

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

# КУРСОВАЯ РАБОТА

## ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Выполнил:  
Руководитель:

студент группы 123-10 Шинкин В  
доцент Барханаджян А.Л.

Ташкент, 2013

План

1. Введение
2. Пластичные смазки
3. Производство смазок и схема получения
4. Состав смазок
5. Твердые смазки
6. Свойства твердых смазок
7. Применение твердых смазок в узлах и агрегатах
8. Периодичность смазывания узлов и агрегатов, расход смазок
9. Заключение
10. Литература

## **ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Введение**

## **1. Общие сведения**

Раньше их называли тавотами, затем, до недавнего времени — консистентными смазками, теперь — пластичными смазочными материалами. По существу, это все те же мажеобразные вещества, полученные загущением жидкого минерального масла различными загустителями. Их используют для смазывания механизмов и узлов трения, где по тем или иным причинам трудно или даже невозможно применить жидкие масла. К современным пластичным смазочным материалам предъявляют более высокие требования, чем к консистентным смазкам или тавотам, поэтому изучению и разработке технических требований к современным пластичным смазочным материалам и налаживанию их массового производства в настоящее время уделяется очень большое внимание. Их потребление резко возросло. Препные сырьевые источники (в основном животные и растительные жиры) уже не обеспечивают возросшую в них потребность, стало необходимо заменять их другими видами жирных кислот, полученными из нефтяного сырья.

Кроме универсальных пластичных смазочных материалов разрабатывают различные специальные, предназначенные для определенной области применения. Количество марок смазок с каждым годом возрастает.

Отличительным свойством пластичных смазочных материалов является способность сохранять форму, не растекаться по поверхности, не вытекать из смазываемых узлов, т. е. обладать определенной прочностью, свойственной твердым телам. Но поскольку прочность их мала, они занимают промежуточное место между жидкими и твердыми телами.

Способность сохранять форму позволяет смазкам держаться на смазываемых поверхностях без специальных уплотнений, очень упрощает конструкцию смазываемого узла и применение самих смазок. Это свойство способствует предохранению смазываемого узла от попадания в него пыли, воды и других вредных веществ, что позволяет обойтись без специальных сальников и уплотнений.

Вместе с тем пластичные смазочные материалы в узлах трения при относительно небольших силовых воздействиях ведут себя как очень вязкие жидкости: их можно закачивать (нагнетать) в смазываемые узлы через ниппельные масленки. Поэтому для смазывания ряда узлов трения автомобиля, трактора, тепловоза и их двигателей широко применяют пластичные смазочные материалы (особенно для подшипников ступиц колес и опорных катков, шарниров рулевых механизмов и подвески, подшипников электрических генераторов и водяных насосов, стеклоочистителей и др.).



Сейчас в России вырабатывается примерно 150 наименований пластичных материалов в количестве 45...50 тыс.т/год. По структуре производства мыльных смазок Россия значительно отстает от Западной Европы и США, где основными являются литиевые смазки –в США 60% общего объема и в Западной Европе 70%. В России их доля невелика –23,4%, или около 10 тыс.т/год.

### 3. Производство смазок

Производство смазки —это сложный физико-химический процесс, который, в основном, можно объяснить так:

Для обычной литиевой смазки, например, чтобы сформировать литиевую структуру, проводят реакцию жирового материала и щелочного раствора в базовом масле. Обычно используемые жировые материалы для литиевых смазок : гидрогенизированное касторовое масло (НСО) или гидроксистеариновая кислота (НСА). Как основание используется гидроксид лития (LiOH).

Компоненты: НСО и/или НСА и LiOH растворяют в базовом масле, управляемым нагревом и размешиванием формируется структура мыла. Этот процесс —сложный, в котором существует несколько ступеней. Каждая из ступеней —тщательно спроектированный этап технологического процесса, который детально управляется.Как только сформировалась структура (после примерно 3-5 часов), продукт поступает на конечную стадию. В конечной стадии (продолжительность 2-4 часа) добавляется большая часть базового масла и присадок. Охлаждением, перемешиванием и размолом формируется однородная масса смазки.

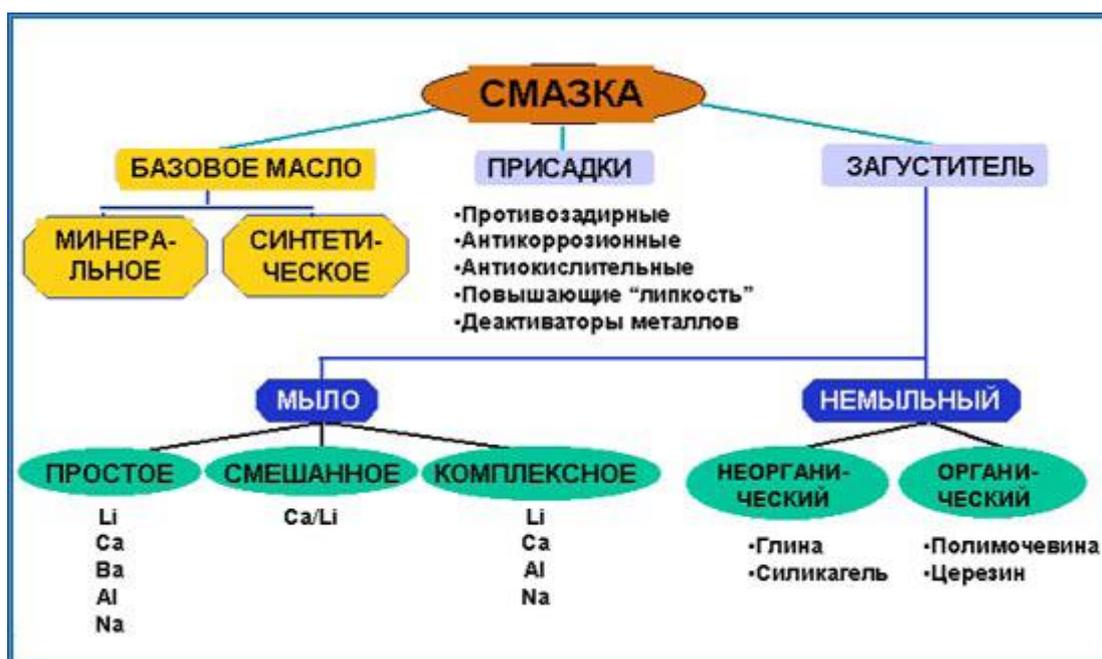
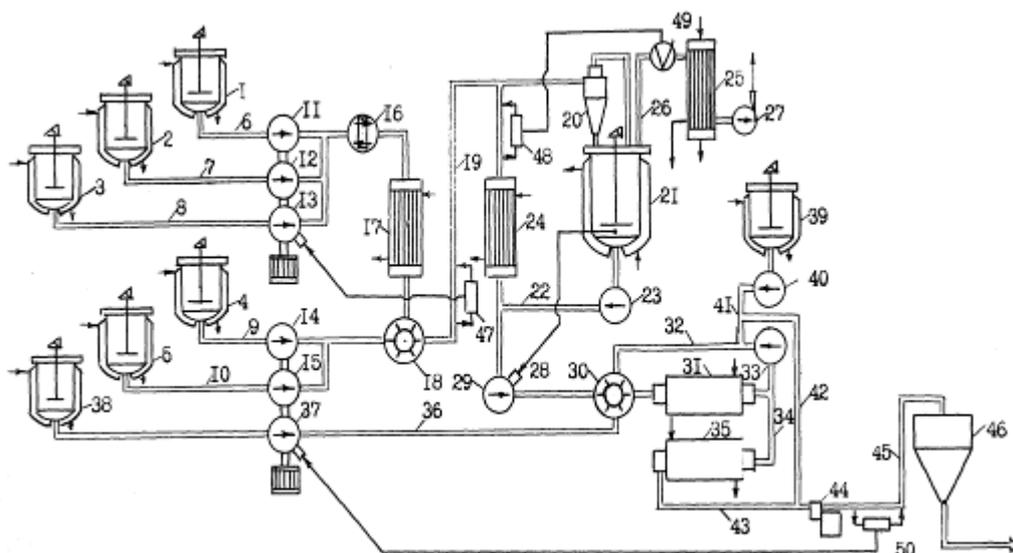


Схема получения пластичных смазок иллюстрируется чертежом, где схематически изображена установка для получения смазок.



