

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФТОРИДА ГРАФЕНА В МАШИНОСТРОЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

И.М. Васильев, Э.Э. Агамирова, В.А. Соколова, А.А. Ореховская,
Р.Р. Загидуллин, И.К. Киямов, Л.С. Сабитов

Наравне с задачей повышения ресурса машин стоит вопрос увеличения эффективности их работы в процессе эксплуатации. Известно, что больше половины топлива, потребляемого автомобилями, тепловозами и другими видами транспорта, расходуется на преодоление сопротивления, создаваемого трением в подвижных сочленениях. В текстильном производстве на преодоление сопротивления трения затрачивается около 80% потребляемой энергии. Низкие КПД многих машин обусловлены, главным образом, большими потерями на трение. Основная причина отказов и выход из строя узлов трения энергетических установок, например, двигателя внутреннего сгорания, и их вспомогательного оборудования является интенсивный износ контактных поверхностей (узлов трения). Для снижения износа в смазочные материалы вводятся различные противоизносные, противозадирные и др. присадки. В настоящее время рекламируется великое множество присадок, причём немало веществ вызывают большие сомнения в реализации тех или иных технологических решений. В большинстве случаев масла растекаются по поверхности твердого тела, что связано с большой разницей их поверхностных энергий - чем ниже поверхностная энергия твёрдого тела, тем меньше растекаются масла на его поверхности, и наоборот. Предлагается использовать смазочные материалы с применением фторида графена для решения проблемы снижения трения и износа рабочих поверхностей узлов трения, существенного уменьшения затрат на ремонт и замену вышедших из строя деталей.

Ключевые слова: графеновая смазка, фторид графена, модификация поверхности, трение, износ, штамповый инструмент, испытание.

Начало интенсивного развития химии фтора в нашей стране относится к 1940 году. Большая роль в области теории и практического создания фторорганики принадлежит таким ученым, как академик Ребиндер П.А., академик Казаков В.Я., академик Кнунянц, д.т.н. Серушкин И.Л., д.х.н. Абрамзон А.А., профессор Соколов С.В. и другие. Роль химии фтора в современной технике с ее экстремальными условиями эксплуатации трудно переоценить: фторсодержащие материалы решили многие задачи, стоящие перед космической, реактивной и авиационной техникой [1-5]. Сама по себе проблема получения смазочных материалов, способных по своим физико-химическим свойствам соответствовать высочайшим требованиям специальных отраслей новой техники, была задачей государственной важности. А требовалось «всего ничего»: обладающее стойкостью в высоко-агрессивных средах и имеющее невысокую вязкость вещество, давление насыщенного пара которого на несколько порядков ниже известных спецсмазок. И это были лишь первоочередные требования. Поисковые работы завершились получением обнадеживающих результатов. Было показано, что необходимым комплексом физико-химических свойств будут обладать алифатические пергалогенированные гетероцепные соединения с молекулярной массой 1500-2000; наиболее ценными среди них должны быть соединения, где на один гетероатом приходится от двух до восьми атомов углерода; на свойствах веществ благоприятно скажется небольшое разветвление цепи. Литературных данных по методам синтеза интересующих соединений практически не было, если не считать одного американского патента. Повторение его не представляло интереса, так как исходным сырьем была малодоступная окись гексафторпропилена, а инициирование реакции проводилось электронным ударом. Среди большого числа предварительных экспериментов наилучшие результаты были получены в опытах с гексафторпропиленом. Поэтому внимание было сосредоточено именно на этом веществе, тем более что оно обеспечивало небольшое разветвление цепи, которое было желательным. Работы в Институте химии УФАН были развернуты в трех направлениях: поиск оптимальной технологии производства перфторполиэфиров гексафторпропилена; разработка методов синтеза пергалонидполиэфиров на основе других олефинов, а также создание спецкомпозиций (в композициях нуждались точная механика, ракетная, космическая от-

расли и др. В 1975 г. вошла в строй установка непрерывного действия на 2-м опытном заводе ГИПХа. В Институте химии и ряде других научных организаций на основе перфторполиэфирных материалов было создано большое число спецкомпозиций для нужд самых различных областей техники. Диапазон их применения очень широк: повышение износостойкости поверхностей, в том числе обрабатывающего инструмента, полимеров, каучуков и резин; снижение потерь напора газа и нефти при транспортировке по газо- и нефтепроводам; снижение потерь на трение при бурении и др.

