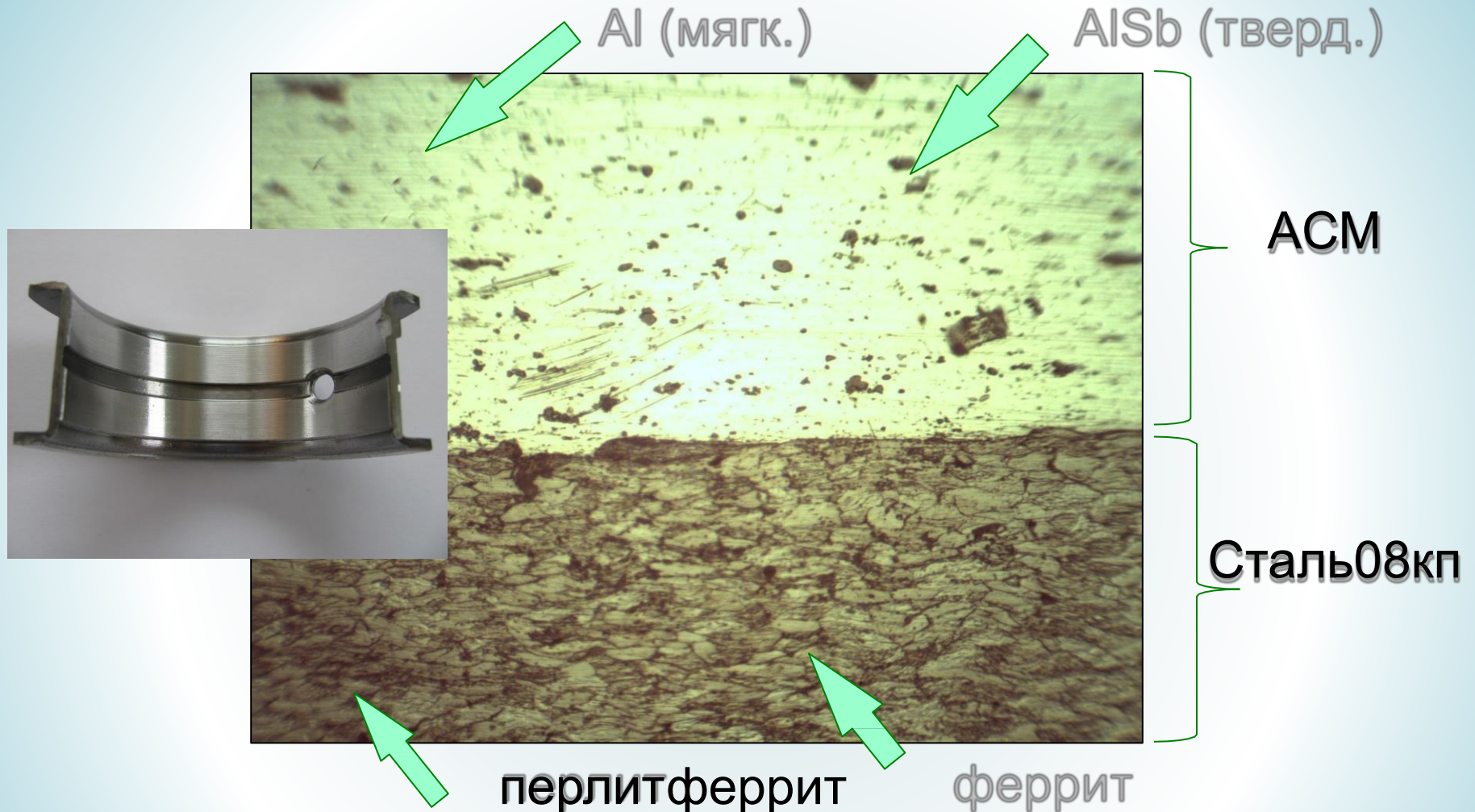
Антифрикционные сплавы на основе алюминия легируют Sb, Pb, Mg, Cu и некоторыми другими элементами. Эти сплавы имеют относительно низкий коэффициент трения, высокие износостойкость и усталостную прочность, хорошую технологичность.

