

УДК 621.2.082.18

А.Д. Бреки, канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: albreki@yandex.ru)

А.Л. Диденко, канд. хим. наук, с.н.с., Институт высокомолекулярных соединений РАН
(Санкт-Петербург) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

В.В. Кудрявцев, д-р хим. наук, профессор, Институт высокомолекулярных соединений РАН
(Санкт-Петербург) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

Е.С. Васильева, канд. техн. наук, доцент, Институт высокомолекулярных соединений РАН
(Санкт-Петербург) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

О.В. Толочко, д-р техн. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: albreki@yandex.ru)

А.Г. Колмаков, д-р техн. наук, ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова» Российской Академии Наук (e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

Ю.А. Фадин, д-р техн. наук, ИПМАН РАН (Санкт-Петербург) (e-mail: fadinspb@yandex.ru)

Н.Е. Стариков, д-р техн. наук, профессор, ТулГУ (Тула) (e-mail: starikov_tai@mail.ru)

А.Е. Гвоздев, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого» (Тула)
(e-mail: technology@tspu.tula.ru)

Н.Н. Сергеев, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный педагогический
университет им. Л.Н. Толстого (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
(Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

Д.А. Провоторов, канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор, ООО НПП «Вулкан-ТМ»
(Тула) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

Триботехнические характеристики композиционных покрытий с матрицей из полигетероарилена ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама при трении скольжения в среде жидкого смазочного материала

В общем случае перспективным материалом для матриц являются термопластичные полимеры, в том числе полиимиды (полигетероарилены), которые должны удовлетворять двум условиям: форполимеры полиимида должны быть растворимы, для обеспечения равномерного распределения наполнителя в объеме создаваемой матрицы; конечное связующее должно обладать способностью к течению или образованию расплава при температурах, превышающих температуру размягчения полимера. Наиболее эффективным методом придания полиимидам нужных термопластичных свойств является их получение на основе макромолекул, имеющих линейное строение с содержанием в цепи шарнирных развязок. В данной работе использован полиимид ПМ-ДАДФЭ, который разрушается, практически не размягчаясь, и возможность формирования композиций и соответствующих полиимидных покрытий обусловлена перерабатываемостью форполимера ПМ-ДАДФЭ из раствора.

Целью настоящей работы являлись синтез и оценка триботехнических свойств композиционных покрытий с матрицей из полиимида ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама WSe_2 и WS_2 в различных концентрациях при трении в среде смазочного масла.

В качестве полимерного связующего, исходя из анализа литературных данных, был выбран линейный полиимид с шарнирными развязками ПМ-ДАДФЭ.

В результате проведенных исследований получен массив экспериментальных данных, подтверждающих эффективность используемого базового полигетероариленового покрытия «ПМ-ДАДФЭ» без наполнителей: в жестких условиях испытаний момент трения у покрытия меньше, чем у подложки на 83%, ширина лунки износа у базового покрытия на 30% меньше, чем у подложки.

Разработанные покрытия с наночастицами дисульфида вольфрама относятся к антифрикционным, при этом их использование возможно в легко нагруженных узлах трения.

Ключевые слова: твердосмазочные материалы, полиимиды, композиционные покрытия, дихалькогениды, наночастицы, трение со смазочным материалом, износ, триботехнические характеристики.

Введение

Известно, что халькогениды тугоплавких металлов, в т.ч. дихалькогениды

вольфрама обладают существенным потенциалом как антифрикционные материалы для узлов трения, предназначенных

для работы в условиях вакуума и высоких температур [1-4]. Твердосмазочные материалы на основе диселенида вольфрама (IV) WSe_2 и дисульфида вольфрама (IV) WS_2 , по сравнению с более распространенными материалами на основе молибдена, обеспечивают лучшую стабильность фрикционных характеристик при многократном изменении внешних условий по составу среды и температуре (вакуум $10^{-3} - 10^{-12}$ Па, температура от -150°C до $+450^\circ\text{C}$, воздействие различных видов излучений) [5-7]. Существенное влияние на свойства «твердых смазок» оказывает размер и форма основного наполнителя WSe_2 и WS_2 . Чем размер частиц меньше, тем более высокие характеристики могут ожидать [8, 9].

Поскольку твердосмазочные материалы часто применяются в виде поверхностных слоев или покрытий на деталях узлов трения, то возникает потребность в создании композиции на основе матрицы с сильными адгезионными свойствами и наполнителя в виде частиц WSe_2 или WS_2 .

В общем случае перспективным материалом для матриц являются термопластичные полимеры, в том числе полиимиды (полигетероарилены), которые должны удовлетворять двум условиям: 1) форполимеры полиимидов должны быть растворимы, для обеспечения равномерного распределения наполнителя в объеме создаваемой матрицы; 2) конечное связующее должно обладать способностью к течению или образованию расплава при температурах, превышающих температуру размягчения полимера. Наиболее эффективным методом придания полиимидам нужных термопластичных свойств является их получение на основе макромолекул, имеющих линейное стро-

ение с содержанием в цепи шарнирных развязок [10-14]. В нашем случае использован полиимид ПМ-ДАДФЭ, который деструктирует, практически не размягчаясь, и возможность формирования композиций и соответствующих полиимидных покрытий обусловлена перерабатываемостью форполимера ПМ-ДАДФЭ из раствора.

