


Износостойкие материалы

Износостойкость – свойство материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию

Изнашивание – процесс постепенного разрушения поверхностных слоев материала путем отделения его частиц под влиянием сил трения. Результат изнашивания называют **ИЗНОСОМ**.

Износ определяют:

- по изменению размеров (**линейный износ**),
- по уменьшению объема или массы (**объемный** или **массовый износ**)



Обеспечение износостойкости решается рациональным выбором материала трущихся пар и способа его обработки.

Нет универсального износостойкого материала.

Износостойкость материала при заданных условиях трения, как правило, определяют экспериментальным путем.



Работоспособность материалов в условиях трения зависит от трех групп факторов:

- 1) внутренних, определяемых свойствами материалов;
- 2) внешних, характеризующих вид трения (скольжение, качение) и режимы работы (скорость относительного перемещения, нагрузка, характер ее приложения, температура);
- 3) Рабочей среды и смазочного материала.

Детали, подвергающиеся изнашиванию, подразделяют на две группы:

- детали, образующие пары трения (подшипники скольжения и качения, зубчатые передачи и т.п.);
- Детали, изнашивание которых вызывает рабочая среда (жидкость, газ и т.п.).

Характерные виды изнашивания

Для деталей первой группы:

- Абразивное (твердыми частицами, попадающими в зону контакта)
- Адгезионное
- Окислительное
- Усталостное
- Феттинг-процесс (феттинг-коррозия).

Для деталей второй группы:

- Абразивное изнашивание (например, истирание почвой)
- Гидро-абразивное (твердыми частицами, перемещаемыми жидкостью или газом)
- Эрозионное
- Гидро- и газоэрозионное
- Кавитационное (от гидравлических ударов жидкости)

Причина изнашивания сопряженных деталей - **работа сил трения**

Под действием этих сил происходит:

- многократное деформирование участков контактной поверхности, их упрочнение и разупрочнение
- выделение теплоты
- изменение структуры
- развитие процессов усталости
- окисление и др.

Наиболее полно силовое взаимодействие твердых тел объясняет **молекулярно-механическая** (адгезионно-деформационная) теория трения.

Эта теория исходит из дискретности контакта трущихся поверхностей. Из-за шероховатостей соприкосновение поверхностей возникает в отдельных пятнах касания, образующихся от взаимного внедрения микронеровностей или их пластического смятия. Взаимодействие скользящих поверхностей в этих пятнах согласно теории имеет двойственную природу – деформационную и адгезионную. Деформационное взаимодействие обусловлено многократным деформированием микрообъемов поверхностного слоя внедрившимися неровностями. Сопротивление этому деформированию называют деформационной составляющей силы трения