Актуальность исследования. Повышение срока службы машин и механизмов является основной задачей современного производства. Расходы на восстановление машин в результате износа огромны, причем ежегодно они увеличиваются. Удлинение срока службы машин и оборудования даже в небольшой степени равноценно вводу значительных новых производственных мощностей. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машины в несколько раз превышают ее стоимость: для автомобилей в 6 раз, для самолетов в 5 раз, для станков до 8 раз. Несмотря на то, что первые лабораторные экспериментальные образцы графена были получены относительно недавно, существует уже немало исследований по применению графена в различных областях. В основном те, кто исследует и производят графен – применяют оксид графена, компания «ПКФ Альянс» имея собственное опытно-промышленное производство графенов, разработала технологию получения и применения фторида графена, который по своим характеристикам выше, чем оксид. Фторид графена применяется «ПКФ Альянс» в производстве различного вида смазочных материалов и покрытий. Применяя уникальные высоко адгезионные и гидрофобные свойства графеновых структур (фторида графена) разработаны смазочные материалы (торговая марка «CFera») и покрытия для использования в агрессивных средах. Вследствие добавления фторида графена в смазочные материалы они приобретают свойства невымываемости, водостойкости, практически нулевой текучести, сохраняют длительное время смазывающую и водоотталкивающую способность, обладают реологическими свойствами проникать в мельчайшие полости сопряженных элементов при крайне низких температурах, что позволяет значительно снизить все виды трения в различных узлах и механизмах, работающих в сложных условиях, предотвратить образование различных видов коррозии и износа [6-11].

Материалы и методы исследования. Экспресс-оценка антифрикционных и противозносных свойств жидких смазочных сред на машине трения является перспективным направлением лабораторных испытаний материалов. Для проведения исследований антифрикционных свойств материала и оценки влияния смазки на антифрикционные свойства материала была выбрана торцевая схема трения скольжения «диск по неподвижному диску», которая представлена на рис.1, обеспечивающая испытания с начальным линейным и последующим переменным контактом. Для данной схемы разработана конструкция модуля для исследования антифрикционных свойств, целью которого является обеспечение подачи смазочной среды в зону трения. Также изготовлен и промаркирован комплект роликов для испытаний из стали ШХ15: верхний Ø50x10 мм, нижний Ø50x12 мм.

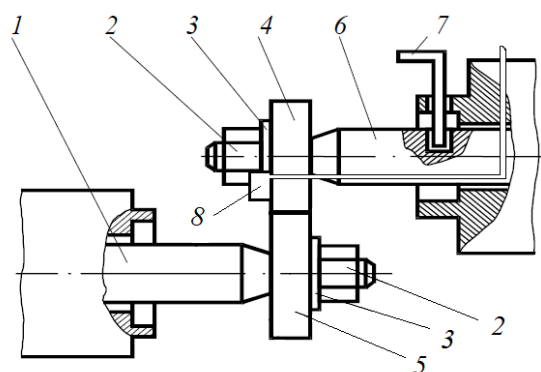


Рис.1. Схемы испытания смазочных материалов на машине трения:
 1, 6 – валы; 2 – гайка; 3 – шайба; 4, 5 – ролики; 7 – стопор; 8 – термонара

Критериями оценки смазочных свойств испытуемых материалов при трении пар вращающийся цилиндр – неподвижный цилиндр являлись: массовый износ образцов, изменение коэффициента трения и температуры в процессе испытания, площадь пятна износа верхнего

неподвижного ролика. Нагрузки задавались согласно табл.1 для первого этапа – «Приработки», после которого непрерывно следовал этап «Испытание» при повышенных оборотах вращения шпинделя машины трения.

Таблица 1

Режимы нагружения пары трения

Приработка			Испытание		
F , Н	n , об/мин	t , с	F , Н	n , об/мин	t , с
200	500	300	200	750	300

В процессе проведения испытаний в автоматическом режиме регистрировался момент трения, с учетом которого рассчитывался коэффициент трения. Экспериментальное определение коэффициента трения проводили в соответствии с последовательностью: предварительный замер диаметров валков; определение необходимой силы для проведения эксперимента; закрепление подвижного и неподвижного валка на испытательной машине; установка параметров эксперимента; нанесение смазочного материала; начало эксперимента и окончание эксперимента; получение графика коэффициента трения с испытательной машины; измерение полученной дорожки износа на валке под микроскопом; фиксация измерений. Эксперимент проводился с помощью двух валков, один из которых является неподвижным. С помощью регулировочного узла для выбора усилия - была задана прижимная сила неподвижного валка к вращающемуся валку. С помощью программного обеспечения были выставлены параметры эксперимента, например, скорость вращения (об/мин), время эксперимента. После установки необходимых параметров, производится старт эксперимента. Во время эксперимента происходит обработка полученных результатов трения по времени, за счёт вывода графического представления на монитор с возможностью отдельного сохранения. Эксперимент с подвижными валками проводился по следующему режиму: 40 об/мин в течение 1 минуты; 100 об/мин в течение 10 минут; сила прижима 3000 Н.