Целью настоящей работы являются синтез и оценка триботехнических свойств композиционных покрытий с матрицей из полиимидов ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама WSe_2 и WS_2 в различных концентрациях при трении в среде смазочного масла.

Материалы и методики исследования

В качестве полимерного связующего, исходя из анализа литературных данных, был выбран линейный полиимид с шарнирными развязками ПМ-ДАДФЭ [14] (рис. 1).

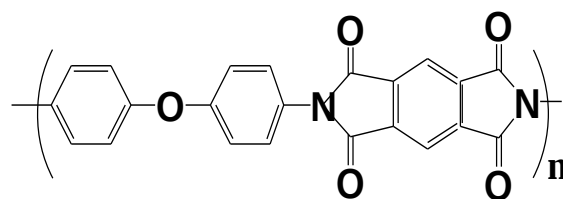


Рис. 1. Молекула линейного полиимидов с шарнирными развязками

Наполнителем служили полученные методом газовой фазы синтеза наночастицы дисульфида WS_2 и диселенида вольфрама WSe_2 (рис.2), которые хорошо зарекомендовали себя в смазочных композиционных материалах [15-21].

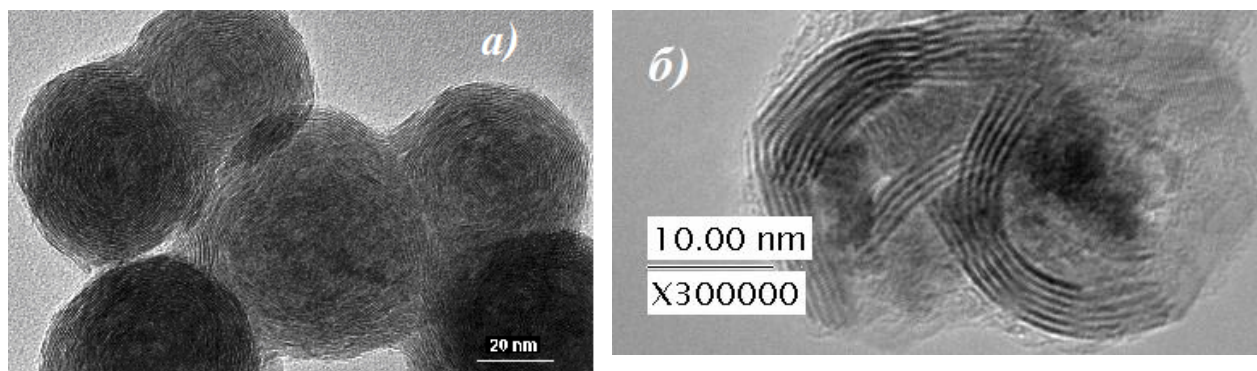


Рис. 2. Наполнители композиционных материалов: а – дисульфид вольфрама WS_2 со средним размером частиц 40нм; б – диселенид вольфрама WSe_2 со средним размером частиц 60х5нм

В качестве подложки, на которую наносились композиционные покрытия, применялись обезжиренные пластины из алюминиевого сплава АК 18 [22, 23].

Полиимид ПМ-ДАДФЭ является аналогом выпускаемого промышленностью полиимида ПМ, получаемого путем поликонденсации пиромелитового ангидрида (ПМ) и 4,4'-диаминодифенилового эфира (ДАДФЭ). Полиимид ПМ не растворим в обычных растворителях, практически не размягчим и не плавков. Синтез был осуществлен в N,N - диметилформамид (ДМФА) [24,25] и N-метил-2-пирролидоне [26, 27]. Полиимиды получали реакцией поликонденсации через две стадии [28, 29]. Ввиду нерастворимости полиимида ПМ-ДАДФЭ синтез этого полимера проводился по известной двухстадийной схеме [10]. На первой стадии получали растворимый преполимер – полиаминокислоту – путем взаимодействия ангидрида ПМ и диамина ДАДФЭ в растворе N-метилпирролидона (МП) и из полученного раствора формировали пленку преполимера. На второй стадии осуществляли отверждение полиаминокислоты в полиимид путем нагревания пленки преполимера по ступенчатому режиму до 300°C.

Поликонденсацию диангидрида ПМ и диамина ДАДФЭ проводили в трехгорлой колбе, снабженной механической мешалкой, тубусом с насадкой для ввода и вывода аргона и тубусом для загрузки растворителя и реагентов. Колбу помещали в водно-ледяную баню. К раствору 1,000 г (0,005мол) ДАДФЭ в 11,6 мл МП добавляли порциями в течение 30 мин диангидрид ПМ в количестве 1,090 г (0,005мол). Перемешивание в токе аргона продолжали в течение 4-х часов, после чего полученный раствор преполимера перерабатывали.

Для получения пленочных композиций использовали два варианта введения наноразмерных частиц WSe_2 и WS_2 .

В первом случае частицы вводились в раствор полиаминокислоты по завершении поликонденсации. В ультразвуковую ванну (УЗВ-1,3 ЗАО ПФК «Сапфир» 50Гц.) помещали колбу, содержащую 10%-ную суспензию наноразмерных частиц в МП. Содержимое колбы подвергали воздействию ультразвука (сонификации) непрерывно в течение 40 мин. Затем в колбу прибавляли по весу 15% раствор полиаминокислоты (полученного ранее раствора преполимера), в количестве, необходимом для получения после отвер-

ждения композиции с заданным содержанием частиц в % (мас): 1, 10, 20 и 40, после чего 30 мин продолжали сонификацию полученной суспензии.