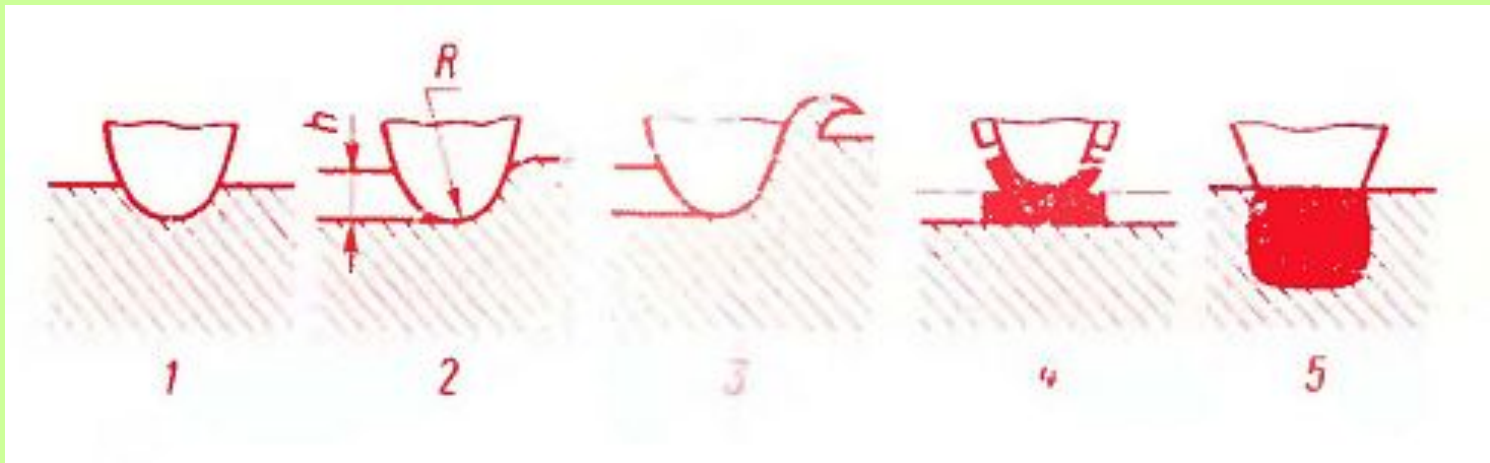
Адгезионное взаимодействие

(F_d). Адгезионное взаимодействие связано с образованием на участках контакта адгезионных мостиков сварки. Сопротивление срезу этих мостиков и формированию новых определяет адгезионную составляющую силы трения ($F_{ад}$). Таким образом, сила трения так же как и другая важная фрикционная характеристика – коэффициент трения f , по определению равный отношению силы трения к нормальной нагрузке N : $f = F/N$, определяются как сумма двух составляющих

$$F = F_d + F_{ад}; \quad f = f_d + f_{ад}$$

Различают взаимодействия поверхностей трения:
Упругое контактирование

1. Пластическое деформирование
2. Микрорезание
3. Схватывание и разрушение поверхностных пленок
4. Схватывание и глубинное вырывание