Установка содержит емкость 1 для масла и емкости 2, 3, 4, 5 для исходных реакционных компонентов, связанные транспортными трубопроводами 6, 7, 8, 9, 10 с установленными на них дозаторами 11, 12, 13, 14 и 15 с реакторным блоком, который включает два реактора-смесителя 16 и 18 и трубчатый реактор 17 с греющей рубашкой, включенный последовательно между первым реактором-смесителем 16 и вторым реактором-смесителем 18.

Первый реактор-смеситель выполнен в виде статического смесителя и соединен соответствующими транспортными трубопроводами с емкостями 1, 2 и 3, а второй реактор-смеситель выполнен в виде динамического смесителя и соединен соответствующими транспортными трубопроводами с емкостями 4 и 5. Реакторный блок транспортным трубопроводом 19 соединен с распределительным устройством 20 испарителя 21. Распределительное устройство испарителя выполнено в виде гидроциклона и установлено перед входом в его испарительную камеру. Испаритель 21 циркуляционным трубопроводом 22 с установленным на нем насосом 23 связан с теплообменником 24, выход которого подключен к транспортному трубопроводу 19 и ко входу распределительного устройства 20 испарителя.

Испаритель 21 оборудован конденсатором водяных паров 25, который соединен с ним транспортным трубопроводом 26, а также вакуум-насосом 27 и связан транспортным трубопроводом 28 с установленным на нем дозатором 29 со смесителем 30. Блок охлаждения включает первый холодильник 31, оборудованный циркуляционным трубопроводом 32 с установленным на нем насосом 33, и подключенный к нему трубопроводом 34 второй холодильник 35. Циркуляционный трубопровод 32 соединяет выход холодильника 31 со входом смесителя 30, который сообщен также со входом блока охлаждения, и транспортным трубопроводом 36 с установленным на нем дозатором 37 соединен с емкостью для масла 38. Емкость для присадок (или наполнителей) 39 через дозатор 40 одним транспортным трубопроводом 41 соединена с циркуляционным трубопроводом 32 холодильника 31, а вторым транспортным трубопроводом 42 подключена к трубопроводу 43,

подающему смазку из блока охлаждения в гомогенизатор 44, который транспортным трубопроводом 45 соединен с накопителем готовой смазки 46. Установка включает контрольно-измерительную и регулирующую аппаратуру: анализатор щелочи 47, измеритель влагосодержания обезвоженного продукта 48 и связанный с ним регулирующий клапан 49, который установлен на входе в конденсатор паров 25, и анализатор вязкости готовой смазки 50.

Рассмотрим работу установки на примере получения литиевой смазки, представляющей собой нефтяное масло, загущенное мылами стеариновой, олеиновой кислот, а также мылами кислот касторового масла, и содержащей присадку - дифениламин. В случае получения такой смазки емкости 1, 2, 3 содержат соответственно нефтяное масло, касторовое масло, водный раствор гидроксида лития, емкости 4, 5 - стеариновую и олеиновую кислоты в виде расплавов, емкость 39 - присадку в масле. В емкости 38 находится нефтяное масло, расчетное количество которого добавляют в реакционную смесь после ее обезвоживания. Нефтяное масло, касторовое масло и щелочь из соответствующих емкостей подают по трубопроводам 6, 7, 8 и дозируют дозаторами 11, 12, 13, а стеариновую кислоту и олеиновую кислоту подают по трубопроводам 9, 10 и дозируют дозаторами 14, 15 соответственно. Для получения смазки сначала нефтяное масло с вязкостью 16-22 мм<sup>2</sup>/с в количестве 82%, подогретое до 353-363 К, из емкости 1, касторовое масло с вязкостью 260 мм<sup>2</sup>/мм в количестве 6%, подогретое до 353 К, из емкости 2 и 9,5%-ный водный раствор гидроксида лития в количестве 15%, подогретый до 353 К, из емкости 3 подают в реактор-смеситель 16, где происходит смешивание компонентов и частичное омыление касторового масла с образованием водно-глицерино-мыльно-масляной суспензии с избытком щелочи. Далее суспензию подают в трубчатый реактор 17, где при температуре 423-443 К и давлении 0,5-0,6 МПа заканчивается омыление касторового масла, после чего суспензию подают в реактор-смеситель 18, куда одновременно поступают стеариновая кислота из емкости 4 в количестве 10% и олеиновая кислота из емкости 5 в количестве 1%.

В реакторе-смесителе 18 происходит интенсивное смешение указанных кислот с образовавшимся в трубчатом реакторе 17 литиевым мылом кислот касторового масла и нейтрализация стеариновой и олеиновой кислот избытком щелочи. Анализатором 47 с помощью дозатора 13 регулируется расход щелочи.

Далее образовавшаяся суспензия, состоящая из смеси мыл кислот стеариновой и олеиновой, а также мыл кислот касторового масла, воды, глицерина и нефтяного масла, по трубопроводу 19 поступает в распределительное устройство 20 испарителя 21, где встречается с циркуляционным потоком суспензии, создаваемым насосом 23. В распределительном устройстве происходит образование двухфазного потока при 100%-ном паросодержании и его разделение на паровую и жидкостную фазу. Попадая в испаритель, водяной пар сепарируется и по трубопроводу 26 направляется в конденсатор-холодильник 25, где конденсируется. Давление в

испарителе поддерживают на 15-20% ниже атмосферного с помощью вакуум-насоса 27. Измерителем влагосодержания 48 контролируют, а с помощью клапана 49 поддерживают необходимое давление в испарителе 21. При непрерывной циркуляции обезвоживаемой суспензии с помощью насоса 23 через теплообменник 24 в испарителе поддерживают постоянную температуру суспензии, равную 463 К. Обезвоженную в испарителе суспензию по транспортному трубопроводу 28 подают в смеситель 30. Туда же из емкости 38 по транспортному трубопроводу 36 с помощью дозатора 37 дозируют расчетное количество масла. Разбавленную маслом суспензию из смесителя 30 подают в блок охлаждения, где сначала она с помощью насоса 33 интенсивно циркулирует через первый холодильник 31, трубопровод 32 и смеситель 30, а затем поступает во второй холодильник 35. Благодаря интенсивной циркуляции на первой ступени охлаждения поддерживают заданную температуру 459 К и обеспечивают необходимые условия для изотермической кристаллизации расплава смешанного мыла в масле. Дозатором 40 из емкости 39 в циркуляционный трубопровод 32 подают присадку дифениламин из расчета 1% на готовую смазку. Из первого холодильника блока охлаждения смазку по транспортному трубопроводу 34 подают во второй холодильник 35, где она доохлаждается до температуры 333 К и далее поступает в гомогенизатор 44. После гомогенизации смазку по трубопроводу 45 направляют в накопитель 46 и затем - на затаривание. Качество готовой смазки контролируют с помощью анализатора 50, по показаниям которого корректируют подачу масла дозатором 37 из емкости 38 в смеситель 30.