Их наносят на стальную основу (сталь типа 08кп) в виде ленты, а сцепление слоев обеспечивается совместной



Одним из таких сплавов является ACM (4% Sb, 0,5% Mg, остальное Al). Его структура состоит из мягкой алюминиевой основы и включений твердой фазы AlSb. Сплав ACM нашел широкое применение в тяжело нагруженных дизельных двигателях. Недостатками сплава является худшая, чем у баббита и бронзы, приработываемость.

# Алюминиевые подшипниковые сплавы



**Биметаллический вкладыш подшипника.**

Сталь 08кп + алюминиевый сплав ACM  
(4% Sb, 0,5% Mg, ост. - Al)

# \* АНТИФРИКЦИОННЫЕ на ОСНОВЕ ЦИНКА

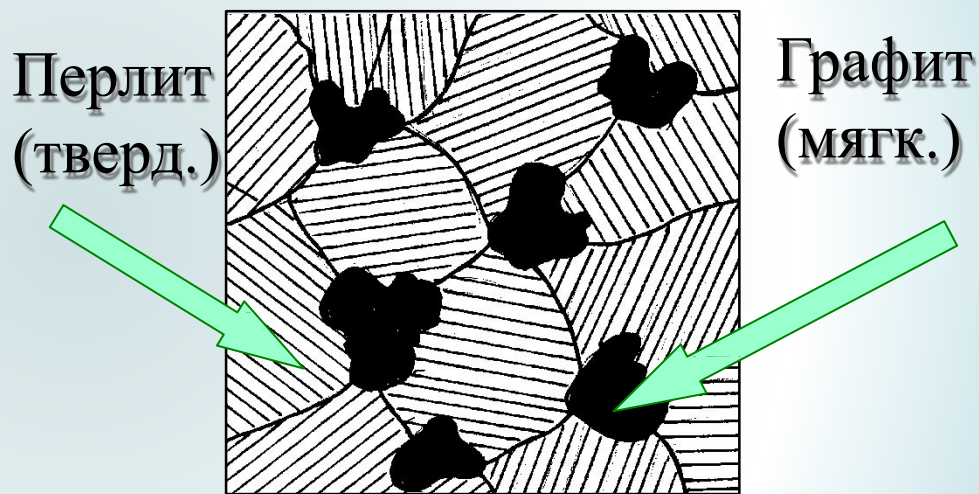
Сплавы на основе цинка содержат 9...12% Al, 1...5,5% Cu, 0,03...0,06% Mg, остальное Zn (ЦАМ10-5; ЦАМ9-1,5), обладают низкой температурой плавления (400 °С), при нагреве размягчаются, поэтому хорошо прирабатываются. По этой причине подшипники из цинковых сплавов меньше изнашиваются.



# Порошковые антифрикционные материалы

Порошковые антифрикционные сплавы, как правило, используются для втулок или колец и изготавливаются из порошков железа и графита, бронзы и графита и т.д. по обычной технологии порошковой металлургии прессованием и последующим спеканием. Чаще всего применяются композиции Fe-графит или Fe-Cu-графит.

После спекания антифрикционные изделия подвергают пропитке маслом (погружение в горячее масло и