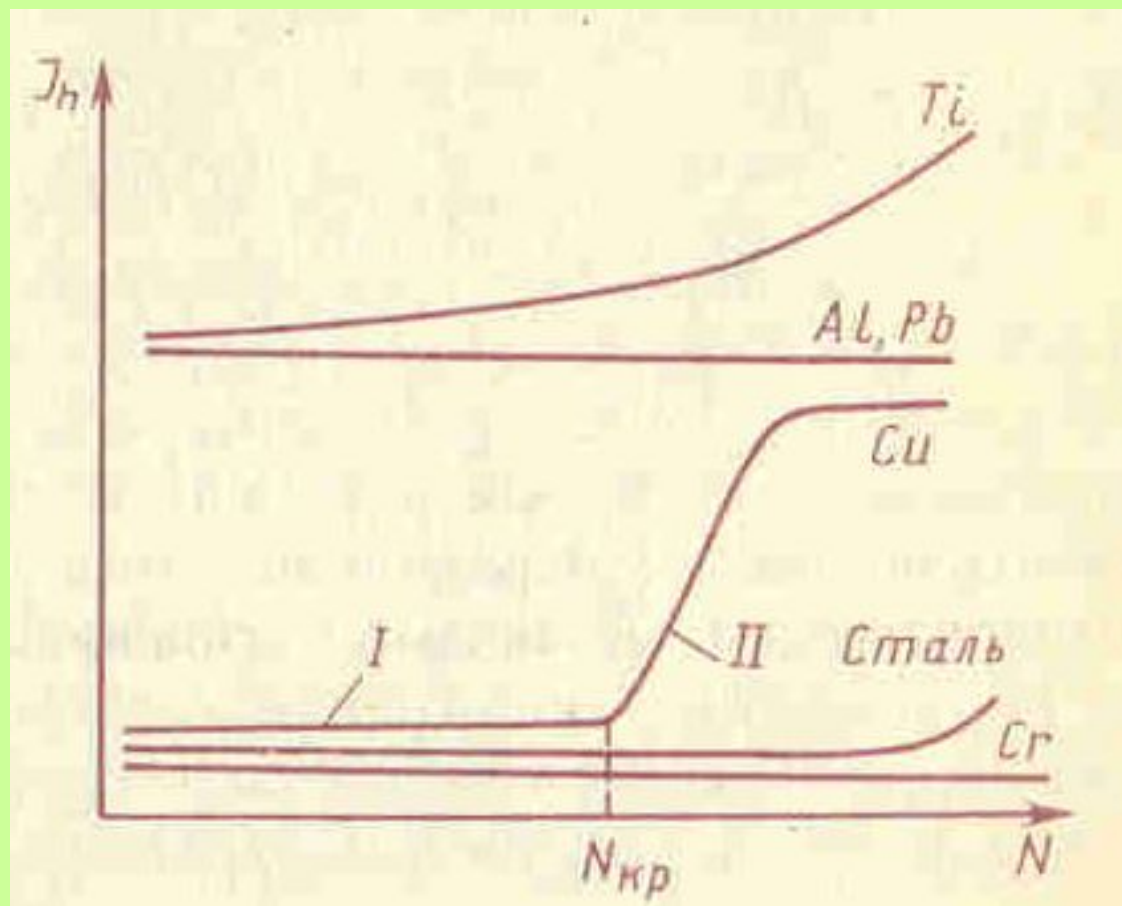


Молекулярно-механическая теория трения определяет два основных пути повышения износостойкости материала:

1. Увеличение твердости трущейся поверхности
2. Снижение прочности адгезионной связи

Повышение твердости направлено на то, чтобы затруднить пластическую деформацию и исключить микрорезание поверхностей трения, обеспечив по возможности упругое деформирование участков контакта. Снижение прочности адгезионной связи необходимо для предупреждения схватывания металлических поверхностей. Наиболее эффективно эта цель достигается разделением поверхностей трения жидким, твердым (иногда газовым) смазочным материалом.

Влияние нагрузки на интенсивность изнашивания различных материалов (контакт из одноименных материалов)



I- окислительное изнашивание

II- схватывание 1 рода

1. Использование защитных свойств оксидных пленок.

Защитные свойства оксидных пленок зависят от их толщины, а также от свойств металлической подложки (увеличиваются с ростом ее твердости).

Если оксид тверд и прочен, а нижележащий металл мягок, то пленка легко разрушается, и схватывание развивается при малой нагрузке. (Al, Pb и большинство пластичных металлов).

Тонкие прочные пленки, способные деформироваться вместе с металлом при большой нагрузке, образуют хром, сталь, медь.

Стойкость к схватыванию закаленных сталей значительно выше, чем нормализованных и отжженных.

Закаленные стали, упрочненные химико-термической обработкой, - основной материал для одной из сопряженных деталей пары трения.

Стойкость к схватыванию сталей повышают сульфидированием и фосфатированием.

Под **СОВМЕСТИМОСТЬЮ** понимают свойство материалов предотвращать схватывание при работе без смазочного материала или в условиях нарушения сплошности масляного слоя.

