

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

УДК 678.5:621.89.012.2-022.532:001.891

### ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО САМОСМАЗЫВАЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА «МАСЛЯНИТ-ГМ» МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ

© 2014 г. П.Д. Дерлугян, В.А. Левинцев

*Дерлугян Петр Дмитриевич* – канд. техн. наук, доцент, академик Российской инженерной академии, директор-главный конструктор, Федеральное государственное унитарное предприятие особое конструкторско-технологическое бюро «Орион». Тел. (863-2)22-24-45. E-mail: maslianit@inbox.ru

*Derlugyan Peter Dmitriyevich* – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Academician of the Russian Engineering Academy, director-chief designer, Federal State Unitary Enterprise Special Design-Technological Bureau «Orion». Ph. (863-2)22-24-45. E-mail: maslianit@inbox.ru

*Левинцев Валерий Анатольевич* – заместитель директора, Федеральное государственное унитарное предприятие особое конструкторско-технологическое бюро «Орион». Тел. (863-2)22-24-69.

*Levintsev Valery Anatolyevich* – deputy director, Federal State Unitary Enterprise Special Design-Technological Bureau «Orion». Ph. (863-2)22-24-69.

*На основе метода химического конструирования предложен процесс получения полимерного композита «Маслянит-ГМ», обладающего эффектом самосмазывания с улучшенными триботехническими и физико-механическими характеристиками для работы в экстремальных условиях трения.*

*Ключевые слова:* самосмазывающийся материал; пластификация; твердые слоистые смазки; трение; подшипники скольжения.

*On the basis of a method of chemical designing the process of receiving a polymeric composite of the «Maslyanit-GM», possessing effect of self-greasing with improved tribotechnical and physico-mechanical properties characteristics for work in extreme conditions of friction is offered.*

*Keywords:* being self-greased material; plasticization; firm layered greasings; friction; sliding bearings.

#### Введение

Основным критерием надежности и долговечности работы машин и механизмов является работоспособность трущихся пар, представляющих собой подшипниковые узлы скольжения. Износ движущихся элементов приводит к преждевременному выходу из строя узлов или всего механизма. Эти узлы работоспособны только при наличии в зоне контакта пластичных смазок и масел, что не всегда удается конструктивно обеспечить и требует защиты узлов от воздействия внешней среды. Подача смазки, особенно под давлением, значительно усложняет конструкцию, требует дополнительных затрат при изготовлении и эксплуатации машин. Все более значимым становится и факт экологической безопасности. Смазочные материалы при нарушении герметичности узлов загрязняют и пагубно влияют на окружающую среду. Создать универсальный материал, работоспособный в узлах трения без

смазки и обладающий широким спектром физико-механических, теплофизических и триботехнических свойств, не представляется возможным. Однако разработать материал с комплексом свойств, предназначенных для конкретного узла трения, стало возможным благодаря применению композиционного подхода при формировании будущего материала.

С точки зрения химического материаловедения композиционный материал (композит) – это многокомпонентная система, каждая многофазная компонента которой имеет свое функциональное предназначение и обеспечивает проявление определенного свойства. Одновременное функционирование всех компонентов композита в сочетании с эффектами, возникающими при трении на их поверхностях, может сопровождаться эффектом синергизма и привести к улучшению соответствующих характеристик материала.

Так возникла необходимость в направленном модифицировании и управлении структурой поверхностных слоев композитов, проявляемых на наноуровне. Наличие многообразия матричных связующих полимерных материалов, наполнителей и многофункциональных добавок позволяет направленно регулировать свойства разрабатываемого композиционного материала. Комплекс теоретических, научно-исследовательских, экспериментальных, конструкторских и технологических работ, объединенных для реализации процесса модификации свойств известных полимерных материалов, рассматривается нами как процесс химического конструирования композиционных самосмазывающихся материалов с заданными техническими характеристиками. Главным этапом данного процесса является обоснование выбора исходных компонентов и их влияние на свойства полученного полимерного композита.