Результаты и их обсуждение. Полученные в результате эксперимента отпечатки были измерены на микроскопе с погрешностью $\pm 0,005$. Результаты измерений, представлены в табл.2.

Таблица 2

Результаты измерений отпечатка на неподвижном валке

Номер образца, в результате контакта с которым образовался отпечаток	Длина отпечатка l , мм	Ширина отпечатка h , мм
Ст. 1.2 № 1	3,235	0,395
Ст. 2.1 № 2	3,460	1,330
Ст. 2.3 № 3	6,255	0,635
Ст. 2.5 № 4	4,495	0,710

Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 1 представлен на рис. 2.

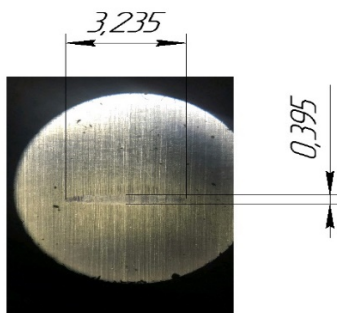


Рис. 2. Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 1

График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 1 представлен на рис.3.

Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 2 представлен на рис.4.

График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 2 представлен на рис.5.

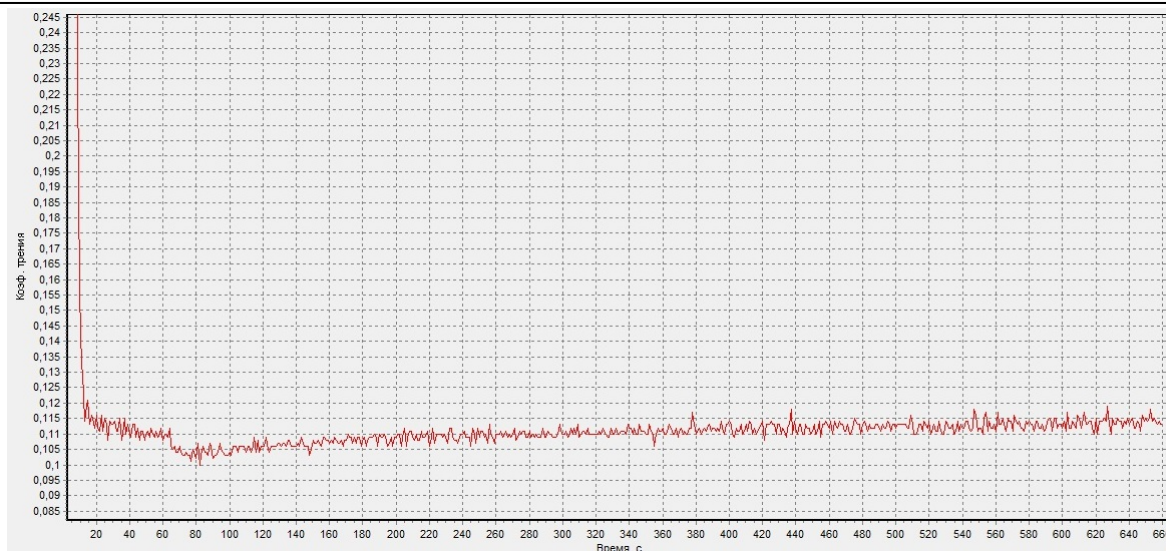