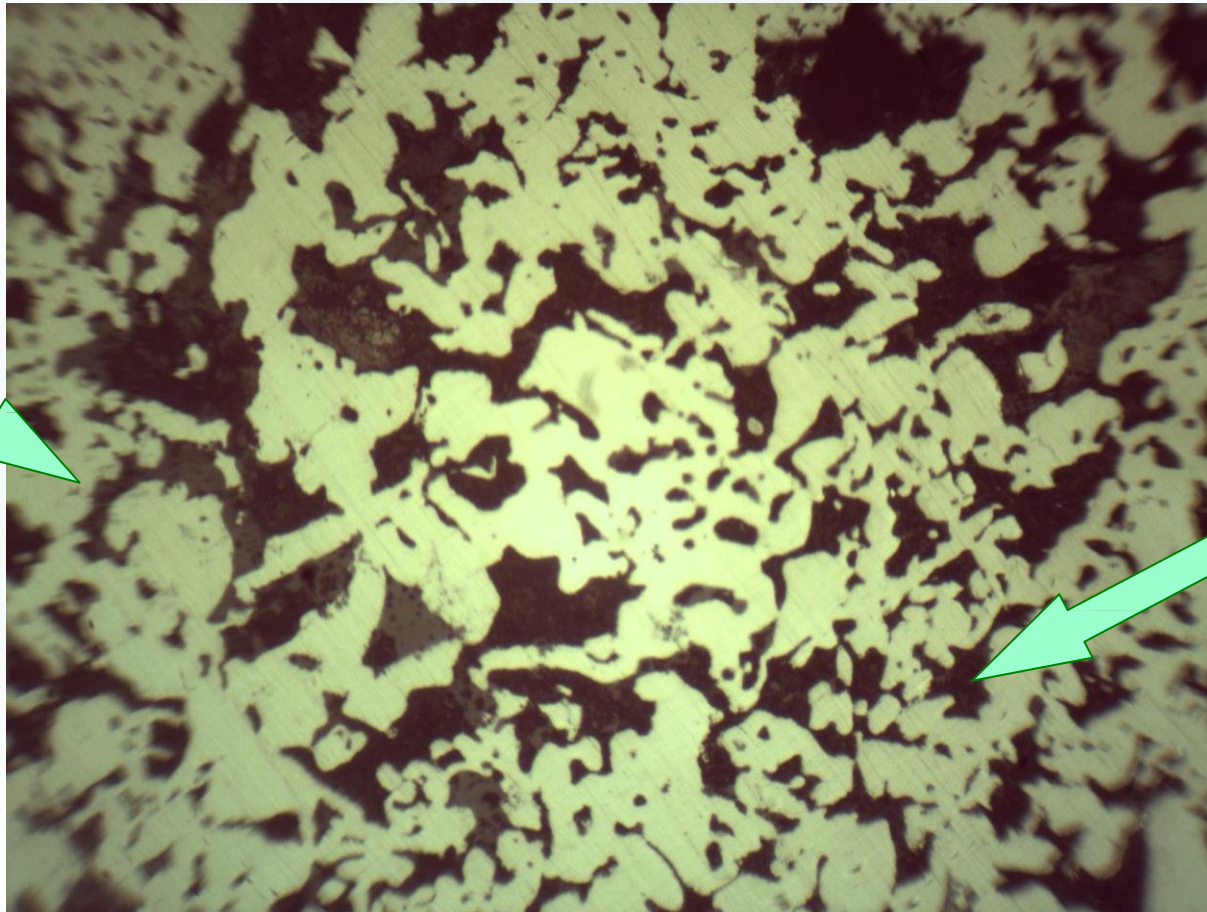


**Самосмазывающиеся** устанавливаются в **где смазка затруднена** или невозможна (например, текстильной или пищевой промышленности). Вследствие значительной пористости они предназначены для работы при небольших скоростях скольжения и отсутствии ударных нагрузок. Железо-графитовые композиции с добавлением меди применяют для поршневых колец (марка ЖГр2Д2).

# Порошковые антифрикционные материалы

Перлит  
(тврд.)

Графит  
(мягк.)