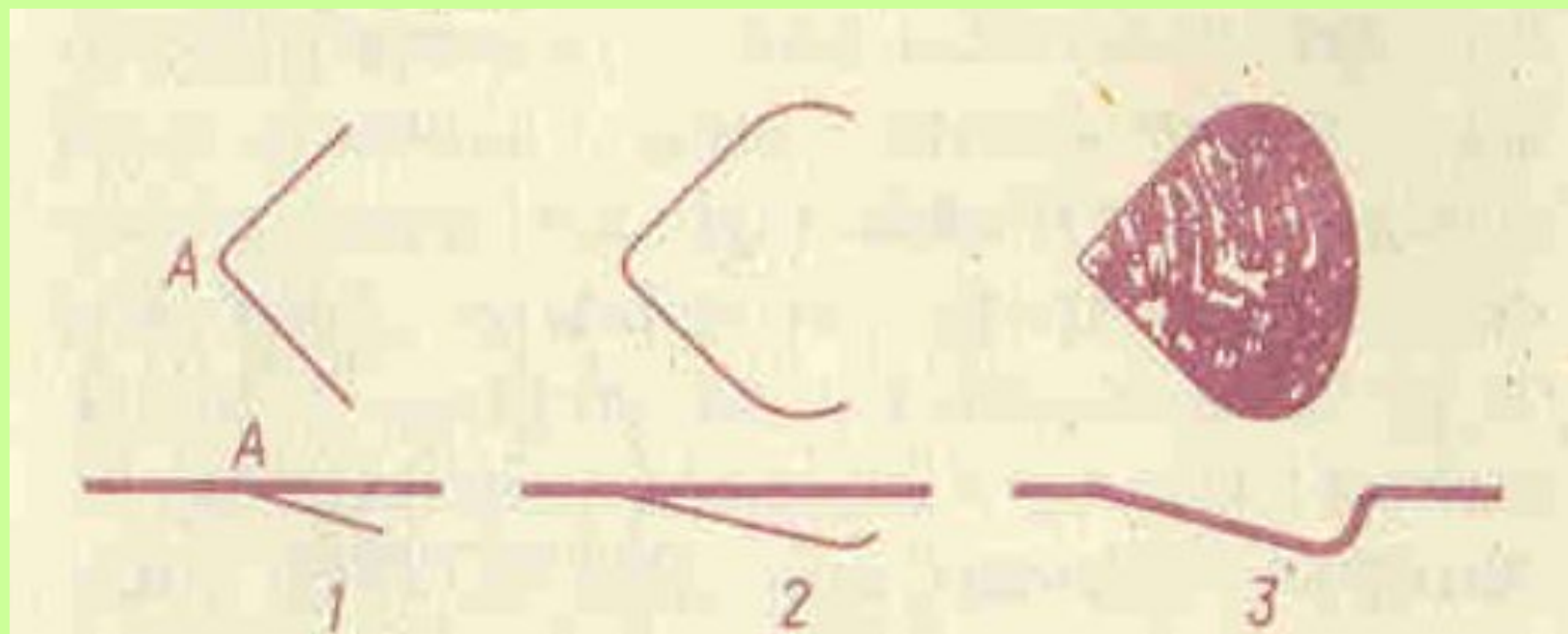
Совместимость достигается:

- Использованием защитных свойств оксидных пленок
- Подбором материалов пары трения
- Разделением поверхностей трения пленками полимеров (фторопласт, полиамид и т.п.), которые отличаются низкой адгезией к металлам.

Работоспособность многих узлов трения зависит от скорости развития поверхностного ***усталостного выкрашивания*** (***питтинга***)

Сопротивление материала поверхностному выкрашиванию называют ***контактной выносливостью***

Схема образования поверхностного выкрашивания (питтинга) на рабочей дорожке подшипника качения



A- место зарождения усталостной трещины;
1, 2 - стадии ее развития
3- ямка выкрашивания

Износостойкие материалы подразделяют на три группы в зависимости от механических и фрикционных свойств :

1. Материалы с высокой твердостью поверхности
2. Антифрикционные материалы, имеющие низкий коэффициент трения скольжения
3. Фрикционные материалы, имеющие высокий коэффициент трения скольжения

Материалы с высокой твердостью поверхности

- Карбидные сплавы *250X38, 320X23Г2С2Т, 370X7Г7С*
- Твердые сплавы *X12, X12М, Р18, Р6М5*
- Низко- и среднеуглеродистые стали с поверхностным упрочнением

Подшипниковые стали

- Хромистые стали ***ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ20ГС***
- Для высокоскоростных подшипников применяют стали после электрошлакового переплава (***ШХ15-Ш***)
- Для крупногабаритных подшипников ***12ХНЗА, 12Х2Н4А***
- Для подшипников, работающих в агрессивных средах применяют хромистую сталь ***95Х18***

Антифрикционные материалы

Предназначены для изготовления подшипников (опор) скольжения.

Антифрикционность подшипникового материала обеспечивает следующие свойства:

- Высокую теплопроводность
- Хорошую смачиваемость смазочным материалом
- Способность образовывать на поверхности защитные пленки мягкого металла
- Хорошую прирабатываемость, основанную на способности материала при трении легко пластически деформироваться

Для подшипников скольжения используют:

- Металлические материалы
- Неметаллы
- Комбинированные материалы и минералы (полу- и драгоценные камни)

Выбор материала зависит от режима смазки и условий работы опор скольжения.