Рис. 3. График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 1

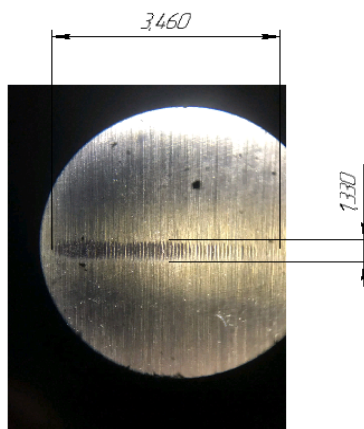


Рис. 4. Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 2

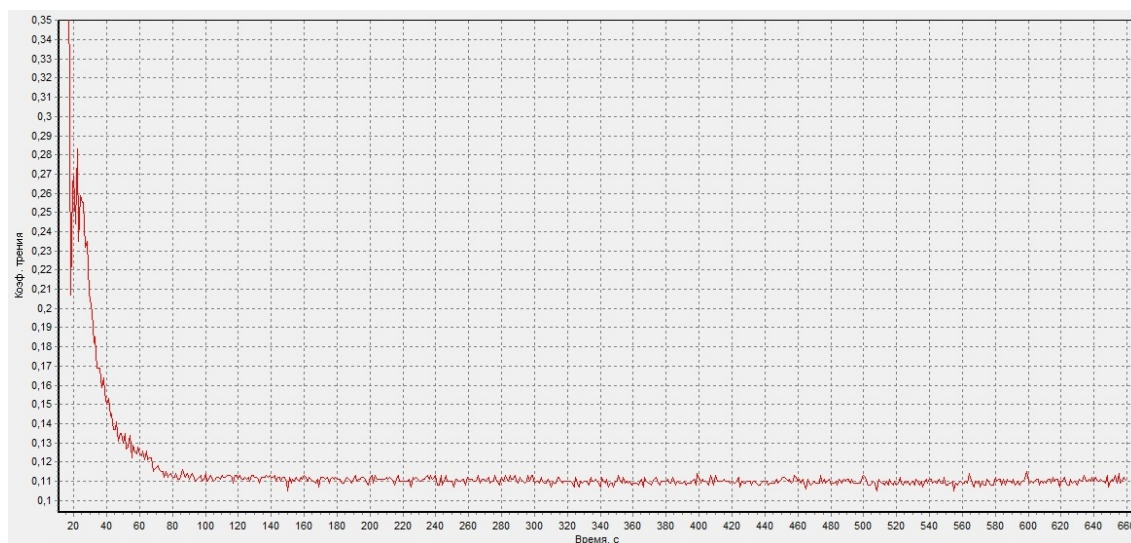


Рис. 5. График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 2

Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 3 представлен на рис.6.

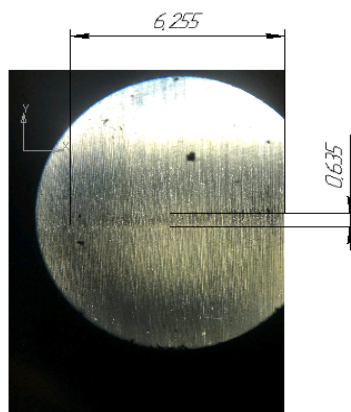


Рис. 6. Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 3

График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 3 представлен на рис.7.

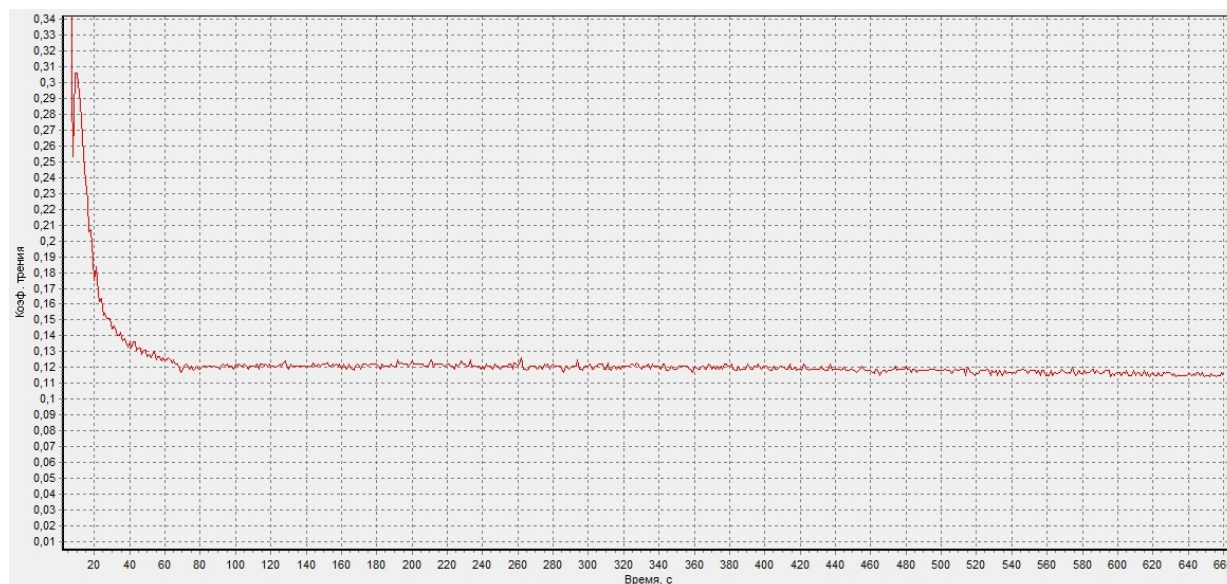


Рис. 7. График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 3

Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 4 представлен на рис. 8.

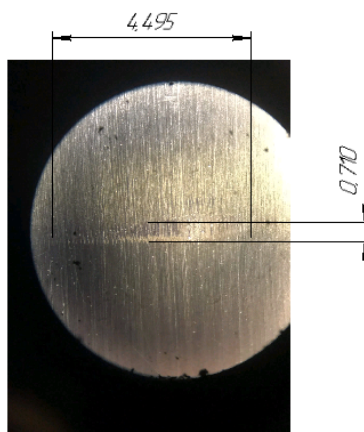


Рис. 8. Отпечаток, полученный в результате эксперимента образца под номером 4

График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 4 представлен на рис.9.