#### **4. Состав смазок**

По составу смазки разделяют на четыре группы:

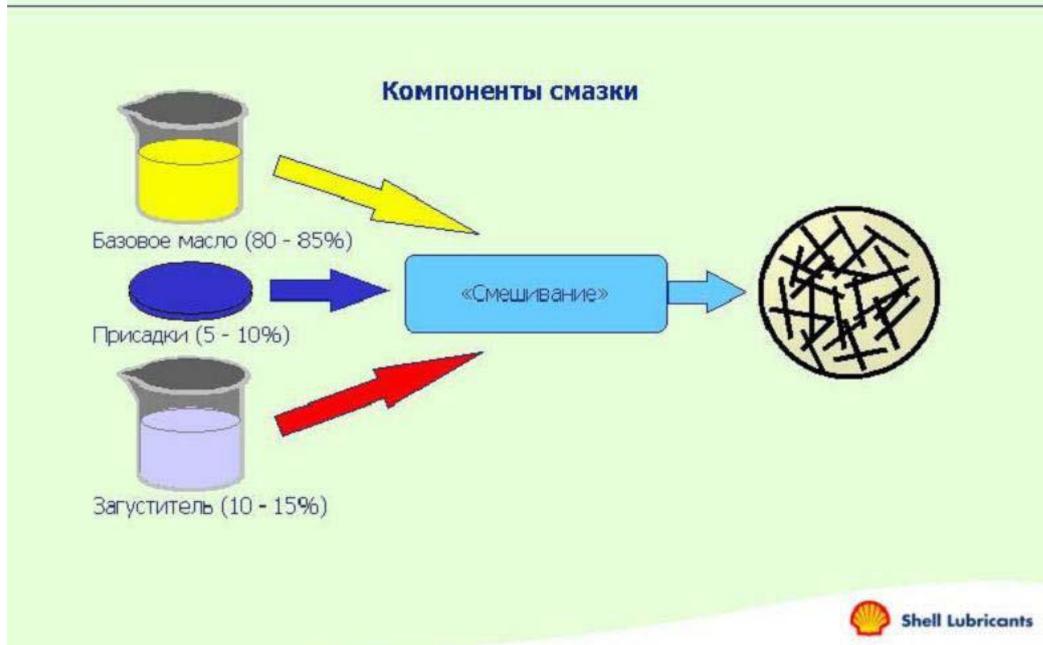
**Мыльные.** В качестве загустителя используются соли высших карбоновых кислот (мыла). Наиболее распространены кальциевые, литиевые, бариевые, алюминиевые и натриевые смазки. Мыльные смазки в зависимости от жирового сырья называют условно синтетическими, на основе синтетических жирных кислот, или жировыми на основе природных жирных кислот, например синтетические или жировые солидолы.

**Неорганические.** В качестве загустителя использованы термостабильные высокодисперсные неорганические вещества. Это силикагелевые, бентонитовые, графитные смазки и др.

**Органические.** Для их получения используют термостабильные, высокодисперсные органические вещества. Это полимерные, пигментные, полимочевинные, сажевые смазки и др.

**Углеводородные.** В качестве загустителей используют тугокоплавкие углеводороды: петролатум, церезин, парафин, различные природный и синтетический воск.

## Состав смазки



### 5. Твердые слоистые смазки

Характерная особенность твердых и пластичных смазочных материалов состоит в том, что эти материалы находятся в агрегатном состоянии, исключая, при соблюдении заданных условий эксплуатации, их вытекание из узла трения. Благодаря этому возможно смазывание негерметизированных узлов трения, отсутствует необходимость в непрерывном подводе смазочного материала, а следовательно, и в наличии предназначенных для этого систем и агрегатов. Это обеспечивает получение следующих в сравнении с маслами преимуществ:

- уменьшение расхода смазочных материалов;
- упрощение конструкции, а следовательно, повышение надежности и снижение металлоемкости механизма;
- уменьшение эксплуатационных расходов.

К основным (в сравнении с маслами) недостаткам, характерным в различной степени для большинства смазок, относят: отсутствие отвода теплоты от поверхностей трения, худшую физическую и химическую стабильность, а также большую разницу в величинах коэффициентов трения покоя и движения.

Твердые слоистые смазки (ТСС) — кристаллические вещества, обладающие смазочными свойствами: графит, дисульфиды молибдена и вольфрама, нитрид бора, бромиды олова и кадмия, сульфат серебра, иодиды висмута, никеля и кадмия, фталоцианин, селениды и теллуриды вольфрама, титана и пр.

Все ТСС обладают слоистой структурой, характеризующейся тем, что атомы, лежащие в одной плоскости (одном слое), находятся друг к другу ближе, чем в различных слоях. Например, в решетке графита расстояние между атомами углерода в слое равно  $1,42 \times 10^{-10}$  м, между слоями —  $3,44 \times 10^{-10}$  м. Это обуславливает различную прочность связей между атомами в различных направлениях, в результате чего под воздействием внешних сил происходит скольжение (сдвиг) одних слоев кристаллов относительно других (уменьшению сопротивления сдвига способствует накопление на поверхностях кристаллов адсорбированных продуктов). Это свойство является необходимым, но недостаточным. Нужна также хорошая адгезия ТСС к материалу поверхности трения, поэтому дисульфид титана и многие алюмосиликаты (слюда, тальк и др.), обладая ярко выраженной слоистой структурой, не отличаются смазочными свойствами, так как имеют плохие адгезионные свойства с металлами. На качество и свойства ТСС влияют неоднородности связей между атомами кристаллической решетки, величина работы, затрачиваемой на расщепление кристалла по поверхностям скольжения, степень адгезии к металлическим поверхностям и т.п.

## **6. Свойства ТСС**

Графит обладает антифрикционными свойствами в паре трения со сталью, чугуном и хромом (несколько хуже эти свойства с медью и алюминием). В присутствии воздуха и воды графитная смазка улучшает свои показатели. Графиту присуща способность адсорбироваться на поверхностях трения с образованием прочной пленки, ориентированной в направлении скольжения. Наличие на поверхности металла пленки оксидов облегчает адсорбцию графита, поэтому использование графита особенно эффективно для металлов, образующих прочную оксидную пленку (хром, титан, в меньшей степени сталь).

Температурный предел работоспособности графитной смазки равен 600 С. Свойственная этому материалу вследствие наличия свободных электронов высокая электротеплопроводность способствует отводу электростатических зарядов и сохранению прочности смазочного слоя. Коэффициент трения графита по стали составляет 0,04–0,08. С увеличением нагрузки и повышением температуры коэффициент трения возрастает.