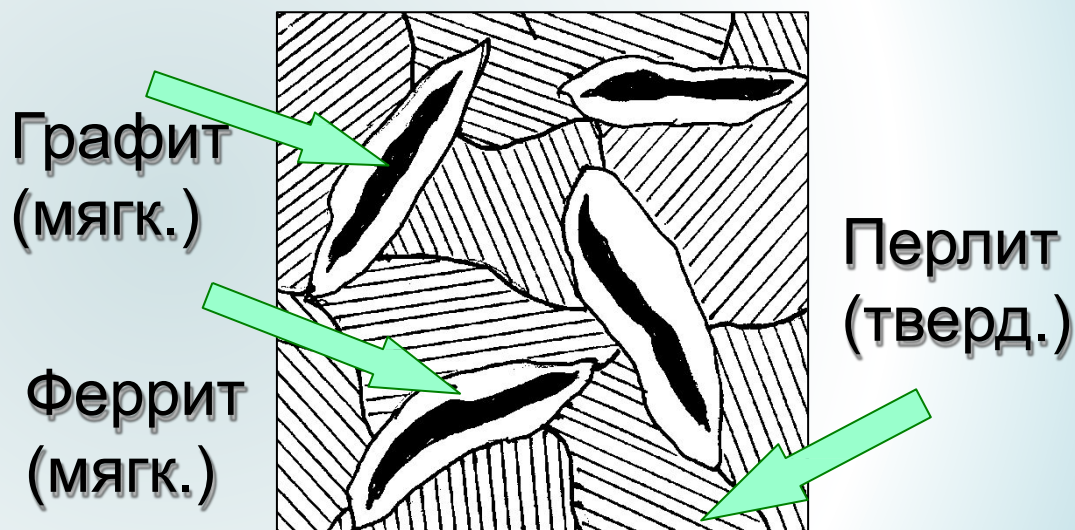


Порошковый материал ЖГр3  
(3% ЖГр3 (3% графита, остальное Fe,  
пористость 20%))

# Антифрикционные чугуны

В качестве антифрикционных используются графитизированные чугуны с различной формой графита: серые, ковкие и высокопрочные. Графит выполняет роль мягкой составляющей и способствует удержанию смазки. Металлическая основа антифрикционного чугуна должна быть перлитной или перрито-ферритной (в зависимости от твердости работающего в паре с ним вала).

Такие чугуны отличаются невысокой стоимостью, могут выдерживать значительные удельные давления.