При втором варианте введение наночастиц WSe_2 и WS_2 в объем полимерной композиции осуществляли, проводя поликонденсацию диангидрида ПМ и диамина ДАДФЭ в реакционной среде, содержащей взвешенные частицы, т.е. в суспензии частиц в МП. В этом случае синтез также осуществляли в трехгорлой колбе, снабженной механической мешалкой, тубусом с насадкой для ввода и вывода аргона и тубусом для загрузки растворителя и реагентов. Колбу помещали в ультразвуковую ванну, загружали расчетные количества МП и порошка наноразмерных частиц. Объем вводимого МП определялся предельной концентрацией преполимера в МП, составляющей 15% (мас), а вес вводимого наполнителя варьировался в зависимости от заданного содержания последнего в целевой полиимидной композиции. После сонификации в течение 40 мин колбу погружали в водно-ледяную баню, а к образовавшейся суспензии прибавляли расчетное количество ДАДФЭ. После полного растворения ДАДФЭ в колбу порциями в течение 30 мин прибавляли расчетное количество диангидрида ПМ и проводили перемешивание в токе аргона в течение 4 ч.

Покрывают полиимидных композиций толщиной 40 мкм формировали методом полива суспензий на подложки с последующей сушкой и подогревом по ступенчатому режиму: $80^{\circ}C$ в течение 12 часов, затем по 1 ч при $100^{\circ}C$, $200^{\circ}C$ и $300^{\circ}C$. В целях сравнения получали также не содержащие наполнителя покрытия полии-

мида ПМ-ДАДФЭ методом полива из раствора исходной полиамидокислоты.

Для оценки трения и изнашивания исследуемых полимерных покрытий была использована машина трения 2070 СМТ-1 (аналог машины трения ИИ5018). Для реализации данного исследования в условиях скольжения поверхностей использовалась схема испытаний «прямоугольный образец – ролик», удобная для осуществления экспресс-оценки трения и износа полимерных покрытий. Подвижный образец состоял из стали Р6АМ5, неподвижный (прямоугольный брусок) – из алюминиевого сплава АК18 с нанесенным на него полимерным покрытием. Трущиеся образцы приводились в контактное взаимодействие в процессе вращения подвижного образца. Смазка маслом М14 реализовывалась картерным способом (окунанием подвижного ролика в ванну). Контактное взаимодействие подвижного и неподвижного образцов реализовывалось с нормальной силой $W=250H=const$. Частота вращения подвижного образца составляла $n = 300 об/мин = const$. Диаметр ролика составлял $d_p = 50 мм$. Размеры прямоугольного контртела с покрытием $20 \times 10 \times 5$. Время одного испытания в условиях выбранных параметров составляло $t_{ис} = 120 с$.

Результаты и их обсуждение

Зависимости трения и износа от концентрации наноструктур из частиц дисульфида вольфрама в полигетероарилена ПМ-ДАДФЭ, нанесенном на алюминиевый сплав, при трении скольжения в среде жидкого смазочного масла марки М-14 по стальной поверхности приведены на рис.3.