Дисульфид молибдена MoS<sub>2</sub> — синевато-серый порошок с металлическим блеском, обладает хорошими адсорбционными способностями по отношению к большинству черных и цветных металлов. Смазочная способность MoS<sub>2</sub> обусловлена выраженным слоистым строением кристаллов (расстояние между атомами серы, находящимися в различных слоях кристалла, почти в 4 раза больше, чем внутри слоев) и сильной поляризацией атомов серы в процессе трения. В отличие от графита при увеличении нагрузки и температуры коэффициент трения MoS<sub>2</sub> уменьшается (средняя величина 0,05 — 0,095).

Несущая способность граничной смазочной пленки дисульфида молибдена выше, чем у любых смазочных масел. При температурах выше 500 °С MoS<sub>2</sub> окисляется с выделением SO<sub>2</sub>. Дисульфид молибдена обладает высокой радиационной стойкостью — при дозе до 5 · 10<sup>7</sup> Гр не отмечено каких-либо изменений в его свойствах. К недостаткам MoS<sub>2</sub> относится то, что он обладает высокой химической активностью и относительно легко вступает в реакцию с водой и кислородом. Вследствие этого при контакте MoS<sub>2</sub> с воздухом максимально допустимую температуру ограничивают 450 °С. Водород восстанавливает MoS<sub>2</sub> до металла.

Дисульфид вольфрама WS<sub>2</sub> по сравнению с MoS<sub>2</sub> обладает большей термостойкостью (580 °С), стойкостью к окислению и в 3 раза большей несущей способностью. Химически инертен (кроме фтора и его соединений), коррозионно неагрессивен, нетоксичен, его применение ограничено высокой стоимостью. Использование WS<sub>2</sub> в качестве добавки к маслам осложнено его высокой плотностью ( $\rho = 7,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), что затрудняет получение однородной смеси с маслом; рекомендуется использовать при температурах свыше 450 °С.

Нитрид кремния имеет низкий коэффициент трения в парах со стальными деталями и некоторыми металлокерамическими материалами. Обладает хорошими механическими характеристиками и высокой термической и термоокислительной устойчивостью (до 1200 °С). Благодаря сочетанию этих качеств нитрид кремния рассматривают как перспективный материал при изготовлении деталей цилиндрической группы теплонапряженных двигателей.

Нитрид бора обладает высокой термической и термоокислительной устойчивостью (разлагается при температуре свыше 1000 °С).

Имеются сведения о перспективности использования в качестве твердых слоистых смазок других веществ — селенидов и теллуридов вольфрама и ниобия и т.п.

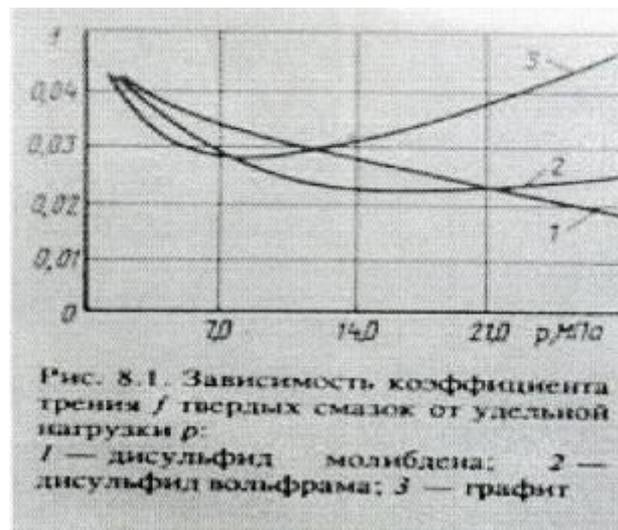
К твердым слоистым смазкам относятся также фталоцианины.

Фталоцианины (меди C<sub>32</sub>H<sub>16</sub>N<sub>6</sub>Ci<sub>j</sub>, железа C<sub>32</sub>H<sub>16</sub>N<sub>8</sub>Fe и пр.) — металлосодержащие полициклические органические соединения, обладающие крупными плоскими молекулами со слабыми межмолекулярными связями. Характерной особенностью этих веществ является то, что наряду с физической адсорбцией они образуют хемосорбированные пленки на поверхностях металлов. Фталоцианины обладают хорошей термической (650 °С) и радиационной стойкостью, стабильны при контакте с воздухом и водой. При температурах до 300 °С коэффициент трения у них выше, чем у графита и дисульфида молибдена, но понижается до 0,03 — 0,05 с увеличением температуры до 500 °С.

Из фталоцианинов делают защитный слой на юбках поршней перспективных двигателей. Такие поршни повышают механический КПД и обладают повышенной стойкостью к заклиниванию.

Ниже приведены средние величины коэффициентов трения для некоторых ТСС.

Дисульфид молибдена	0,05
Йодистый кадмий	0,06
Хлористый кадмий	0,07
Серноокислый вольфрам	0,08
Серноокисное серебро	0,14
Йодистый свинец	0,28
Графит (приработка во влажном воздухе)	0,10
Хлористый кобальт	0,10
Йодистая ртуть	0,18
Бромистая ртуть	0,06
Йодистое серебро	0,25



На рис. 8.1 приведен график, характеризующий зависимость коэффициента трения  $f$  от удельной нагрузки  $p$  для дисульфида молибдена, дисульфида вольфрама и графита.

, Износостойкость твердых смазок оценивается по их истираемости. Истираемость определяется временем работы узла трения в заданных условиях до истирания покрытия из твердой смазки.

Твердые смазки могут быть использованы не только для обеспечения работы узлов сухого трения, но и как добавки, существенно повышающие эффективность масел. Большинство твердых;

смазок нерастворимы в углеводородах, поэтому их вводят в моторное масло в виде коллоидных дисперсий. При этом увеличивается ресурс узлов трения и снижается вероятность задира в условиях масляного голодания.

, Совершенствование существующих и создание новых видов твердых смазок — важный этап разработки адиабатного (керамического) двигателя.

Повышение теплонапряженности (уровня форсирования) современных ДВС увеличивает качественный и количественный объемы требований, предъявляемых к граничной пленке. Удовлетворение этих требований только путем изменения свойств моторного масла не всегда целесообразно (или возможно) как по техническим, так и по экономическим условиям, поэтому в ряде случаев в дополнение смазки моторными маслами (или без них) при изготовлении двигателя применяют покрытие поверхностей трения твердыми смазочными материалами

Хорошие смазочные свойства имеют покрытия на основе дисульфидного молибдена. Такие покрытия обладают высокой термической и химической стабильностью, сочетаются со всеми видами смазок и топлив, не токсичны и выдерживают нагрузки до 30 МПа. В современном двигателестроении практикуют нанесение покрытий из MoS<sub>2</sub> на нагруженные узлы трения механизма газораспределения, вкладыши коленчатого вала, втулки клапанов, юбки поршней и пр. При этом достигается увеличение ресурса свыше 30 %. Для поддержания сохранности покрытия рекомендуется в процессе эксплуатации вводить в масло присадки на основе MoS<sub>2</sub>.

Примером покрытия такого рода может быть паста, состоящая из дисперсии MoS<sub>2</sub> в органической смоле с растворителем. При нанесении пасты на металлические поверхности она образует прочно скрепленную с основой сухую пленку, обладающую длительным сроком службы в диапазоне температур 20 — 380 °С при высоких механических нагрузках.

Толщина пленки должна быть равна 5 — 15 мкм, более толстый слой подвержен растрескиванию и скалыванию.