### Полимерная основа композита

Целесообразность использования полимеров в машиностроении в качестве матрицы конструктивных материалов антифрикционного назначения обусловлена следующими основными факторами:

- более низким в сравнении с металлами коэффициентом трения;
- достаточно высокой для конструктивных материалов удельной прочностью (отношение прочности к плотности);
- способностью воспринимать значительные упругие деформации, препятствующие образованию адгезионного сцепления в зоне трения полимер-металл;
- стойкостью к действию многих агрессивных по отношению к металлам жидких и газообразных сред;
- стойкостью к действию абразивных частиц, которые, внедряясь в полимерный материал, предотвращают узлы трения от заеданий и задиров;
- способностью гасить колебания, что снижает шумовые эффекты при трении, поглощает вибрацию, вызывающую фреттинг-коррозию;
- снижением веса подшипниковых узлов вследствие низкого удельного веса по сравнению с металлами, снижением металлоемкости и экономии цветных металлов;
- технологичностью переработки в изделия;
- возможностью образовывать совместно с другими материалами композиты с прогнозируемыми свойствами.

Однако полимеры обладают и рядом отрицательных свойств, ограничивающих область их применения. К ним можно отнести: склонность к старению и биоповреждениям, деформирование под нагрузкой (ползучесть), сравнительно невысокая теплостойкость, низкие теплофизические характеристики (коэффициент термического расширения, теплопроводность), высокий коэффициент водопоглощения и эффект набухания, нестабильные триботехнические характеристики.

Опыт применения полимерных материалов в узлах трения машин и механизмов показывает, что основой композита для антифрикционных материалов являются: полиамиды, полиолефины (полиэтилены и полипропилены), политетрафторэтилены (фторопласты), пентапласты (ПБО), эпоксидные смолы и ряд других полимерных материалов. Среди многообразия полимеров в качестве материалов, работающих в подвижных сопряжениях, широко используют термопластичные материалы полиамидной группы [1].

К наиболее распространенным алифатическим полиамамидам, производимым в промышленном масштабе, относятся:

- полигексаметиленадипинамид – (Полиамид 66)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-]_n$ ;
- полигексаметиленсебацинамид – (Полиамид 610)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_6\text{CO}-]_n$ ;
- поли-Е-капроамид – (Полиамид 6)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_5\text{CO}-]_n$ ;
- поли-В-энантоамид – (Полиамид 7)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_6\text{CO}-]_n$ ;
- поли-В-ундеканамид – (Полиамид 11)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}-]_n$ ;
- полидодеканамид – (Полиамид 12)  
 $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_{11}\text{CO}-]_n$ .

Свойства их изменяются в широких пределах в зависимости от химической структуры. Молекулы полиамидов в твердом состоянии обычно имеют конформацию плоского зигзага. Максимальная степень кристалличности зависит от симметрии звеньев и регулярности их расположения в макромолекуле. Для дальнейших действий по обоснованию процесса получения самосмазывающихся материалов принят полиамид П-610.

### Пластификация полимеров

Одним из результатов решения проблем антифрикционного материаловедения стала разработка и внедрение в различные отрасли промышленности композиционных полимеров груп-

пы «Маслянит», представляющих собой «Материалы антифрикционные самосмазывающиеся, локализирующие явления нормализации идеального трения». Общим для этих материалов является реализация эффекта «самосмазывания», основанного на пластификации полимеров [2].

Процесс пластификации сопровождается введением в полимеры веществ (пластификаторов), повышающих эластичность и пластичность материала при переработке и эксплуатации. Непременным условием пластификации является термодинамическая совместимость пластификатора с полимером. Совместимость зависит от их природы. На практике широко применяют как хорошо совместимые, так и ограниченно совместимые с полимером пластификаторы [3, 4].

Если количество введенного в полимер пластификатора превышает концентрацию, соответствующую равновесному пределу его совместимости с полимером, то избыток пластификатора может выделяться из системы в процессе эксплуатации материала, особенно при воздействии внешних факторов (нагрузка, скорость относительного скольжения, температура). Такими внешними факторами являются условия, возникающие при трении полимера с металлом.

Была предложена модель «выпотевания» пластификатора из объема полимера на поверхность трения при повышении температуры в зоне локального фрикционного контакта с металлом. Данная модель и послужила началом создания нового класса самосмазывающихся пластмасс.

Используя в качестве пластификаторов полимера смазочные материалы, совместимые с выбранной полимерной матрицей, удалось обеспечить на поверхностях скольжения граничные смазочные слои, предотвращающие схватывание и реализующие условия для идеального трения между полимером и металлом. Выявленная закономерность движения молекул пластификатора из объема материала к поверхности трения вследствие разницы температур и определяет регенерацию смазочной пленки, которая будет тем интенсивней, чем выше температурный градиент полимерной композиции в трибосопряжении.