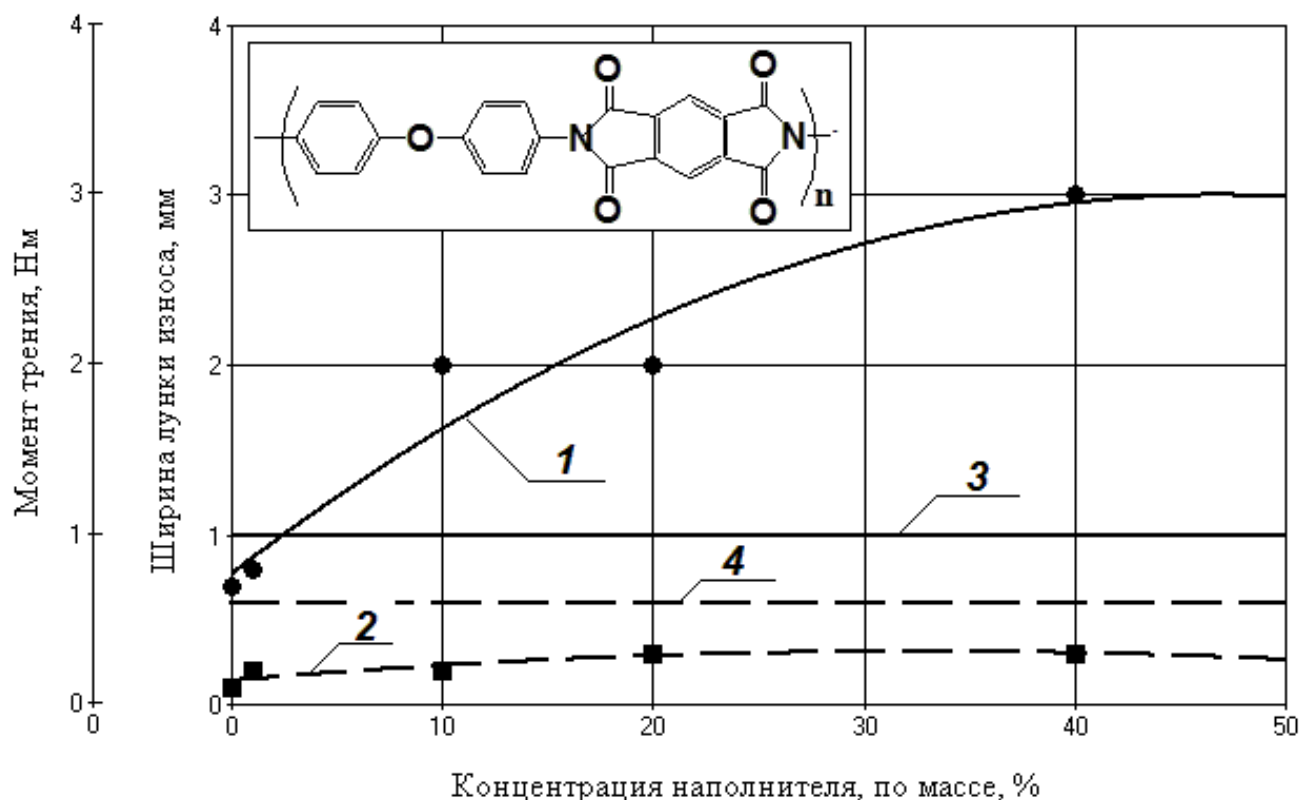


Рис.3. Зависимости фрикционных характеристик композита на основе ПМ-ДАДФЭ от концентрации WS_2 (трение в среде масла): 1 – зависимость ширины лунки износа; 2 – зависимость момента трения от концентрации; 3, 4 – ширина лунки износа и момент трения подложки

В результате проведённых испытаний (в жёстких условиях) получены следующие данные по фрикционным характеристикам покрытий относительно подложки:

- итоговый износ образца с базовым покрытием ПМ-ДАДФЭ (без наполнителя) на 30% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ был на 83% меньше, чем в паре сталь – подложка;

- итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +1% WS_2 на 20% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +1% WS_2 был на 67% (в 3 раза) меньше, чем в паре сталь – подложка;

- итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +10% WS_2 в 2 раза больше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +10% WS_2 был на 67% (в 3 раза) меньше, чем в паре сталь – подложка;

- итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +20% WS_2 в 2 раза больше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +20% WS_2 был на 50% меньше, чем в паре сталь – подложка;

- итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +40% WS_2 в 3 раза больше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-

ДАДФЭ +40%WS₂ был на 50% меньше, чем в паре сталь – подложка.

Зависимости трения и износа от концентрации наноструктур из частиц диселенида вольфрама в полигетероариле

ПМ-ДАДФЭ, нанесённом на алюминиевый сплав, при трении скольжения в среде жидкого смазочного материала марки М-14 по стальной поверхности приведены на рис.4.