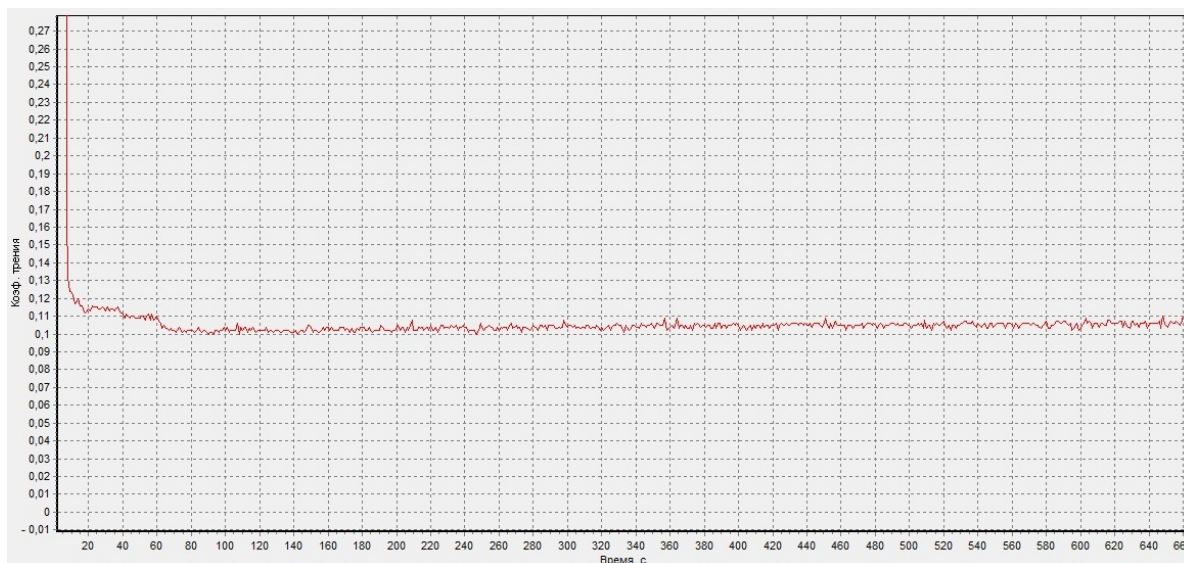


Рис. 9. График изменения коэффициента трения в результате эксперимента образца под номером 4

Результаты эксперимента представлены в табл.3.

Таблица 3

Результаты эксперимента

Порядковый номер эксперимента	Марка смазки	Материал заготовки	Нагрузка, Н	Площадь пятна S, мм ²	Средний коэффициент трения f_{cp}
1.2	Образец графеновой смазки 1	Сталь	300	1,27	0,12
2.1	КГС-01 (Ш – 900)	Сталь	300	4,60	0,11
2.3	Образец графеновой смазки 2	Сталь	300	3,97	0,125
2.5	Образец графеновой смазки 3	Сталь	300	3,19	0,11

Дополнительно исследовали характеристики смазочных материалов на «многокомпонентное обеспечение процесса трения». Сущность методики заключается в том, что основные триботехнические свойства конструкционных материалов и смазочных сред определяются за один цикл испытания. Полный цикл содержит в себе три стадии испытаний (антифрикционную, противоизносную и противозадирную). Оценка антифрикционных и противозадирных свойств материалов осуществлялась в паре трения скольжения палец - диск при ступенчатом нагружении пальца через определенное время. Противозадирные свойства оцениваются по величине нагрузки задира. Нагрузкой задира считается нагрузка, при которой качественно изменяются потери на трение, о чем судят по увеличению коэффициента трения и изменению характера трения с плавного на нестабильное (рваное). На рис.10 представлены два цикла испытания конструкционных материалов и смазочных сред.

Первый цикл характеризуется ступенчатым изменением нормальной нагрузки F на антифрикционной и противозадирной стадиях испытания. На противоизносной стадии испытания управляемые параметры остаются постоянными во времени.

Первая (антифрикционная) стадия при ступенчатом изменении управляемых параметров характеризуется величиной приращения ΔF , действующего на протяжении времени Δt . Интенсивность нагружения узла трения z назначается исследователем и определяется исходя из максимальной нагрузки F_{max} . При непрерывно изменяющихся по линейному закону управляемых параметрах определяющим является угол приращения δ , характеризующий интенсивность приращения величины. Вторая (противоизносная) стадия характеризуется постоянной величиной

ной параметров, действующих на протяжении времени $t_{из}$. Третья (противозадирная) стадия является увеличенной антифрикционной стадией, характеризующейся предельной величиной параметра нагрузки F , соответствующего режиму схватывания элементов пары трения.