Мягкие металлы (свинец, индий, олово, кадмий, медь, серебро, золото и др.) обладают низкой прочностью на срез и благодаря этому могут применяться в качестве смазок, наносимых в виде тонких слоев (пленок) на более прочные основы. Поведение пленок этих металлов во многом сходно с маслами. Кроме того, они обладают свойством облегчать и ускорять процесс приработки

Важным требованием, обуславливающим возможность применения для смазок мягких металлов, является высокая адгезия к материалу основы и низкая к материалу контртела. Например, пленка серебра толщиной 100...200 мкм, наносимая на основу гальваническими методами, обладает высокими антифрикционными свойствами и обеспечивает интенсивный отвод теплоты от поверхности трения.

Смазывающими свойствами обладают некоторые полимерные материалы — фторопласт-4 (тефлон), капрон, нейлон, полиэтилен, политетрафторэтилен, полиамид и др. Их наносят на поверхности трения в виде пленок различной толщины или используют как прессованные проставки (вкладыши). Применение твердых смазок на основе полимерных материалов ограничивается низкой термической стойкостью этих материалов, а также свойственными им малым коэффициентами теплопроводности и большим коэффициентом теплового расширения (на порядок больше, чем у стали).

Полимерные твердые смазочные материалы обладают недостаточными механическими свойствами, поэтому для обеспечения прочности при средних и высоких нагрузках их армируют. Армирование может производиться либо путем введения в структуру полимера армирующих решеток, либо пропиткой полимером пористого материала. Используемый для армирования материал должен быть мягче, чем материал поверхности трения. В частности, имеются данные об успешном применении в тяжело нагруженных подшипниках скольжения армированного политетрафторэтилена.

Перспективной областью использования твердых смазок являются композиционные смазочные материалы (КСМ), представляющие собой комбинацию отдельных видов твердых смазок, обеспечивающую оптимальное сочетание их смазочных свойств, механической прочности и обрабатываемости. Основным преимуществом КСМ является обеспечение хороших антифрикционных и противоизносных свойств в течение длительного времени (в пределе — соответствующего полному ресурсу механизма).

Физически КСМ представляет собой механическую смесь двух или более различных по свойствам твердых веществ, при этом одно из них, являющееся основой, может образовывать структурный каркас — матрицу, обуславливающую заданные механические свойства. Матрица может изготавливаться из полимерных, металлических или керамических материалов. В структурном каркасе матрицы зафиксированы материалы, являющиеся наполнителем КСМ. Наполнитель обеспечивает смазочные свойства КСМ. К достоинствам КСМ с полимерной матрицей (полимерных КСМ) относятся хорошие смазочные свойства, химическая инертность, более высокая, чем у металлов, усталостная прочность, малая масса, низкая чувствительность к локальным нарушениям структуры (трещинам, надрезам). Наиболее термостойкие КСМ на основе ароматических полиамидов могут длительно эксплуатироваться при температуре до 450 °С. Основные недостатки — большой коэффициент термического расширения, низкие теплопроводность, термическая стойкость и стабильность.

В полимерных КСМ наиболее часто используют полиамиды с наполнителями — дисульфидом молибдена, графитом, нитридом бора. Хорошие результаты дает использование в качестве наполнителей порошков мягких металлов, алюминия, меди, никеля, молибдена и др.

КСМ на основе металлических материалов получают путем прессования и спекания из порошков металлов (железа, меди и пр.) с последующей пропиткой полученной пористой основы твердыми слоистыми смазками, мягкими металлами или полимерами. Для получения КСМ, работающих в особо тяжелых температурных условиях, в качестве основы используют никель, кобальт и их сплавы, в качестве наполнителя — материалы на основе молибдена или вольфрама.

Хорошие характеристики имеют КСМ на основе пористых материалов, изготовленных спеканием пакета спрессованных металлических сеток. Для

увеличения антифрикционных свойств сетки можно изготавливать из мягких металлов. Механические свойства таких композиций широко регулируют выбором материала сетки и давления прессования. Получили распространение (например, для направляющих втулок клапанов ДВС) КСМ на металлической основе, поры которых заполнены фторопластом-4 с добавками сульфидов, селенидов и теллуридов молибдена, вольфрама, ниобия и других металлов. В таких композициях твердая смазка кроме смазочного действия обеспечивает высокую несущую способность и износостойкость. Соответствующие характеристики приведены в табл. 2.

Состав материала	Удельная нагрузка, МПа							
	Коэффициент трения		Износ, мкм/км		Коэффициент трения		Износ, мкм/км	
Износ, мкм/км 0,13	0,13	0,46	0,13	0,30	0,16	0,30	0,11	0,30
	60% Ag, 30% тефлона, 10% WSe <sub>2</sub>	0,22	0,51	0,19	0,32	0,9	0,32	0,18

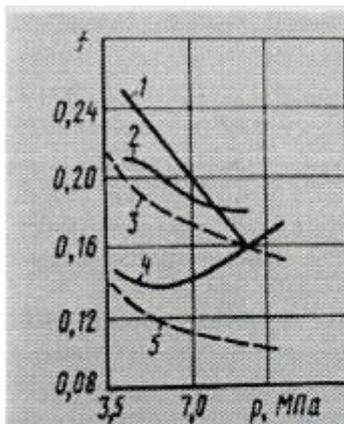


Рис. 8.2. Влияние удельной нагрузки  $p$  на коэффициент трения  $f$  металлокерамических композиций:  
 1 — тефлон+медь+MoS<sub>2</sub>; 2 — тефлон+медь+MoSe<sub>2</sub>; 3 — тефлон+медь+NbSe<sub>2</sub>; 4 — тефлон+серебро+NbSe<sub>2</sub>; 5 — тефлон+серебро+WSe<sub>2</sub>