Технология химического наноконструирования антифрикционных самосмазывающихся полимерных композиций [5] предусматривает высокую пластификацию полимерной матрицы в процессе ее переработки в изделия. Известно, что для процесса пластификации полимера достаточно введение от 5 до 10 % пластификатора. Чтобы одновременно придать полимеру и свой-

ства самосмазывания, необходимо ввести в матрицу до 30 % пластификатора-смазки. Веществами, способными одновременно быть пластификаторами для полимера и образовывать на поверхностях трения полимер – металл смазочные пленки, являются высшие жирные кислоты (олеиновая, стеариновая, рицинолевая), масла, их содержащие (хлопковое, маисовое, касторовое), а также спирты, эфиры и другие соединения, имеющие дифильное строение (полярная группа и длинная углеродная цепь). С одной стороны, они придают полимерам пластичность и эластичность, а с другой – реализуют эффект самосмазывания.

Возможность введения этих компонентов в качестве пластификатора в расплав полиамидов при полимеризации обусловлена многими факторами, основным из которых является температурная совместимость расплава полимера и пластификатора. Температурный диапазон переработки полиамидов 170 – 250 °С. Из многообразия отечественных смазочных материалов, содержащих в своем составе высшие жирные кислоты и сохраняющих смазочные свойства при этих температурах, можно выделить масла и технические жидкости, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Температурный режим работы смазочных материалов

Наименование смазочного материала (масла)	Температурный интервал работоспособности, °С
Авиационное масло МС-20	240 – 270
Касторовое масло	240 – 250
Цилиндровые масла 24, 38, 52	250
Вакуумное масло ВМ-5	230
Индустриальные масла И-40, И-50	до 200
Полифенилметилсилоксановая жидкость ПФМС-4	300
Полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-5	265
Кремнийорганические жидкости	250
Перфторалкилполиэфир ПЭФ-240	240
Полиметилсилоксановая жидкость ПМС-200	200

Вследствие невысокой вязкости жидкие смазочные материалы не всегда удается ввести в нужном количестве в полимер на стадии его переработки в изделия. Возможны случаи отделения масла от расплава полимера, неравномерное его распределение в объеме. Наиболее перспективным стало использование пластичных сма-

зочных материалов, состоящих из смеси минеральных и синтетических масел, стабилизированных мылами или другими загустителями. Наибольший интерес представляют пластичные смазки на основе перечисленных выше масел и загущенных мылами высших жирных кислот. К ним можно отнести:

– УНИОЛ-1 – пластичная антифрикционная противозадирная высокотемпературная смазка. Получают загущением минерального масла комплексным кальциевым мылом синтетических жирных кислот;

– ЦИАТИМ-201 – пластичная антифрикционная смазка, полученная загущением вазелинового масла МВП литиевым мылом стеариновой кислоты;

– Консталин-УТ1 – пластичная антифрикционная универсальная тугоплавкая смазка на основе минерального масла, загущенного натриевым мылом касторового масла (16 – 20 %);

– ЦИАТИМ-221 – смазка термостойкая на основе полиэтиленсилоксановой жидкости, загущенной комплексным кальциевым мылом стеариновой и акриловой кислот;

– Смазка № 158 – смазка автомобильная на основе авиационного масла МС-20, загущенного литий-калиевым мылом стеариновой кислоты, касторового масла и канифоли, с добавлением в качестве противоизносной присадки фталоцианина меди (2 %).

Нами были проведены сравнительные испытания смазочной способности вышеуказанных пластичных смазок, результаты которых представлены в табл. 2. В качестве критериев оценивались:

– несущая способность смазки, определяемая критической нагрузкой, при которой происходил прорыв масляной пленки;

– антизадирные свойства – фиксируемые по величине пятна контакта шаров, при нагрузке,

превышающей наибольшую критическую нагрузку;

– антиизносные свойства – сравниваемые по величине диаметры пятен контакта шаров, при нагрузке несколько ниже наименьшей критической нагрузки;

– антифрикционные свойства – регистрируемые по величине коэффициента трения, фиксируемого на ленте самописца при определении антифрикционных свойств. Ввиду длительности данных испытаний усредненный коэффициент трения можно считать наиболее достоверным.