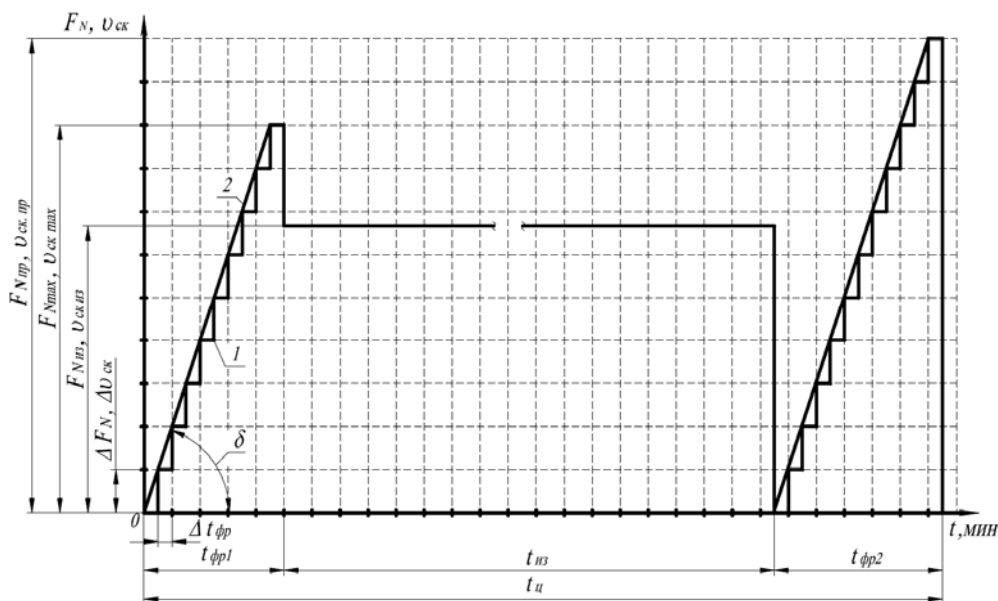


Рис. 10. Циклы статических режимов испытаний: 1 – ступенчатый закон нагружения; 2 – линейный закон нагружения

Выводы. Применение смазывающих материалов с применением фторида графена позволяет повысить износостойкость сопряженных деталей и, как следствие, улучшить динамику работы машин, станков, промышленных роботов, различного технологического оборудования, а также штампового, режущего и другого технологического инструмента. Ниже приведены основные преимущества обработанных поверхностей: резко уменьшается поверхностная энергия материала (примерно в 1 000 - 10 000 раз; для металлов: с 3 000 - 5 000 мН/м до 2 - 4 мН/м), что ведет к существенному снижению коэффициента трения и как следствие этого - к повышению износостойкости сопряженных деталей. Коэффициент трения снижается примерно в 10 раз, а момент трогания покоя в 10 000 раз по сравнению с необработанными поверхностями. Удержание смазки в зоне трения. Происходит за счет создания пограничного слоя, уменьшающего влияние поверхностной энергии твердого тела. Это свойство определяет постоянное наличие в зоне контакта (трения) смазочно-охлаждающей среды, которая, в свою очередь, способствует повышению износостойкости деталей и штампового и режущего инструмента [11-15]. Прочность удержания масла на обработанной поверхности примерно в 30 раз больше, чем у необработанной поверхности. Антиадгезионные свойства предохраняют поверхности от контактного взаимодействия на молекулярном уровне, антифрикционные свойства появляются как за счет удержания смазочной среды, так и из-за образования покрытия, обладающего низким коэффициентом трения. Предотвращение микроразрушения контактирующих поверхностей в процессе трения объясняется тем, что при обработке фторсоединениями происходит дегазация микропор, микротрещин, связывание атомарного водорода, кислорода, способствующих охрупчиванию поверхностного слоя металла, тем самым микропоры и микротрещины локализуются от потенциальной склонности концентрировать напряжение и являться центрами разрушения.

Список литературы

1. Ремшев Е.Ю., Винник П.М., Баскакова А.Е., Калугина М.С. Экспериментально-аналитическая оценка влияния условий трения на степень деформации // МНТК «Молодежь. Техника. Космос». СПб. 2016. С.32-33.
2. Кузнецов В.В., Силаев М.Ю., Яковлев С.А. Исследование влияния фторорганического покрытия высокоточной штамповки тугоплавких сплавов в приборостроении // МНТК «Молодежь. Техника. Космос». СПб. 2016. С.27.