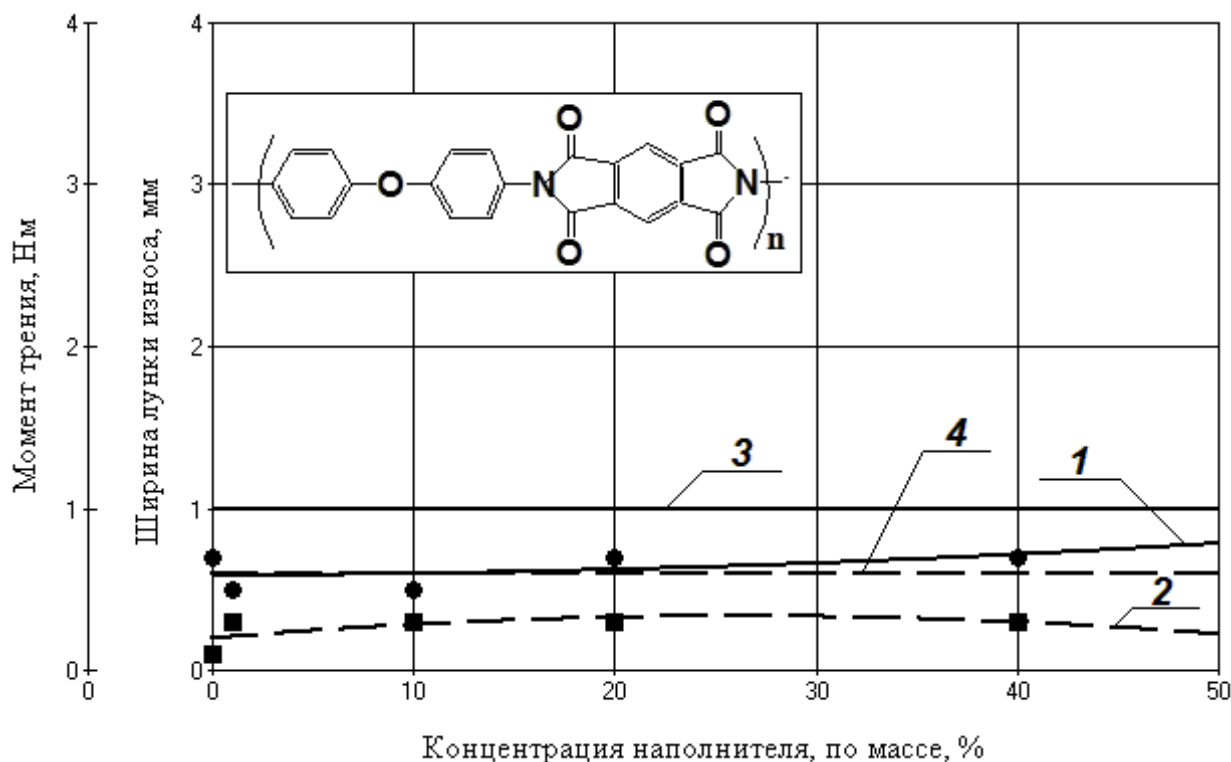


Рис.4. Зависимости фрикционных характеристик композита на основе ПМ-ДАДФЭ от концентрации WSe₂ (трение в среде масла): 1 – зависимость ширины лунки износа; 2 – зависимость момента трения от концентрации; 3, 4 – ширина лунки износа и момент трения подложки

В результате испытаний установлено, что характеристики трения и износа у полученных покрытий получаются меньше, чем при фрикционном взаимодействии подложки со стальной поверхностью в среде масла М14:

– итоговый износ образца с базовым покрытием ПМ-ДАДФЭ (без наполнителя) на 30% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ был на 83% меньше, чем в паре сталь – подложка;

– итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +1%WSe₂ на 50% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +1%WSe₂ был на 50% (в 2 раза) меньше, чем в паре сталь – подложка;

– итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +10%WSe₂ на 50% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +10%WSe₂ был на 50% (в 2 раза) меньше, чем в паре сталь – подложка;

– итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +20%WSe₂ на 30% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +20%WSe₂ был на 50% меньше, чем в паре сталь – подложка;

– итоговый износ образца с покрытием ПМ-ДАДФЭ +40%WSe₂ на 30% меньше, чем износ подложки. При этом за указанное время изнашивания, момент трения в паре сталь – покрытие ПМ-ДАДФЭ +40%WSe₂ был на 50% меньше, чем в паре сталь – подложка.

Данные покрытия можно относить как к противоизносным, так и к антифрикционным.

Выводы

На основе полученных результатов лабораторных исследований триботехнических свойств композиционных покрытий с полиимидной матрицей «ПМ-ДАДФЭ» и наполнителем из наночастиц дихалькогенидов вольфрама в режиме трения скольжения в среде смазочного масла можно сделать следующие основные выводы:

1. В результате проведённых исследований получен массив экспериментальных данных, подтверждающих эффективность используемого базового полигетероарилевого покрытия «ПМ-ДАДФЭ» без наполнителей: в жестких условиях испытаний момент трения у покрытия меньше, чем у подложки на 83%, ширина лунки износа у базового покрытия на 30% меньше, чем у подложки.

2. Разработанные покрытия с наночастицами дисульфида вольфрама относятся к антифрикционным, при этом их ис-

пользование возможно в легко нагруженных узлах трения.

3. Чистое полигетероарилевоое покрытие «ПМ-ДАДФЭ» показало хорошие результаты по износу и трению, причём с увеличением концентрации наноструктур дисульфида вольфрама данные показатели снижаются (относительно износа достаточно резко), что говорит о возможности использования данного наполнителя в выбранной дисперсионной среде лишь в небольших концентрациях.

4. При концентрации наноструктур диселенида вольфрама 1-10% у полученных композиционных покрытий наблюдались лучшие противоизносные свойства, чем у базового покрытия. С дальнейшим ростом концентрации противоизносные свойства базового и композиционных покрытий идентичны. Покрытия с наночастицами дают в 2 раза меньший момент трения относительно подложки, но уступают в антифрикционных свойствах базовому покрытию на всём диапазоне концентраций.

5. В данных условиях лабораторных триботехнических испытаний сохранялись исходные свойства полимера и не происходила его деструкция за короткие интервалы испытаний, которая происходит в процессе длительной эксплуатации. Можно полагать, что действие наноструктур дихалькогенидов вольфрама будет проявляться более существенно по мере интенсификации деструкции полимера и постепенного ухудшения изначально заложенных в него свойств.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследо-

ваний и поисковых научных исследований по приоритетным тематическим направлениям исследований» научному проекту: "Формирование беспористых покрытий из нанокмпозиционных материалов типа «износостойкая матрица - наночастицы дисульфида молибдена (вольфрама)», обладающих низким коэффициентом трения, методом химического осаждения из газовой фазы", № 15-13-00045.