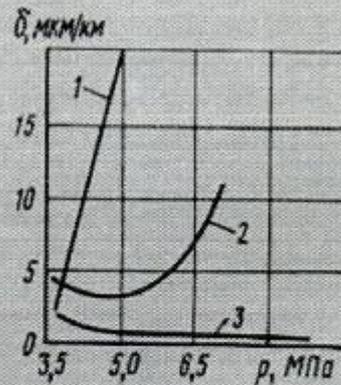
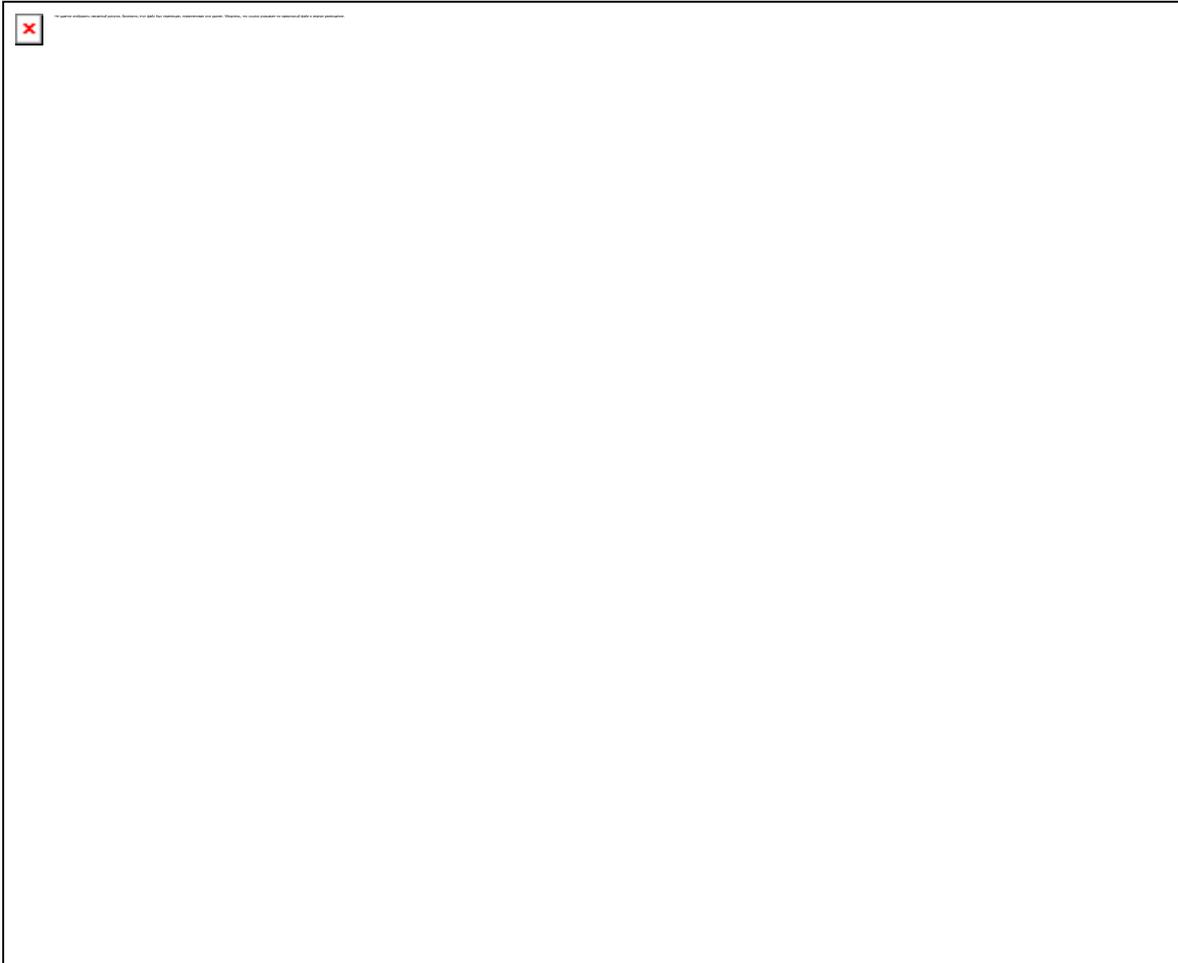


Рис. 8.3. Влияние содержания твердой смазки на износ металлополимерных композиций при удельной нагрузке  $p$ :  
 1 — тефлон+медь+MoS<sub>2</sub>; 2 — тефлон+медь+MoSe<sub>2</sub>; 3 — тефлон+медь+NbSe<sub>2</sub>



Рациональный подбор веществ, входящих в КСМ, обеспечивает их достаточно высокую несущую способность при хороших антифрикционных характеристиках и минимальном износе узла трения (рис. 8.2 — 8.4). Рабочая температура таких смазок ограничивается температурой течения материала металлической основы.

Для получения керамических матриц КСМ используют окислы бериллия, циркония и других металлов. КСМ на керамической основе обладают высокой термической и химической стойкостью. Основные недостатки этих материалов — хрупкость и низкая прочность при растяжении.

На основе КСМ разрабатывают узлы трения (вплоть до коренных вкладышей и поршневых колец), не требующие замены в течение всего моторесурса двигателя. При условии достаточно эффективного отвода теплоты узлы трения на основе КСМ могут длительно работать без дополнительного подвода смазки. Большинство КСМ хорошо работает совместно с жидкими и консистентными смазками, что открывает возможность их использования для подшипников скольжения в конструкциях ДВС. Это обеспечивает существенное повышение надежности двигателя, особенно в режиме масляного голодания. Для вкладышей коренных и шатунных подшипников можно использовать, например, композиции из медно-молибденового ( $\text{CuO} + \text{MoS}_2$ ) материала. Для подшипников распределительного вала применяют вкладыши, изготовленные из металлокерамических (или пористых)

композиций на основе мягких металлов, насыщенных фталоцианиновой твердой смазкой. Изготавливают материал, состоящий из стальной ленты, на которую спеканием нанесен тонкий слой сферических частиц пористой оловянистой бронзы, пропитанных смесью фторопласта со свинцом. Здесь стальная основа обеспечивает необходимую прочность подшипника, бронза — теплопроводность, смесь тефлона со свинцом — смазочные свойства.

## Некоторые свойства смазок

Тип загустителя	Рабочие температуры, (°C)	Температура каплепадения, (°C)	Водостойкость
Ca	-30 - +50	80 – 100	Отличная
Na	-30 - +100	150 – 190	Плохая
Li	-30 - +130	170 – 200	Очень хорошая
Li-комплекс	-30 - +150	Около 240	Хорошая
Бентонит	-20 - +200	Неприменимо	Хорошая



**Пенетрация (проникновение)**-характеризует консистенцию (густоту) смазки по глубине погружения в нее конуса стандартных размеров и массы. Пенетрация измеряется при различных температурах и численно равна количеству миллиметров погружения конуса, умноженному на 10.

**Температура каплепадения**-температура падения первой капли смазки, нагреваемой в специальном измерительном приборе. Практически характеризует температуру плавления загустителя, разрушения структуры смазки и ее вытекания из смазываемых узлов (определяет верхний температурный предел работоспособности не для всех смазок).

**Предел прочности при сдвиге**-минимальная нагрузка, при которой происходит необратимое разрушение каркаса смазки и она ведет себя как жидкость.

**Водостойкость**-применительно к пластичным смазкам обозначает несколько свойств: устойчивость к растворению в воде, способность поглощать влагу, проницаемость смазочного слоя для паров влаги, смываемость водой со смазываемых поверхностей.

**Механическая стабильность**-характеризует тексотропные свойства, т.е. способность смазок практически мгновенно восстанавливать свою структуру (каркас) после выхода из зоны непосредственного контакта трущихся деталей. Благодаря этому уникальному свойству смазка легко удерживается в негерметизированных узлах трения.

**Термическая стабильность**-способность смазки сохранять свои свойства при воздействии повышенных температур.

**Коллоидная стабильность**-характеризует выделение масла из смазки в процессе механического и температурного воздействия при хранении, транспортировке и применении.

**Химическая стабильность**-характеризует в основном устойчивость смазок к окислению.

**Испаряемость**-оценивает количество масла, испарившегося из смазки за определенный промежуток времени, при ее нагреве до максимальной температуры применения.

**Коррозионная активность**-способность компонентов смазки вызывать коррозию металла узлов трения.

**Защитные свойства**-способность смазок защищать трущиеся поверхности металлов от воздействия коррозионно-активной внешней среды (вода, растворы солей и др.).

## **7. Применения твердых смазок в узлах и агрегатах**

Твердые и самосмазывающиеся материалы применяют обычно в экстремальных условиях, в которых жидкие или пластичные теряют свою работоспособность.

К таким условиям следует отнести высокие или криогенные температуры, вакуум, большие удельные давления и радиацию. Кроме того, этот вид смазочных материалов может быть использован в качестве одного из компонентов жидких масел или пластичных смазок. Например, добавление коллоидного графита в пластичную смазку значительно повышает ее антифрикционные свойства. Повышаются смазочные свойства и масел при добавлении в них дисульфида молибдена, дисульфида вольфрама, графита и некоторых других веществ.