## Антифрикционный чугун

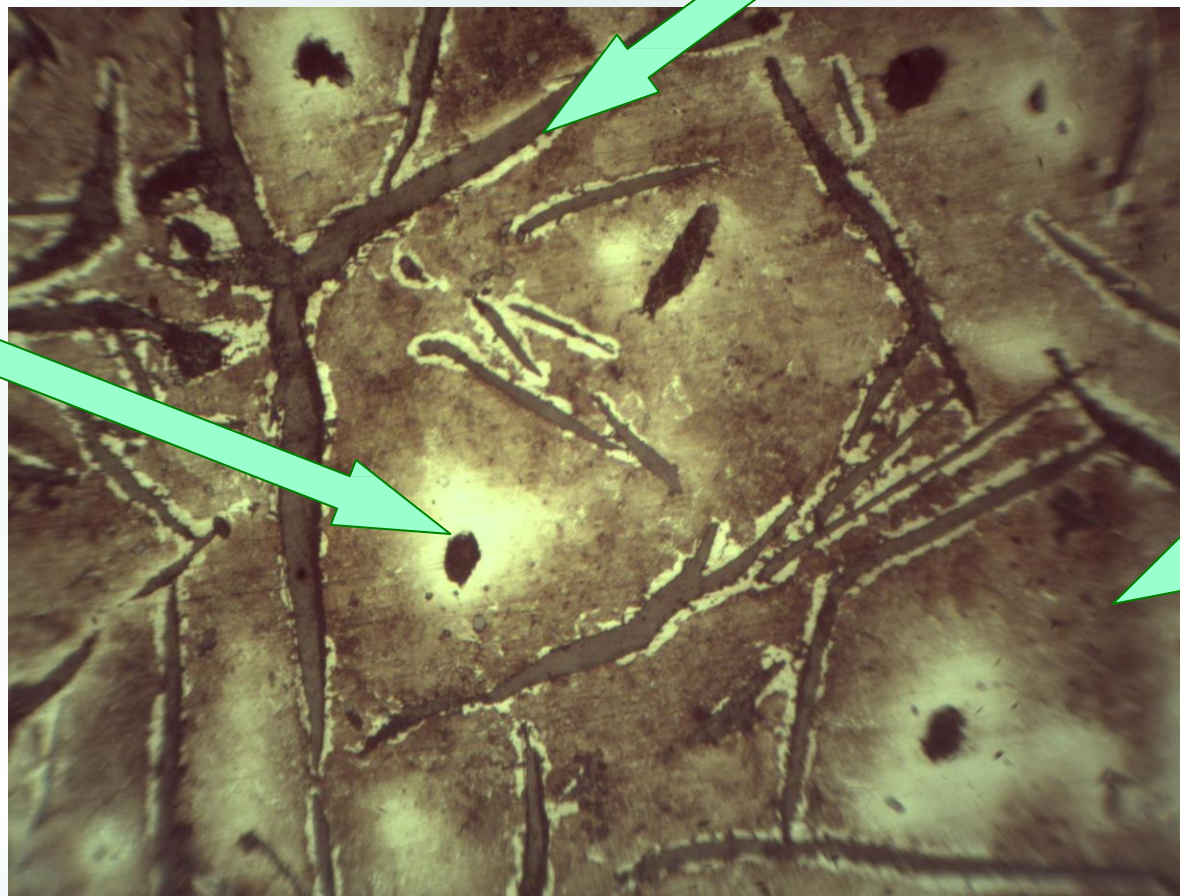
Антифрикционные чугуны вследствие плохой прирабатываемости и чувствительности к недостатку смазки применяют для узлов с низкими скоростями скольжения.

# Антифрикционные чугуны

Графит  
(мягк.)

Феррит  
(мягк.)

Перлит  
(тверд.)



Антифрикционный чугун



\* Антифрикционные чугуны получают из серого (АЧС), высокопрочного (АЧВ) и ковкого (АЧК) чугунов

**АСЧ-1**

**АКЧ-1**

**АВЧ-2**

\* Антифрикционные чугуны предназначены для легких условий работы.



# \* Износостойкие стали

Из механических свойств наиболее часто при оценке износостойкости материалов используются их исходная твёрдость (H), предел прочности ( $\sigma$ ), предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ). Пластическая деформация при трении приводит к наклёпу, поэтому сплав может работать в тяжелых условиях на трение, пока не исчерпается его способность к дальнейшей пластической деформации, т.е.

К износостойким относятся стали, соответствующие требованию высокой исходной твёрдости (и прочности), прежде всего

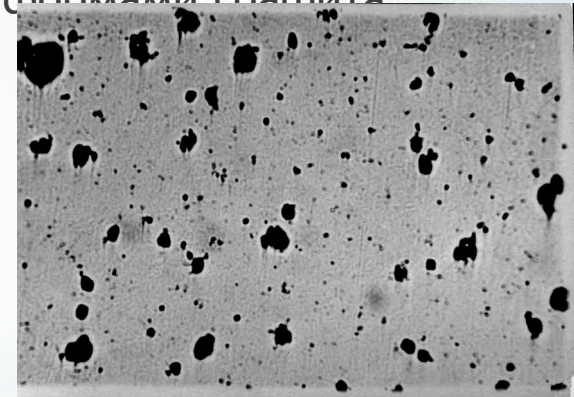
- подшипниковые;
- инструментальные стали;
- графитизированные стали;
- аустенитная высокомарганцевая сталь