3. Ремшев Е.Ю., Кузнецов В.В., Яковлев С.А. Исследование влияния фторорганического покрытия высокоточной штамповки тугоплавких и легких сплавов в приборостроении // Труды II международной научно-технической конференции «Пром-инжиниринг». Челябинск. 2016. С. 161-164.
4. Ремшев Е.Ю., Расулов З.Н., Винник П.М., Яковлев С.А. Исследование активного смазочного покрытия для повышения качества деталей из тугоплавких материалов // Металлообработка. 2018. №5. С. 7-13.
5. Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю., Затеруха Е.В., Лобов В.А. Разработка модифицированного штамповочного инструмента в технологии изготовления изделий из ниобия и молибдена // ОНТК Восьмые Уткинские чтения. СПб. БГТУ. С. 136-141.
6. Затеруха Е.В., Лобов В.А., Ремшев Е.Ю. Исследование технологических возможностей процесса подштамповки гильз // Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды XII общероссийской научно-практической конференции. В 3-х томах. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ"". Санкт-Петербург, 2020. С. 40-44.
7. Remshev E.Yu., Lobov V.A., Rasulov Z.N., Frolova E.O. Use of graphene-based lubricants to reduce friction inside the units of construction equipment // AIP Conference Proceedings. 1. Сер. "I International Conference ASE-I - 2021: Applied Science and Engineering, ASE-I 2021" 2021. С. 070005.
8. Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Melnyk V.I., Remshev E.Yu., Galiyev R.M., Nuretdinov D.I., Vornacheva I.V. Design of landing of assembly machine building units with circulating load rolling bearing rings // Journal of Physics: Conference Series. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021). Krasnoyarsk, 2021. С. 42004.
9. Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю. Модификации поверхности рабочего инструмента при обработке тонкостенных деталей из тугоплавких металлов // Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды четырнадцатой общероссийской научно-практической конференции. В 2-х томах. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ"". Санкт-Петербург, 2022. С. 91-95.
10. Патент на изобретение 2757334 С1. Способ изготовления полых металлических запорных элементов для шаровых кранов / Лобов В.А., Ремшев Е.Ю., Игнатенко В.В., Олехвер А.И., Смаковский М.С., Архипов Л.Н. Заявка № 2021100106 от 11.01.2021. Опубл. 13.10.2021. Бюл. № 29.
11. Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю. Особенности модификации поверхности рабочего инструмента при обработке тугоплавких металлов // Наука и творчество: вклад молодежи. Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Махачкала, 2021. С. 176-183.
12. Лобов В.А., Фролова Е.О., Горина Е.Н., Ремшев Е.Ю. Совершенствование производства шаровых пробок трубопроводной арматуры // Наука и творчество: вклад молодежи. Материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Махачкала, 2021. С. 203-205.
13. Расулов З.Н., Воробьева Г.А., Олехвер А.И., Ремшев Е.Ю. Анализ влияния остаточных напряжений на поверхности штампуемых полуфабрикатов из ниобия // Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды тринадцатой общероссийской научно-практической конференции. В 2 т.. Сер. "Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 71". Санкт-Петербург, 2021. С. 154-157.
14. Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю., Олехвер А.И., Лобов В.А. Разработка практических рекомендаций и исследование поврежденности металла в технологическом процессе изготовления корпусных деталей из ниобия с применением процесса вытяжки // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства. сборник тезисов: в 4 т. Москва, 2021. С. 143-146.
15. Расулов З.Н., Ремшев Е.Ю. Особенности модификации поверхности рабочего инструмента при обработке тугоплавких металлов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. № 3. С. 52-62.

Васильев Илья Михайлович, коммерческий директор, dom.nauki@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, ООО «ПКФ Альянс»,

Агамирова Эсмירה Эснединовна, аспирант, esmira.agamirova@yandex.ru, Россия, Махачкала, Дагестанский государственный технический университет,

Соколова Виктория Александровна, канд. техн. наук, доцент, sokolova_vika@inbox.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

Ореховская Александра Александровна, канд. сель. наук, начальник отдела, orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru, Россия, п. Майский, Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина,

Загидуллин Рамиль Равильевич, канд. техн. наук, доцент, r.r.zagidullin@mail.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет,

Киямов Ильгам Киямович, д-р экон. наук, профессор, kiyamov.ilgam@mail.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет,

Сабитов Линар Салихзанович, д-р техн. наук, доцент, lsabitov@bk.ru, Россия, Казань, Казанский федеральный университет, Казанский государственный энергетический университет

STUDY OF THE POSSIBILITIES OF APPLICATION OF LUBRICANTS BASED ON GRAPHENE FLUORIDE IN ENGINEERING AND OPERATION MACHINES AND MECHANISMS

I.M. Vasiliev, E.E. Agamirova, V.A. Sokolova, A.A. Orekhovskaya,
R.R. Zagidullin, I.K. Kiyamov, L.S. Sabitov