Значение твердых и самосмазывающихся материалов в ближайшее время должно возрасти в связи с разработкой модификаций двигателей и топливной аппаратуры, предназначенных для альтернативных топлив, в том числе топлив, применяемых при криогенных температурах (сжиженный метан, водород и др.).

Сухие и самосмазывающиеся материалы могут оказаться полезными для газотурбинных двигателей, двигателей Стирлинга и ряда других транспортных силовых установок будущего.

Рассмотрим, от чего зависят смазочные свойства различных смазочных материалов. Механизм действия сухих смазочных материалов до конца пока

не раскрыт. Смазывающие свойства этих материалов объясняются строением их кристаллической решетки, в которой атомы, образующие слой, расположены ближе друг к другу, чем расстояния между слоями. Например, у графита расстояния между атомами в слое равны 0,142 нм, а расстояния между слоями 0,344 нм. Однако объяснить строением кристаллической структуры смазывающую способность сухих смазочных материалов полностью не удастся. Например, тальк, применяющийся широко для предотвращения слипания поверхности камеры с крышкой в пневматических шинах, тоже имеет слоистую гексагональную структуру, но совершенно не обладает смазывающими свойствами в металлических узлах трения. То же относится и к слюде.

Существенное значение имеет адгезия — способность прилипания смазочного материала к поверхности трения. У талька и слюды такой способности нет, а у графита, дисульфида молибдена и других видов сухих смазок такая способность ярко выражена.

Имеет значение и фактор адсорбции молекул воды и кислорода на поверхности смазок. Коэффициент трения при применении этих смазочных материалов в вакууме увеличивается. При влажности более 30 % коэффициент трения также начинает увеличиваться.

При применении дисульфида молибдена скольжение происходит между слоями серы, так как она обладает высокой адгезией к металлам. Вместе с тем коэффициент трения при скольжении серы по сере больше, чем при скольжении дисульфида молибдена. Таким образом, смазывающие свойства слоистых смазок зависят от многих факторов, но решающими из них являются их слоистое строение, малая энергия связи между слоями и высокая адгезия на поверхностях узла трения. Твердые смазки на основе слоистых материалов Графит. Это одна из самых распространенных сухих смазок. Известен как одно из аллотропных состояний углерода. Имеет гексагональную структурную решетку, в которой параллельные слои вещества расположены на расстоянии 3,44 А. Графит хорошо заполняет технологические неровности микропрофиля поверхности трения, образуя гладкую зеркальную поверхность. Скорость относительного скольжения мало влияет на коэффициент трения графита, в то время как удельная нагрузка оказывает на него существенное воздействие.

При увеличении удельной нагрузки до 450—500 Н/мм<sup>2</sup> коэффициент трения быстро уменьшается (примерно до 0,03). При дальнейшем увеличении нагрузки коэффициент трения начинает возрастать, изнашивание становится более интенсивным. Большое значение имеет материал трущихся деталей. Графит АГ-1500 лучше всего работает в паре с чугуном и хромом, графит Е — со сталью и хромом. Чем прочнее пленка оксида металла, тем лучше работает графит. Хуже всего графит работает по меди. Его износ в этом случае в 18 раз больше, чем при работе по хрому, что является одной из причин быстрого изнашивания щеток электродвигателей и генераторов.

Повышение температуры узла трения при работе в вакууме уменьшает коэффициент трения в одноименной паре. Например, при изменении температуры от 20 до 0 °С уменьшился с 0,4 до 0,15. Трение графита марки АГ-1500 по коррозионно-стойкой стали при температуре 800 °С вызывает резкие скачки коэффициента трения и увеличение его от 0,25 до 0,4. На воздухе удельные нагрузки на пары графит—металл могут быть увеличены в 3—5 раз.

Применяют графит как добавку к различным смазочным материалам (например, солидолу УСсА), как сухой смазочный материал • в виде тонкого порошка или как самосмазывающийся материал.

Основные свойства графита и других слоистых материалов приведены в табл. 30.

Дисульфид молибдена MoS<sub>2</sub>. Свойства его как смазывающего материала были известны еще в XVI в. В последнее время проведено много исследований по применению этого соединения в качестве смазочного материала. Установлено, что MoS<sub>2</sub>, как и графит, имеет гексагональное строение. Расстояние между ближайшими атомами молибдена в решетке равно 2,41 А, а между атомами серы в ближайших слоях 3 А.

При температуре 350 °С начинается процесс окисления MoS<sub>2</sub>. Вместе с тем в вакууме он выдерживает температуру до 1000 °С. Природный MoS<sub>2</sub> получают из молибденового блеска при добыче медных руд. Цвет серо-стальной. Кристаллы имеют игольчатое строение. Плотность 4800 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент трения с увеличением удельной нагрузки уменьшается, достигая 0,02 (при 2800 МПа). Применяют как сухой смазочный материал или как добавку в жидкие и пластичные смазочные материалы. Основные свойства MoS<sub>2</sub> приведены также в табл. 30.

Дисульфид вольфрама WS<sub>2</sub>. Структура WS<sub>2</sub> гексагональная, слоистая. На воздухе WS<sub>2</sub> может работать, не окисляясь, до температуры 510 °С, а его несущая способность в 3 раза больше, чем дисульфида молибдена. Химически WS<sub>2</sub> очень стабилен, не растворяется в сильных кислотах и щелочах, воде, маслах, ацетоне. На него имеют небольшое воздействие при высокой температуре только газообразный фтор, серная и плавиковая кислоты. WS<sub>2</sub> не вызывает коррозии металлов. При приготовлении коллоидных суспензий WS<sub>2</sub> со смазочными маслами необходимо учитывать большую разность плотностей, вызывающую нестабильность системы. Поэтому предпочтительны смеси, состоящие из WS<sub>2</sub> и пластичных смазочных материалов или специальных паст. Основные свойства WS<sub>2</sub> приведены также в табл. 30.

К слоистым смазочным материалам, имеющим гексагональную решетку, следует отнести соединения селена — диселениды молибдена MoSe<sub>2</sub>, вольфрама WSe<sub>2</sub>, ниобия NbSe<sub>2</sub>, нитрида бора BN, а также соединения, обладающие несколько худшими смазывающими свойствами и относительно невысокой температурой плавления, — SdJ<sub>2</sub>, PbJ<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>2</sub>, AgJ.

## Самосмазывающиеся конструкционные материалы

Принцип создания самосмазывающихся материалов прост: в основу, представляющую собой прочные и стабильные полимеры (например, из группы полиамидных смол), вводят наполнители, обладающие смазывающими свойствами, — дисульфид молибдена или графит. Наполнитель вводят или в процессе полимеризации основы, или в расплав готового полиамида. Твердость готового материала растет с увеличением количества введенного наполнителя, достигая максимума при содержании его 30—35 %. При дальнейшем увеличении количества наполнителя твердость начинает резко падать, причем одновременно уменьшается ударная прочность, что снижает конструкционную ценность материала, так как он становится хрупким.

Наилучшие результаты получаются при применении в качестве наполнителя полиамидных смол MoS<sub>2</sub>. Ценные самосмазывающиеся материалы получают при армировании фторопласта-4 медной стружкой. Износостойкость композиции повышается в 10 тыс. раз. Наименьший коэффициент трения фторопласта-4 получается при ведении в расплав основы стружки бронзы ( $f = 0,17$ ). Наименьшее значение наблюдается у металле- или стеклофторопластовых композиций при их работе по коррозионно-стойкой стали (из-за отсутствия окисной пленки).