В нашем случае наилучшей смазочной способностью обладает смазка № 158, которая, наряду с другими смазочными материалами, совместимыми с полиамидами и сохраняющими свои смазочные свойства в процессе переработки исходных полимеров в изделия, была опробована в качестве смазки-пластификатора при химическом наноконструировании антифрикционных самосмазывающихся материалов.

Таким способом удалось получить полимерные композиции, реализующие эффект самосмазывания при трении. Однако при эксплуатации пар трения в экстремальных условиях при высоких нагрузках, скоростях, температурах образующиеся адсорбционные смазочные слои между полимером и металлом могут разрушаться. Это приводит к резкому локальному повышению коэффициента трения, поверхностному разогреву, схватыванию поверхностей, а в дальнейшем к деструкции полимера и выходу из строя узла трения.

При прорыве смазочной пленки роль последней могут выполнять твердые смазочные материалы (ТСМ), имеющие высокие триботехнические характеристики и обеспечивающие исключение повышенного износа, задира и высокого трения при пуске и остановке высокоскоростных узлов трения [6].

Таблица 2

Смазочная способность некоторых пластичных смазок

Вид смазки	Критическая нагрузка, кгс	Антизадирные свойства, мм (пятно контакта)	Антиизносные свойства, мм (пятно контакта)	Антифрикционные свойства $f_{тр}$
ЦИАТИМ - 221	18,5	1,560	0,520	0,121
ЦИАТИМ - 201	39,5	1,210	0,480	0,110
УНИОЛ - 1	51,6	1,300	0,460	0,102
КОНСТАЛИН УТ1	62,6	1,150	0,420	0,097
Смазка № 158	73,1	1,110	0,390	0,088

### Твердые смазочные материалы

По механизму смазочного действия их можно условно разделить на две группы.

Смазки первой группы модифицируют поверхности трения химически. Пленки, образующиеся на поверхности вследствие химической реакции, снижают коэффициент трения, износ и предотвращают схватывание трущихся деталей. К таким ТСМ прежде всего следует отнести йодистые соединения металлов, фосфаты, хлориды и некоторые окислители.

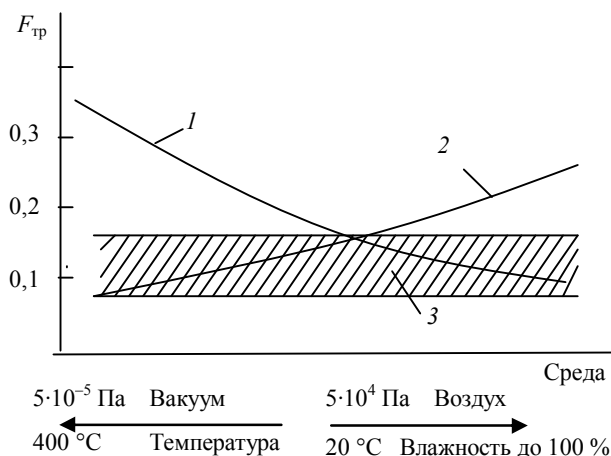
К смазкам второй группы относятся вещества, химически не взаимодействующие с поверхностями трения. Обладая слоистой структурой, они проявляют высокие антифрикционные свойства. К этой группе относят графит, дисульфид молибдена, дисульфид вольфрама, нитрид бора, фталоцианин меди, слюду, тальк. Их влияние в качестве добавок на смазочную способность смазок изучено достаточно полно [6, 7]. Наибольшее распространение в качестве твердых смазочных материалов получили первые два – это графит и дисульфид молибдена.

Однако механизмы смазочного действия слоистых твердых смазок имеют ряд противоречивых представлений. Объясняется это сложностью процессов, происходящих на атомном и молекулярном уровнях в частицах твердой смазки, когда эти частицы выполняют свою функцию.

И графит и дисульфид молибдена обладают слоистой структурой. Атомы углерода в графите размещены в правильных шестиугольниках и связаны прочными ковалентными связями. Легкость сдвига между слоями, расположенными на значительном расстоянии друг от друга, объясняется их слабыми связями. Была попытка аналогичного объяснения смазочной способности и дисульфида молибдена. Однако при сопоставлении эффективности смазочного действия графита и  $\text{MoS}_2$  в различных средах и климатических условиях были обнаружены различия в характере их действия.