Критериями для оценки подшипникового материала служат коэффициент трения и допустимые нагрузочно-скоростные характеристики:

Давление

Скорость скольжения

p_v – параметр, определяющий удельную мощность трения

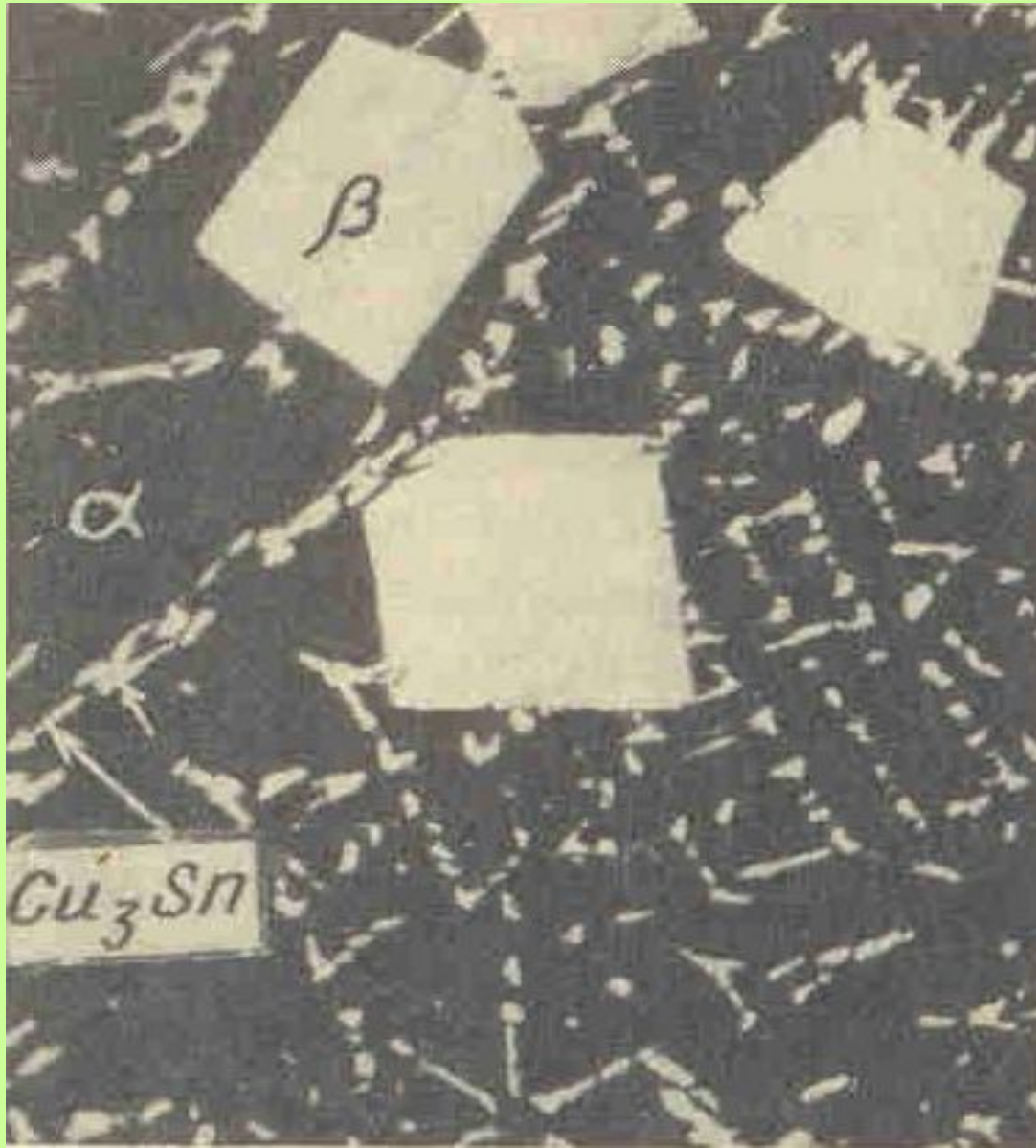
Для подшипников скольжения используют металлические материалы, неметаллы, комбинированные материалы и минералы (полу- и драгоценные камни).