Along with the task of increasing the resource of machines, there is the issue of increasing the efficiency of their work during operation. It is known that more than half of the fuel consumed by cars, diesel locomotives and other types of transport is spent on overcoming the resistance created by friction in the movable joints. In textile production, about 80% of the energy consumed is spent on overcoming frictional resistance. The low efficiency of many machines is mainly due to high friction losses. The main cause of failures and failure of friction units of power plants, for example, an internal combustion engine, and their auxiliary equipment is the intense wear of the contact surfaces (friction units). To reduce wear, various antiwear, extreme pressure and other additives are introduced into lubricants. Currently, a great variety of additives are being advertised, and quite a few substances cause great doubts in the implementation of certain technological solutions. In most cases, oils spread over the surface of a solid, which is associated with a large difference in their surface energies - the lower the surface energy of a solid, the less oils spread on its surface, and vice versa. It is proposed to use lubricants with the use of graphene fluoride to solve the problem of reducing friction and wear of the working surfaces of friction units, significantly reducing the cost of repair and replacement of failed parts.

Key words: graphene lubricant, graphene fluoride, surface modification, friction, wear, punch tool, testing.

Vasiliev Ilya Mikhailovich, commercial director, dom.nauki@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, LLC «PKF Alliance»,

Agamirova Esmira Esnedinovna, postgraduate, esmira.agamirova@yandex.ru, Russia, Makhachkala, Dagestan State Technical University,

Sokolova Victoria Aleksandrovna, candidate of technical sciences, docent, sokolova_vika@inbox.ru, Russia, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,

Orekhovskaya Alexandra Aleksandrovna, candidate of agricultural sciences, head of department, orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru, Russia, Maiskiy village, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin,

Zagidullin Ramil Ravilevich, candidate of technical sciences, docent, r.r.zagidullin@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University,

Kiyamov Ilgam Kiyamovich, doctor of economics, professor, kiyamov.ilgam@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University,

Sabitov Linar Salikhzanovich, doctor of technical sciences, docent, lsabitov@bk.ru, Russia, Kazan, Kazan Federal University, Kazan State Power Engineering University

УДК 539.839; 539.38

DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-426-430

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ

К.И. Амеличева, И.К. Устинов

Проведена аналитическая работа по вязкопластическим моделям металлов и их деформации, для оценки коэффициента вязкости. Проанализирован механизм и структура определения коэффициента вязкости на основе современных научных работ при различных динамических нагрузках металлов.

Ключевые слова: коэффициент динамической вязкости металлов, деформация, диапазон, модель.

Применение вязкопластической модели [1] для количественного описания опытных данных по деформированию металлов под действием интенсивных нагрузок в настоящее время встречает трудности из-за неопределенности постоянных параметров среды: динамического предела текучести и, в особенности, динамического коэффициента вязкости μ , а различные технические подходы и методы не всегда дают искомый результат [2-4].

Насколько известно, впервые применен экспериментально- теоретический метод по определению коэффициента вязкости при одноосном ударном сжатии цилиндрических металлических образцов в работах [1-7]. Здесь с помощью пневматической установки достигалась скорость нагружения образца до 40 м/с. Приведены в [1] значения коэффициента вязкости для алюминия $\mu=29,60$ кПа•с и стали $\mu=137,30$ кПа•с при начальной скорости деформации вдоль оси удара соответственно 395,686 1/с. Отмечено [10], что коэффициент вязкости для различных сталей колеблется в пределах $\mu= 39,2 \div 137,3$ кПа•с. Например [7], для стали (ст.6), $\mu \approx 39,2$ кПа•с в диапазоне скоростей деформации 671+2930 1/с.

Наиболее детальные исследования по оценке коэффициента вязкости металлов приведены в [8-10]. Здесь экспериментально - теоретический подход основан на опытах по соударению плоских пластин в режиме сварки взрывом. В схеме несжимаемой вязкой жидкости установлена функциональная зависимость между вязкостью и смещением частиц металла в направлении точки контакта пластин, метаемые под определенным углом относительно друг друга. По данным работ [8-10], представлены средние значения коэффициента вязкости для семи металлов в диапазоне скоростей деформации метаемой пластины $10^3 \div 10^5$ 1/с. В [11] отмечается, что методология определения в [8] коэффициента μ может давать завышенные результаты.

Другой метод определения коэффициента вязкости деформируемых веществ, основанный на экспериментальном исследовании развития малых возмущений на фронте ударных волн, предложен в работе [12].

Величины коэффициентов вязкости, определенные этим методом в работах [12-14] для различных материалов (свинец, медь, алюминий, сталь, ртуть, вода и др.) при использовании одного и того же заряда взрывчатого вещества, приблизительно одинаковы и составляют величину порядка 10^3 Па•с.