Список литературы

1. Химическая энциклопедия / редкол. И.Л. Кнунянц [и др.]. - М.: Советская энциклопедия, 1988. - Т. 1. - 623 с.
2. Справочник химика / редкол.: Б.П. Никольский [и др.]. - 2-е изд., испр. — М.-Л.: Химия, 1966. — Т. 1. — 1072 с.
3. Справочник химика / редкол.: Б.П. Никольский [и др.]. - 3-е изд., испр. — Л.: Химия, 1971. — Т. 2. — 1168 с.
4. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. Химия металлов. — М.: Мир, 1972. — Т. 2. — 871 с.
5. Марченко Е.А., Лобова Т.А. Использование диселенидов тугоплавких металлов для обеспечения стабильности работы узлов трения // Вестник научно-технического развития. — 2009. — № 5(21). — С.16-21.
6. Лобова Т.А., Марченко Е.А. Самосмазывающиеся покрытия для узлов трения космических аппаратов // Вестник машиностроения. — 2004. — №11. — С.35-38.
7. Новые смазочные композиции с добавками порошков молибдена и вольфрама / Т.А. Лобова, М.В. Лобанов, И.П. Чулков, О.А. Саяпин // Вестник машиностроения. — 2004. — №7. — С.40-44.
8. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, М.Л. Хейфец, С.А. Чижик, К.А. Солнцев, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, С.М. Баринов; под общ. ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева.— Минск: Беларус. навука, 2011. —283с.
9. Колмаков А.Г., Баринов С.М., Алымов М.И. Основы технологий и применение наноматериалов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 208 с.
10. Полиимиды — класс термостойких полимеров / М.И. Бессонов, М. М. Котон, В. В. Кудрявцев, Л. А. Лайус. — Л.: Наука, 1983. — 328 с.
11. St. Clair A.K., St. Clair T.L. // SAMPE Quart. — 1981. — October. — P. 20.
12. Bell V.L., Stump B.L., Gager H. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. — 1975. — V. 14. — P. 2275.
13. Sroog C.E. // Prog. Polym. Sci. — 1991. — V. 16. — P. 561.
14. Светличный В.М., Кудрявцев В.В. Полиимиды и проблема создания современных конструкционных композиционных материалов // Высокомолекулярные соединения. — 2003. — Т.45. — №6. — С. 47 - 51.
15. Исследование модернизированных конструкционных смазочных материалов, содержащих мелкодисперсные частицы модификаторов трения / А.Д. Бреки, С.Г. Чулкин, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, М.Ю. Максимов; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Машиностроение. — 2010. — 2-2(100). — С. 92 – 97.
16. Определение основных трибологических характеристик жидких смазочных композиций, содержащих мелкодисперсные частицы диалкогенидов вольфрама / О.В. Толочко, А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, М.Ю. Максимов // Во-

просы материаловедения. – 2011. – №1(65). – С.143–149.

17. Vasilyeva E. S., Tolochko O. V., Kim B.-K., Lee D.-W., Kim D. Synthesis of Tungsten Disulphide Nanoparticles by Chemical Vapor Condensation Method // Microelectronic Journal. – 2009. – Vol.40, № 4-5. – Pp. 687-691.

18. Исследование нагрузочной способности смазочных композиций с наночастицами WS₂ и WSe₂ для железнодорожных втулок / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, М.Ю. Максимов, С.Г. Чулкин // Вопросы материаловедения. – 2012. – №2(70). – С.109–149.

19. Жидкие смазочные композиционные материалы, содержащие высокодисперсные наполнители, для подшипниковых узлов управляемых систем / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 144с.

20. Триботехнические свойства жидких смазочных композиционных материалов, содержащих полученные методом газофазного синтеза высокодисперсные дисульфид и диселенид вольфрама / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 152 с.

21. Синтез кристаллизацией сплавов композиционных материалов с наноструктурными добавками / Л.К. Болотова, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева, А.Г. Колмаков, В.В. Ковалевский, П.А. Витязь, В.Т. Сенють, М.Л. Хейфец // Порошковая металлургия: сб. науч. трудов: (Рецензируемое периодическое издание из перечня ВАК Беларуси). – Минск: Беларуская навука, 2014. – Вып. 37. – С.56-58.

22. Химическая энциклопедия / под ред. И. Л. Кнунянца — М.: Советская энциклопедия..1988. – 623 с.

23. Борщенко В.П., Махиянов Г.Ф. Пиромеллитовый диангидрид, получение и применение. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1974. – 120 с.

24. Якушкин М. И., Котов В. И. Справочник нефтехимика / под ред. С. К. Огородникова. — Л., 1978. — Т. 2. — С. 295—297.

25. Гордон А., Форд Р. Спутник химика / пер. с англ. Е. Л. Розенберга, С. И. Коппель. — М.: Мир, 1976. — 544 с.

26. Dean J.A. Lange's handbook of chemistry. – 1999. – С. 1.278.

27. Гайле А.А., Залищевский Г.Д. "N-метилпирролидон". – СПб.: Химиздат, 2005. – 704 с.

28. Энциклопедия полимеров. – Т. 1-2. – М., 1972. – С. 74.

29. Методы испытаний на трение и износ / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с.

30. Оценка триботехнических свойств композиционных покрытий на основе полигетероарилена «ПМ-ДАДФЭ» с наполнителем из наночастиц дисульфида вольфрама при трении в среде смазочного масла / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, А.Е. Гвоздев, Д.А. Провоторов, Н.Е. Стариков, А.Н. Сергеев, Д.В. Малий // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – № 6 (63). – С. 54–60.