Металлические материалы предназначены для работы в режиме жидкостного трения, сочетающемся в реальных условиях эксплуатации с режимом граничной смазки.

Металлические материалы по своей структуре подразделяют:


- Сплавы с мягкой матрицей и твердыми включениями (баббиты, бронзы и латуни)
- Сплавы с твердой матрицей и мягкими включениями

Микроструктура баббита Б83, х300



Характеристики антифрикционных материалов

Материал	HV	Коэффициент трения по стали		Допустимый режим работы		
		без смазочного материала	со смазочным материалом	$p \cdot 10^{-5}$, Па	v , м/с	$p \cdot v \cdot 10^{-5}$, Па · м/с
Баббиты:						
Б83	300	0,07–0,12	0,004–0,006	150	50	750
Б16	300			100	30	30
БК2	320			150	15	60
Бронзы:						
БрО10Ф1	1000	0,1–0,2	0,004–0,009	150	10	150
БрО5Ц5С5	600			80	3	120
БрС30	250			250	12	300
Латуни:						
ЛЦ16К4	1000	0,15–0,24	0,009–0,016	120	2	100
ЛЦ38Мц2С2	800			106	1	100
Алюминиевый сплав А09–2	310	0,1–0,15	0,008	250	20	1000
Антифрикционные серые чугуны:						
АЧС-1	2200	0,12–0,23	0,008	25	5	100
АЧС-3	1600		0,016	60	0,75	45
Пластмассы:						
капрон	100	0,15–0,21	—	120	5	200
текстолит	350	0,15–0,25	—	150	8	250
Комбинированные материалы:						
железо–графит	800	0,08–0,12	—	80	1	—
бронза–графит	560	0,04–0,1	—	60	1	—
металлофторопластовая лента (МФПл)	—	0,03–0,1	—	—	—	1500



К сплавам второго типа относятся свинцовистая бронза БрС30, алюминиевые сплавы с оловом А09-2. При граничном трении на поверхность вала переносится тонкая пленка этих мягких легкоплавких металлов, защищая шейку стального вала от повреждения.