# \* Графитизированные стали

- \* Графитизированные стали (ГС) представляют собой по химическому составу группу заэвтектоидных углеродистых или низколегированных сталей, в которых часть углерода посредством графитизирующей термической обработки выделена в виде графита
- \* ГС рассматриваются как конструкционный и инструментальный материал с антифрикционными свойствами благодаря не-какому количеству графита. Они достаточно дешёвы, так как не имеют в составе дорогих легирующих элементов, технологичны при изготовлении изделий и их обработке, надёжны и долговечны в эксплуатации. По химическому составу, структуре и механическим свойствам ГС можно рассматривать как своеобразный промежуточный материал между инструментальными сталями и чугунами с компактными формами графита

\* Стали обозначают как **160СЛ, 160СТЛ и 140СТЛ**

Группа ГС	Рекомендуемое содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	S	Cr
I. ГС с повышенными пластическими свойствами	1,30-1,65	0,75-1,35	0,3-0,5	≤0,03	≤0,04
II. Высококремнистые ГС	1,30-1,55	1,6-2,5	0,3-0,5	≤0,1	≤0,07
III. Легированные ГС	1,33-1,50	1,2-1,5	0,8-1,2	≤0,1	≤0,35



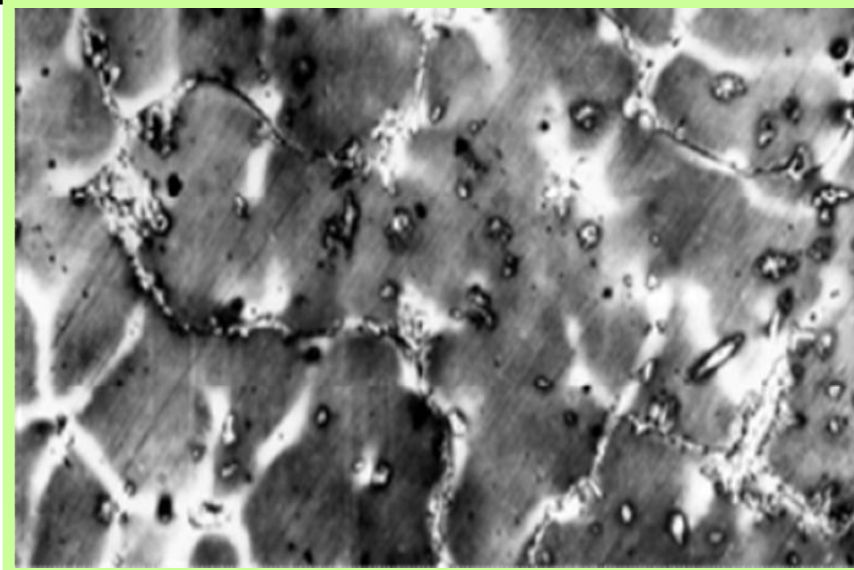
ГС обладают набором благоприятных технологических свойств (хорошие литейные свойства, обрабатываемость резанием), что позволяет рассматривать их как ценный специальный материал для различных условий работы, не уступающий, а порой и превосходящий по эксплуатационным свойствам легированные стали и чугуны.

Применяют графитизированную сталь как заменитель цветных антифрикционных сплавов. Термически обработанную графитизированную сталь используют для деталей штампов и валков холодного деформирования, калибров, траков, литых коленчатых валов и других изнашиваемых деталей

# \* Аустенитная высокомарганцевая сталь

\* Наиболее распространённой износостойкой высоколегированной сталью является *аустенитная сталь 110Г13Л*, которая широко используется для изготовления деталей, работающих в различных условиях эксплуатации, сопряжённых с ударно-абразивным изнашиванием (зубья ковшей экскаваторов и драг, траки тяжёлых гусеничных машин, бронешасси танков, плиты дробилок и мельниц, молотки мельниц, крестовины железнодорожных и трамвайных путей).

\* Сталь 110Г13Л содержит 0,9–1,3 % С и 11,5–14,5 % Мп (ГОСТ 2176–77). Сталь подвергают закалке в воде при температуре нагрева 1050–1100 °С на аустенитную структуру. Механические свойства стали:  $\sigma_{\text{в}} = 800\text{--}900$  МПа и  $\sigma_{0,2} = 310\text{--}350$  МПа при  $\delta = 25\text{--}15$  %,  $\psi = 30\text{--}20$  %, 180–220 НВ.