Получено 16.02.2016

A. D. Breki, Candidate of Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: albreki@yandex.ru)

A.L. Didenko, Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer, Institute of Macromolecular Compounds RAS (St. Petersburg) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

V.V. Kudryavtsev, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Macromolecular Compounds RAS (St. Petersburg) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

E.S. Vasilyeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Institute of Macromolecular Compounds RAS (St. Petersburg) (e-mail: vanilin72@yandex.ru)

O.V. Tolochko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great (e-mail: albreki@yandex.ru)

A.G. Kolmakov, Doctor of Engineering Science, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Metallurgy and Materials Science A. A. Baykov of the Russian Academy of Sciences (e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

Yu. A. Fadin, Doctor of Engineering Sciences, IPMASH RAS (St. Petersburg) (e-mail: fadinspb@yandex.ru)

N.E. Starikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State University (e-mail: starikov_tai@mail.ru)

A.E. Gvozdev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula) (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

A.N. Sergeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula) (e-mail: ansergueev@mail.ru)

E.V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

D.A. Provotorov, Candidate of Engineering Sciences, Leading Design Engineer, SME «Vulkan-TM» (Tula) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF TUNGSTEN DICHALCOGENIDES REINFORCED POLYHETEROARYLENE PM-DADPHE MATRIX COMPOSITE COATINGS UNDER SLIDING FRICTION IN LIQUID LUBRICANTS

In general, a promising material for matrices are thermoplastic polymers, including polyimides (poligeteroarilena), which must satisfy two conditions: polyimide prepolymers must be soluble to ensure even distribution of the filler in the volume of the generated matrix; end binder should have the ability to flow or melt at temperatures exceeding the softening point of the polymer. The most effective way of obtaining the desired thermoplastic properties for polyimides is to make them on the basis of macromolecules having a linear structure containing hinged junctions in the chain. This paper presents a polyimide PM-DADFE that is destructive almost without softening. The possibility of forming the compositions and the respective polyimide coatings is determined by processing properties of prepolymer PM-DADFE from the solution.

The goal of this work is to study and evaluate the tribological properties of composite coatings with a matrix from polyimide PM-DADFE and the fillers of chalcogenides nanoparticles of tungsten WSe₂ and WS₂ in various concentrations by friction in the environment of lubricating oil.

Based on the analysis of literature, as a polymer binder, there was chosen a linear polyimide PM-DADFE with hinged junctions.

As a result of the present research, there were obtained experimental data confirming the effectiveness of the underlying poligeteroarilena cover "PM-DADFE" without fillers: in tougher test conditions frictional torque for the coating is less than that of the substrate by 83%, crater wear width for the base coating is less by 30% than that of the substrate.

Developed coatings with nanoparticles of tungsten disulphide belong to the anti-frictional. Thus, their use is possible in lightly loaded friction units.

Key words: solid lubricant materials, polyimides, composite coatings, dichalcogenides, nanoparticles, friction with lubricants, wear, tribological properties.

References

1. Himicheskaja jenciklopedija / redkol. I.L. Knunjanc [i dr.]. - M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1988. - T. 1. - 623 s.
2. Spravochnik himika / redkol.: B.P. Nikol'skij [i dr.]. -2-e izd., ispr. — M.-L.: Himija, 1966. — T. 1. — 1072 s.
3. Spravochnik himika / redkol.: B.P. Nikol'skij [i dr.]. - 3-e izd., ispr. — L.: Himija, 1971. — T. 2. — 1168 s.
4. Ripan R., Chetjanu I. Neorganicheskaja himija. Himija metallov. — M.: Mir, 1972. — T. 2. — 871 s.
5. Marchenko E.A., Lobova T.A. Ispol'zovanie diselenidov tugoplavkih metallov dlja obespechenija stabil'nosti raboty uzlov trenija // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitija. — 2009. — № 5(21). — S.16-21.
6. Lobova T.A., Marchenko E.A. Samosmazyvajushhiesja pokrytija dlja uzlov trenija kosmicheskikh apparatov // Vestnik mashinostroenija. — 2004. — №11. — S.35-38.
7. Novye smazochnye kompozicii s dobavkami poroshkov molibdena i vol'frama / T.A. Lobova, M.V. Lobanov, I.P. Chulkov, O.A. Sajapin // Vestnik mashinostroenija. — 2004. — №7. — S.40-44.
8. Tehnologii konstrukcionnyh nanostrukturnykh materialov i pokrytij / P.A. Vitjaz', A.F. Il'jushhenko, M.L. Hejfec, C.A. Chizhik, K.A. Solncev, A.G. Kolmakov, M.I. Alymov, S.M. Barinov; pod obshh. red. P.A. Vitjazja i K.A. Solnceva. — Minsk: Belarus. navuka, 2011. — 283s.
9. Kolmakov A.G., Barinov S.M., Alymov M.I. Osnovy tehnologij i primenenie nanomaterialov. — M.: FIZMATLIT, 2013. — 208 s.
10. Poliimidy — klass termostojkikh polimerov / M.I. Bessonov, M. M. Koton, V. V. Kudrjavcev, L. A. Lajus. — L.: Nauka, 1983. — 328 s.
11. St. Clair A.K., St. Clair T.L. // SAMPE Quart. — 1981. — October. — P. 20.
12. Bell V.L., Stump B.L., Gager H. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed. — 1975. — V. 14. — P. 2275.
13. Sroog C.E. // Prog. Polym. Sci. — 1991. — V. 16. — P. 561.
14. Svetlichnyj V.M., Kudrjavcev V.V. Poliimidy i problema sozdaniya sovremennykh konstrukcionnykh kompozicionnykh materialov // Vysokomolekuljarnye soedinenija. — 2003. — T.45. — №6. — S. 47 - 51.
15. Issledovanie modernizirovannykh konstrukcionnykh smazochnykh materialov, sodержashhih melkodispersnye chasticy modifikatorov trenija / A.D. Breki, S.G. Chulkin, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, M.Ju. Maksimov; Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ser.: Mashinostroenie. — 2010. — 2-2(100). — S. 92 — 97.
16. Opredelenie osnovnykh tribologicheskikh harakteristik zhidkikh smazochnykh kompozicij, sodержashhih melkodispersnye chasticy dihal'kogenidov vol'frama / O.V. Tolochko, A.D. Breki, E.S. Vasil'eva, M.Ju. Maksimov // Voprosy materialovedenija. — 2011. — №1(65). — S.143–149.
17. Vasilyeva E. S., Tolochko O. V., Kim B.-K., Lee D.-W., Kim D. Synthesis of Tungsten Disulphide Nanoparticles by Chemical Vapor Condensation Method // Microelectronic Journal. — 2009. — Vol.40, № 4-5. — Pp. 687-691.
18. Issledovanie nagruzochnoj sposobnosti smazochnykh kompozicij s nanochasticami WS₂ i WSe₂ dlja zheleznodorozhnykh vtulok / A.D. Breki, E.S. Vasil'eva, M.Ju. Maksimov, S.G. Chulkin // Voprosy materialovedenija. — 2012. — №2(70). — S.109–149.
19. Zhidkie smazochnye kompozicionnye materialy, sodержashhie vysokodispersnye napolniteli, dlja podshipnikovyykh uzlov upravljaemykh sistem / A.D. Breki, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, N.N. Sergeev, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov. — Tula: Izd-vo TulGU, 2014. — 144s.