Так, графит проявляет свои лучшие смазочные способности на воздухе, в присутствии влаги, паров воды, различных загрязнений, т.е. в сравнительно легких режимах работы узлов трения (невысокие нагрузки, скорости, температура). Насыщая поверхностные слои графита, они способствуют его лучшей адгезии к сопрягаемым поверхностям и тем самым обеспечивают при трении скольжение по разрываемым слабым связям между слоями. Дисульфид молибдена не

обеспечивает смазочные свойства во влажной атмосфере, а проявляет наилучшую смазочную способность при работе в тяжелых режимах трения (высокие нагрузки, скорости, температуры), а также в вакууме и инертных газах (рисунок).



Характер изменения антифрикционных свойств в зависимости от условий эксплуатации и среды: 1 – графит; 2 – дисульфид молибдена; 3 – возможная область их совместного смазочного действия

Объяснение такому явлению было выдвинуто в предположении о возможности конформационных переходов в кристаллических структурах с тригонально-призматической координацией атомов, к которым относится и структура  $\text{MoS}_2$  [8, 9]. Согласно этой теории высокая смазочная способность молибденита обеспечивается не за счет скольжения одного слоя относительно другого, а благодаря конформационным превращениям в поверхностном слое кольца с тригонально-призматической координацией атомов молибдена и серы из одной конформации (выпуклой) в другую (вогнутую) через плоскую конформацию. В условиях повышенных нагрузок, скоростей, температур и особенно в среде инертных газов роль структурно-кинетического механизма скольжения в поверхностном слое дисульфида молибдена возрастает.

Противоположное действие на смазочные свойства графита и дисульфида молибдена окружающей среды и условий использования дало предпосылку к формированию комплексной твердосмазочной добавки, содержащей смесь графита и дисульфида молибдена и предназначенной для работы в переходных режимах эксплуатации, в том числе в режиме воздух – вакуум. Механизм совместного действия графита и дисульфида молибдена можно условно разбить на этапы:

1. При работе узла трения в легком кратковременном режиме (при малых нагрузках и скоростях) в присутствии кислорода, во влажном воздухе, в интервале температур от минус 40 до плюс 40 °С – свои лучшие смазочные свойства проявляет графит.

2. При работе узла в тяжелом режиме, при высоких нагрузках и скоростях, когда в зоне трения происходит значительный разогрев и испарение паров воды, а также при работе в вакууме и других инертных газах лучшие смазочные свойства проявляет дисульфид молибдена.

3. В промежуточных режимах работы узла трения, а также в переходных режимах воздух – вакуум возможно проявление совместного смазочного действия графита и дисульфида молибдена.

Учитывая, что триботехнические свойства композиционного полимерного материала будут во многом определяться совместным действием пластификатора (смазки) и твердых смазочных наполнителей, то очевидным является их совместная оценка несущей смазочной способности.

Ранее проведенные исследования по влиянию твердых смазочных материалов на свойства пластичных смазок [7] показали, что введение в смазки до 10 % наполнителей не изменяет их реологических свойств. Нами были проведены исследования влияния твердых слоистых смазок

на смазочную способность пластичной смазки № 158 при массовой доле ТСМ 3; 5 и 10 %. Смазочная способность композиций оценивалась на четырехшариковой машине трения (табл. 3).

Лучшую смазочную способность проявила пластичная смазка с добавлением 5 % наполнителя. Это количество и было принято при формировании комплексной твердосмазочной добавки, состоящей из смеси графита и дисульфида молибдена.

При проведении экспериментов нами изменялось и количественное соотношение компонентов. Наилучшие результаты проявила смесь, в которой на каждые 100 % массовой доли графита добавлялось 25 % массовой доли дисульфида молибдена. В целом смазочная способность автомобильной смазки № 158 улучшилась более чем на 40 %.

### Получение композиционного материала

После теоретического обоснования выбора исходных компонентов в виде связующего, пластификатора и комплексной твердосмазочной добавки, осуществляя поэтапный процесс химического конструирования, мы получили композиционный полимерный антифрикционный самосмазывающийся материал «Маслянит-ГМ», обладающий улучшенными триботехническими характеристиками по сравнению с исходным полимерным материалом (табл. 4).