В настоящее время получают распространение многослойные подшипники

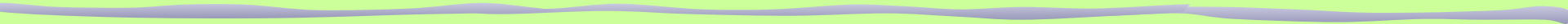
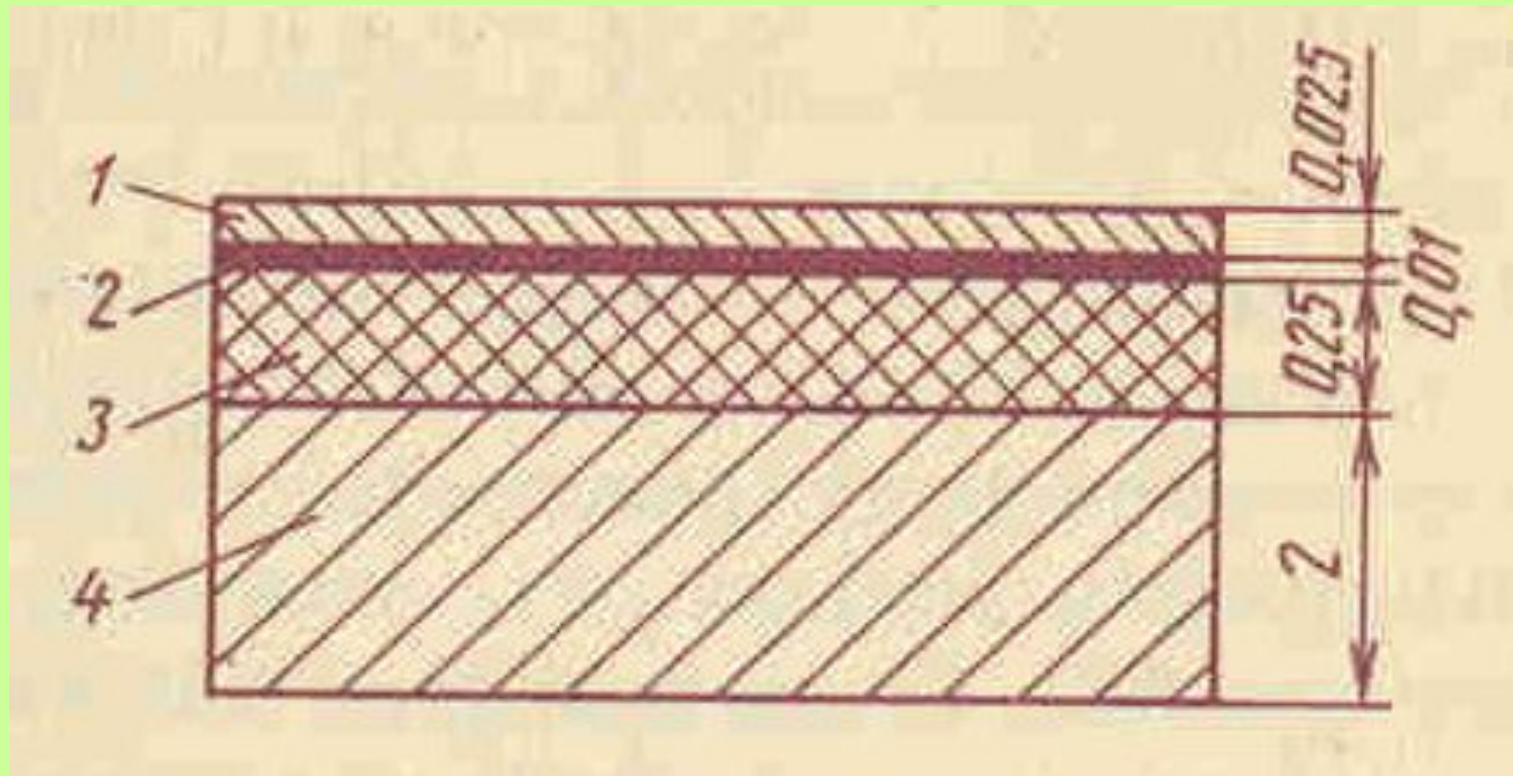
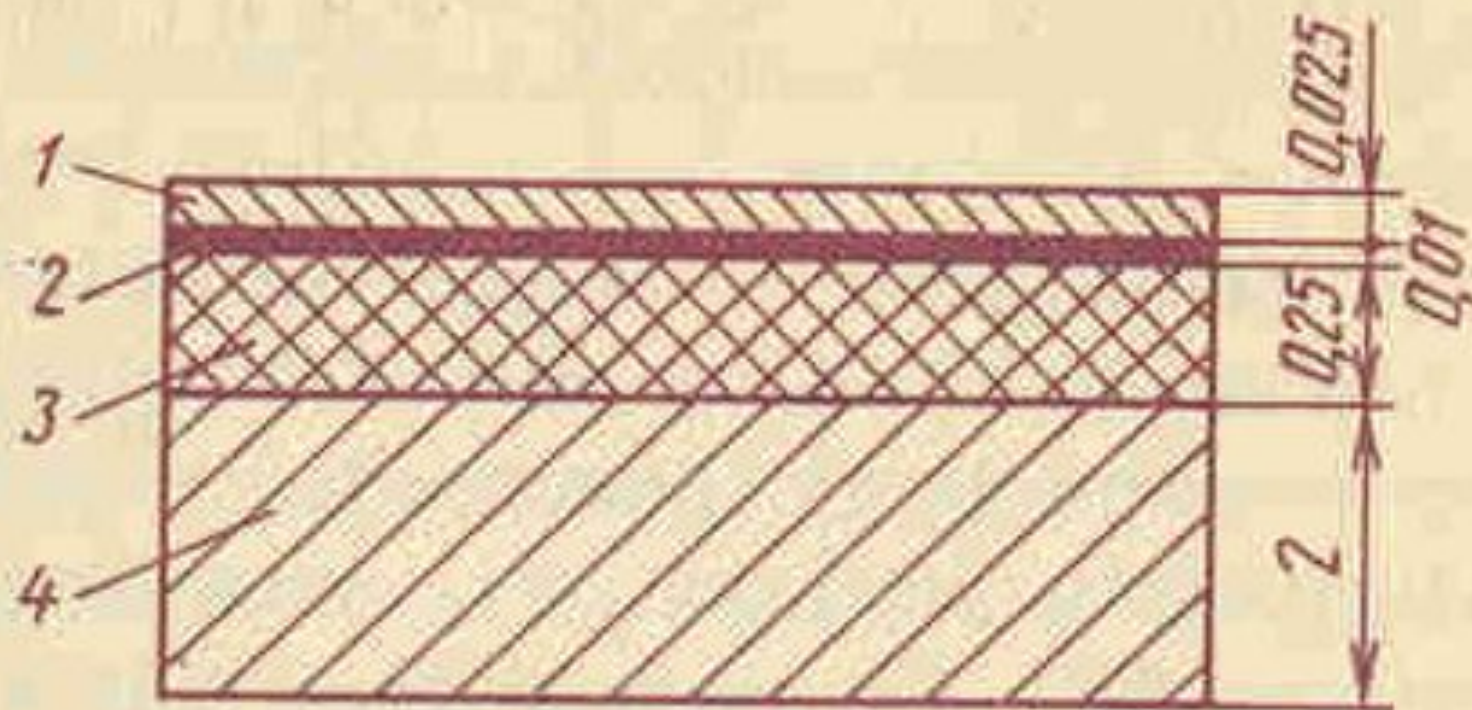