20. Tribotekhnicheskie svoystva zhidkikh smazochnykh kompozicionnykh materialov, sodержashhih poluchennye metodom gazofaznogo sinteza vysokodispersnye disul'fid i diselenid vol'frama / A.D. Breki, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, N.N. Sergeev, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov – Tula: Izd-vo TulGU, 2014. – 152s.

21. Sintez kristallizaciej splavov kompozicionnykh materialov s nanostруктурными добавками / L.K. Bolotova, I.E. Kalashnikov, L.I. Kobeleva, A.G. Kolmakov, V.V. Kovalevskij, P.A. Vitjaz', V.T. Senjut', M.L. Hejfec // Poroshkovaja metallurgija: sb. nauch. trudov: (Recenziruемое periodicheskoe izdanie iz perechnja VAK Belarusi). – Minsk: Belaruskaja navuka, 2014. – Vyp. 37. – S.56-58.

22. Himicheskaja jenciklopedija / pod red. I. L. Knunjanca — M.: Sovetskaja jenciklopedija..1988. – 623 s.

23. Borshhenko V.P., Mahijanov G.F. Piromellitovyj diangidrid, poluchenie i primenenie. – M.: CNIITJeneftehim, 1974. – 120 c.

24. Jakushkin M. I., Kotov V. I. Spravochnik neftehimika / pod red. S. K.

Ogorodnikova. — L., 1978. — T. 2. — S. 295—297.

25. Gordon A., Ford R. Sputnik himika / per. s angl. E. L. Rozenberga, S. I. Koppel'. — M.: Mir, 1976. — 544 s.

26. Dean J.A. Lange's handbook of chemistry. - 1999. - S. 1.278.

27. Gajle A.A., Zalishhevskij G.D. "N-metilpirrolidon". - SPb.: Himizdat, 2005. – 704 s.

28. Jenciklopedija polimerov. – T. 1-2. – M., 1972. – S. 74.

29. Metody ispytaniy na trenie i iznos / L.I. Kuksenova, V.G. Lapteva, A.G. Kolmakov, L.M. Rybakova. – M.: Internet Inzhiniring, 2001. – 152 s.

30. Ocenka tribotekhnicheskikh svoystv kompozicionnykh pokrytij na osnove poligeteroarilena «PM-DADFJe» s napolnitelem iz nanochastic disul'fida vol'frama pri trenii v srede smazochnogo masla / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, A.E. Gvozdev, D.A. Provotorov, N.E. Starikov, A.N. Sergeev, D.V. Malij // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universita. – 2015. – № 6 (63). – S. 54–60.

УДК 332.834.2

И.А. Данилкин, зам. начальника экспертно-криминалистического центра, Главное управление МВД России по г. Москве (e-mail: osun_kaf@mgisu.ru)

ХАРАКТЕРНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ КАК СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Отрасль строительного производства находится на одной из лидирующих позиций на российском рынке и способствует развитию абсолютно каждой отрасли народного хозяйства страны. Модернизируются технологии строительного производства, машины, механизмы, оборудование, повышается качество материалов, увеличивается разнообразие объектов строительства. За два последних десятилетия произошло стремительное и существенное усложнение объектов строительного производства, на которое значительное влияние оказало разработка новых эффективных технологических процессов, их комплексная механизация и автоматизация.

Многообразие объектов строительства и условий их формирования обусловило многообразие организационных форм строительного производства, организационных структур предприятий стройиндустрии, экономико-финансовых критериев их функционирования, механизмов планирования и управления процессом строительства. Сфера строительного производства по числу и характеру взаимосвязей предприятий и используемых средств и резервов, по отличительным отраслевым, территориальным и программно-целевым признакам приобрела вид огромного собирательного комплекса отраслей.

Современное состояние российских строительных организаций отражает значительное отклонение их от модели конкурентоспособного предприятия рыночного типа. В данной связи, становится