Марка стали	Массовая доля, %												Р не более
	С	Мп	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Nb	B	N	Cu	
110Г13Л	0,90, 1,50	11,50, 15,00	0,30, 0,90	≤1,0	≤1,0	-	-	-	-	-	-	-	0,12
110Г13Х 2БРЛ		11,50, 14,50	0,30, 1,00	1,0, 2,0	≤0,5	-	-	-	0,08, 0,12	0,001, 0,006	-	-	
110Г13Х БРЛ			0,3, 0,90	0,8, 1,5	≤0,3	-	-	-	0,06, 0,10	0,002, 0,005	-	-	
110Г13Ф ТЛ	0,90, 1,30	11,50, 14,50	0,40, 0,90	-	-	-	0,1, 0,3	0,01, 0,05	-	-	-	-	0,12
130Г14М ФАЛ	1,20, 1,40	12,50, 15,00	≤0,60	1,0, 1,5	≤1,0	0,2, 0,3	0,08, 0,12	-	-	-	-	-	0,070
120Г10Ф Л	0,90, 1,40	8,50, 12,00	0,20, 0,90	≤1,0	≤1,0	-	0,03, 0,12	≤ 0,15	≤ 0,01	-	≤ 0,03	≤ 0,7	0,12

\*

# Структура, свойства и условия эксплуатации некоторых антифрикционных сплавов

## «Изучение микроструктуры антифрикционных материалов»

Название материала	Химсостав	Структура	Структурные составляющие		Коэффициент трения	Максимальное значение P, V, м/с	
			твёрдые	мягкие		P, МПа	V, м/с
Б83							
СОС-6-6							
БрС30							
БрО6							
АСМ							
АСЧ							
ЖГр-1							

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Изучить микроструктуру образцов различных видов антифрикционных материалов.

2) Пользуясь данными таблицы 1 проанализировать свойства различных видов сплавов, их преимущества и недостатки.

3) Ознакомиться с областями использования различных антифрикционных материалов.

4) Оформить отчет о работе.

# ОТЧЁТ ПО РАБОТЕ ДОЛЖЕН ВКЛЮЧАТЬ

Отчет должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы.
- 3) Рисунки или фотографии микроструктуры изученных образцов с указанием материала, его марки, структурных составляющих, коэффициента трения.
- 5) Выводы.



# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Какие материалы называются антифрикционными и где они используются?
- 2) Основные требования к свойствам подшипниковых материалов.
- 3) Что такое прирабатываемость?
- 4) Какие требования предъявляются к структуре антифрикционных материалов?
- 5) Какие сплавы называются баббиты? Виды баббитов, их состав, маркировка, свойства, области использования. Технология изготовления вкладышей.
- 6) Антифрикционные бронзы, состав, маркировка, свойства, области использования.
- 7) Алюминиевые антифрикционные сплавы, состав, маркировка, свойства, области использования.
- 8) Триметаллические вкладыши, технология их изготовления, свойства, использование.
- 9) Антифрикционные чугуны, их марки, структура, использование.  
Роль графита в обеспечении антифрикционных свойств.
- 10) Порошковые антифрикционные материалы. Состав, марки, технология изготовления вкладышей, свойства, использование.
- 11) Что такое самосмазывающиеся подшипники?

# ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- 1) Изучить цинковые антифрикционные материалы, их области применения, свойства.
- 2) Ознакомиться с областями применения многослойных вкладышей подшипников.
- 3) Ознакомиться с составом, структурой и свойствами неметаллических вкладышей подшипников.
- 4) Изучить существующие технологии изготовления многослойных подшипников.
- 5) Изучить материалы вкладышей подшипников, которые используют в автомобилестроении, тепловозостроении.