Схема строения четырехслойного металлического подшипника скольжения




- 1- сплав свинца и олова
- 2- никель
- 3- свинцовистая бронза
- 4- сталь

Схема строения металлофторопластовой ленты

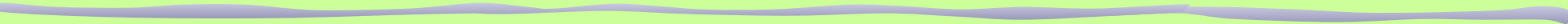


- 1- фторопласт с дисульфидом молибдена
- 2- бронза в слое фторопласта
- 3- медь
- 4- сталь



Минералы – естественные (агат) и искусственные (рубин, корунд) – и их заменители – ситаллы (стеклокристаллические материалы). Применяют для миниатюрных подшипников скольжения – камневых опор.

Главное достоинство таких опор – низкий и стабильный момент трения, небольшой коэффициент трения вследствие слабой адгезии минералов к металлу цапфы.



Фрикционные материалы

Применяют в тормозных устройствах и механизмах, передающих крутящий момент.

Работают в тяжелых условиях изнашивания – при высоких давлениях, скоростях скольжения и температуре, возрастающей мгновенно до 1000°C

Материалы должны иметь:

- ✓ высокий и стабильный коэффициент трения
- ✓ минимальный износ
- ✓ высокие теплопроводность и теплостойкость
- ✓ хорошую прирабатываемость
- ✓ достаточную прочность

Асбофрикционные материалы, состоят из связующего (полимера, каучука), наполнителя и специальных добавок: асбест, медь, алюминий, свинец, латунь в виде стружки или проволоки, графит, оксиды или соли металлов (ZnO , $BaSO_4$) для увеличения коэффициента трения

Ренитакс (**ФК-24А** и **ФК-16Л**):

- 25% - фенолформальдегидная смола
- 40% - асбест
- 35% - барит
- Кусочки латуни и пластификатор

Металлические спеченные материалы

ФМК-8, ФМК-11 на основе железа, **МК-5** на основе меди

- Добавки (**Sn, Pb, Ni** и др.)
- Асбест
- Графит
- Оксид кремния
- Барит

В многодисковой тормозной системе самолетов применяют бериллий