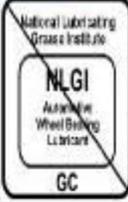
Хорошим самосмазывающимся конструкционным материалом являются фенольные смолы с добавкой тефлона. Несущая способность этих композиций увеличивается при добавлении наполнителя не более 15 % тефлона.

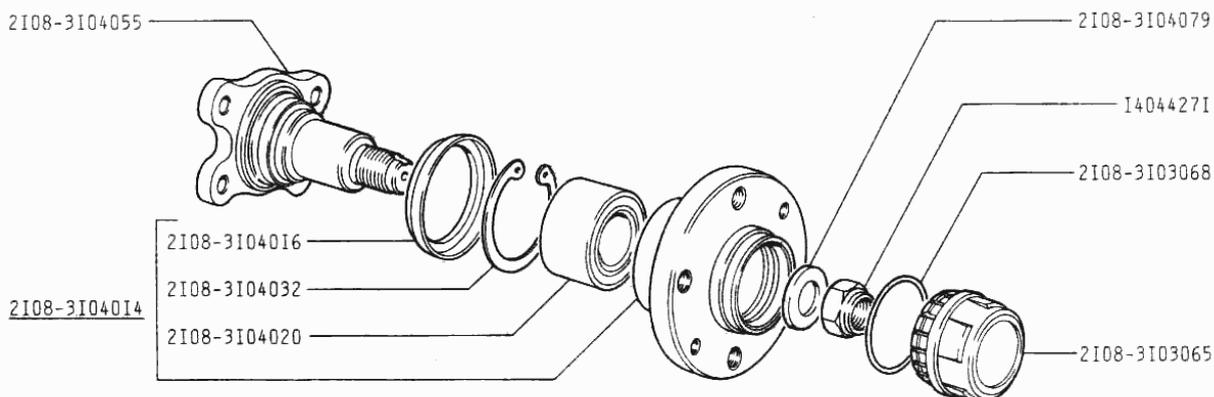
Технология порошковой металлургии позволила создать ряд самосмазывающихся материалов на базе порошковых. Особенностью этих структур, выгодно отличающей их от полимерных композиций, является высокая теплопроводность, обеспечивающая хороший отвод теплоты из узла трения. Основой таких материалов является пористая структура наполнения смазывающим веществом. В качестве смазывающего вещества можно использовать различные сухие смазочные материалы. Хорошие результаты были получены при применении графита, дисульфида молибдена и даже полимерных смазывающих материалов, например, фторопласта. Для спекания основы используют медь, молибден, железо и другие металлы. Пропитку вводят так, чтобы включения смазывающего материала равномерно были распределены по всему объему основы.

Наиболее распространены бронзографитовые и железографитовые порошковые материалы. Для улучшения смазывающих свойств поры материала пропитывают жидким смазочным материалом. Коэффициент трения по стали этих материалов 0,04—0,09.

При применении металлокерамических самосмазывающихся материалов надо иметь в виду их относительную хрупкость и малую прочность на растяжение. В остальном эти материалы хороши для направляющих клапанов, теплонапряженных элементов золотникового и гильзового

распределения, узлов трения для двигателей Стирлинга и ряда других узлов трения, в которых трудно или невозможно использовать обычные смазочные материалы.

	Категория	Область применения	Свойства
	LA	Подшипники шасси автомобиля 	Легкий режим эксплуатации, частая замена смазок
	LB		Редкая замена смазок, высокие нагрузки, обводненные узлы трения
	GA	Подшипники колес автомобиля 	Легкий режим эксплуатации
	GB		Умеренный режим эксплуатации, характерный для большинства транспортных средств
GC	Тяжелые условия эксплуатации, высокие температуры, характерные для транспортных средств, работающих в режиме «стоп-старт» и тяжелого торможения		



2109  
2109-04  
21091  
21093  
21093-01

21093-02  
21093-03  
21093-04  
21096  
21097

21098  
21098-01  
21099  
21099-01  
21099-02

21099-03  
21099-05  
210996  
210996-01  
210998

СТУПИЦА ЗАДНЕГО КОЛЕСА

Д420

## 8. Периодичность смазывания узлов и агрегатов, расход смазок

Наименование агрегата или детали смазывания	Кол-во точек	Марка смазочного материала	Периодичность смазывания	Указания по выполнению операций
Подшипники ступиц передних колес	2	Отечественные: смазка Литол-24 или ЛИТА  Зарубежные: Мил-Г-18709А	Через 60 000 км пробега	Снять и промыть ступицы с подшипниками. Заложить в полость ступицы примерно 150 г смазки, заполнив углубление в ее полости, и смазать той же смазкой подшипники, заполнив промежутки между сепараторами и роликами
Подшипники полуосей	2	То же	Через 40 000 км пробега	Отвернуть колпачки пресс-масленок, заполнить их смазкой и завернуть на место до упора. Выполнить операцию дважды
Шарниры рулевых тяг	6	Отечественные: ВНИИ НП-242, Литол-24 или ЛИТА  Зарубежные: Мил-Г-18709А или Мил-Г-10924С	То же	Добавить смазку в шарниры, частично разобрав их
Оси петель дверей	8	Отечественные: Литол-24, ЛИТА или ЦИАТИМ-201  Зарубежные: Мил-Г-18709А или G-10924С	Через 20 000 км пробега	Смазать через пресс-масленки до появления смазки в зазорах петель
Замки и фиксаторы дверей	8	То же	Через 40 000 км пробега	Смазать рабочие поверхности кулачков замков и зубьев фиксаторов тонким слоем смазки
Замки и шарниры капота и крышки багажника	18	»	При сезонном обслуживании	Нанести тонкий слой смазки на трущиеся поверхности
Тяга привода воздушной заслонки (двигатели ЗМЗ-402 и ЗМЗ-4021)	1	»	То же	Вынуть тягу из оболочки, очистить от загрязнений и смазать по всей длине тонким слоем смазки
Выключатели замков дверей и крышки багажника	3	»	»	Выключатели снять и промыть перед смазыванием

## **9. Заключение**

В современном мире стремительно и быстро развивается техника, в особенности автомобильная. Производители автомобилей стараются разрабатывает более комфортные, доступные по цене и в особенности надежные автомобили.

Разработчики, конструктора, инженера пытаются создать как можно более надежные и долговечными узлы, механизмы и агрегаты автомобилей, и по этому одним из немаловажных вопросов является применение смазочных материалов. Но к сожалению не достаточно внимание уделяется таким смазочным материалам как твердые пластичные смазывающие материалы.

В данной курсовой работе были описаны основные свойства и преимущества твердых пластичные смазок их применение. Одни из основных особенностей данных смазок является их более длительный срок использования, не вытекание из мест смазывания, увеличение температуры каплепадения, что в свою очередь существенно увеличивает ресурс работы деталей, узлов, агрегатов автомобилей. А это в свою очередь сказывается на увеличении гарантийного пробега автомобиля, что является в наше время важнейшей задачей для производителей автомобилей.

## **10. Литература**

1. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для техн. вузов. Минск: Высш. шк. 1999.
2. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высш. шк., 1991.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учеб. для техн. вузов / Под ред. А.В. Чичинадзе. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2001.
4. Справочник по триботехнике / Под общ.ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение; Варшава. 1992.