Таблица 3

Смазочная способность композиций

Состав смазочной композиции	Критическая нагрузка заедания		Коэффициент трения		
	$P_{кр}$ , Н	% улуч.	$F_{тр}$	% улуч.	
Смазка № 158, без добавок	69,0	–	0,110	–	
Добавка 3 % по массе графита	60,5	14	0,091	21	
Добавка 5 % по массе графита	54,7	26	0,081	36	
Добавка 10 % по массе графита	56,5	22	0,084	31	
Добавка 3 % по массе MoS <sub>2</sub>	55,6	24	0,089	23	
Добавка 5 % по массе MoS <sub>2</sub>	50,7	36	0,088	25	
Добавка 10 % по массе MoS <sub>2</sub>	53,2	29,6	0,090	22	
Комплексная добавка, массовая доля 5 % смеси графита С-1 и MoS <sub>2</sub> в соотношении	1 : 4	61,6	12	0,089	23
	1 : 1	61,0	13	0,085	29
	4 : 1	49,2	40	0,077	44

Таблица 4

Физико-механические и антифрикционные свойства композитов

Свойства композита	Состав композита		
	П-610	П-610 + Смазка 158	П-610 + Смазка 158 + (С-1 + MoS <sub>2</sub> ) «Маслянит -ГМ»
Возможная массовая доля введения смазки, %	–	до 7	до 15
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	90 – 95	85-95	85 – 90
Фактор работоспособности $PV$	до 0,3	до 0,8	до 1,2
Коэффициент трения скольжения	0,25 – 0,30	0,18 – 0,22	0,08 – 0,14
Водопоглощение, %	3,3	2,5	до 2,0

В четыре раза увеличился фактор работоспособности, почти в два раза снизился коэффициент трения, уменьшилась гидрофобность композиции, а также улучшились и другие показатели, в частности коэффициент теплопроводности и коэффициент линейного термического расширения. Созданный композиционный антифрикционный самосмазывающийся материал «Маслянит-ГМ» расширил возможную область применения исходного полимера.

Используя в качестве основы материала полимеры различных классов, пластифицируя их многообразием смазочных материалов-пластификаторов, вводя в систему полимер – пластификатор – смазка многофункциональные наполнители и добавки, удалось создать группу самосмазывающихся материалов с различными физико-механическими, теплофизическими, трибологическими и специальными свойствами для работы в заданных условиях.

### Выводы

1. Практически подтверждена предложенная схема химического конструирования полимерных композиционных материалов с регулируемыми техническими характеристиками. Схема представляет собой законченный цикл научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, начиная от составления технического задания на материал с требуемыми техническими характеристиками до изготовления и установки разработанного материала в узел трения машины.

2. Предложенный подход к получению композиционных антифрикционных самосмазывающихся полимерных материалов позволил разработать более 50 модификаций «Маслянитов» с планируемыми техническими характеристиками. Этим существенно расширена область

применения композиционных материалов в трибосопряжениях, обеспечивая работоспособность в экстремальных условиях эксплуатации при повышенных нагрузках, скоростях, температурах, различных средах и климатических условиях.

3. Предложено применение в композиционном полимерном антифрикционном материале «Маслянит-ГМ» комплексной твердосмазочной добавки на основе графита и дисульфида молибдена с целью обеспечения смазочной способности материала в переходных режимах эксплуатации.

### Литература

1. Полимеры в узлах трения машин и механизмов: справочник / под ред. А.В. Чичинадзе. М., 1980. 208 с.
2. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. 1976. 152 с.
3. Дерлугян П.Д., Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т., Трофимов Г.Е., Дерлугян Ф.П. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами: монография / ЮРГТУ; Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Ростов н/Д., 2011. 132 с.
4. Брацихин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс. Л., 1982. 324 с.
5. Дерлугян П.Д., Логинов В.Т., Сухов А.С., Дерлугян И.Д. Конструирование антифрикционных самосмазывающихся полимерных материалов с заданными свойствами // Изв. СКНЦ ВШ. Техн. науки. 1987. № 3. С. 61 – 67.
6. Пучков В.Н., Семенов А.П., Павлов В.Т. Твердые смазки: опыт применения и перспективы // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 11. С. 36 – 46.
7. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам. М., 1982. 247 с.
8. Кутьков А.А., Щеголев В.А., Дерлугян П.Д. О структурно-кинетической теории смазочного действия дисульфида молибдена // Машины и технологии переработки каучуков, полимеров и резиновых смесей: сб. науч. тр. Ярославль, 1978. С. 45 – 51.
9. Щеголев В.А., Дерлугян И.Д., Дерлугян П.Д. Псевдовращение и конформационные переходы в кристаллических структурах с тригонально-призматической координацией атомов // Структурная химия. 1987. Т. 28. № 2. С. 86 – 90.