

модействие отдельных дислокаций с точечными дефектами. Данные результаты свидетельствуют о значительном вкладе ударных волн, создаваемых при облучении материала, в перенос вещества на глубинах, превышающих пробеги ускоренных ионов.

Литература.

1. Шаркеев Ю.П., Колупаева С.Н., Гирсова Н.В. Эффект дальнего действия в металлах при ионной имплантации // *Металлы*. 1998. №1. С.109-115.
2. Алалыкин А.С., Крылов П.Н., Федотова И.В., Федотов А.Б. Влияние обработки ионами Ag низких энергий на характеристики рабочей и тыльной сторон подложки монокристаллического GaAs // *Физика и техника полупроводников*. 2003. Т.37. Вып.4. С.465-468.
3. Апарина Н.П., Гусева М.И., Колбасов Б.Н., Коршунов С.Н., Мансурова А.Н., Мартыненко Ю.В., Боровицкая И.В., Иванов Л.И. Некоторые аспекты эффекта дальнего действия // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез*. 2007. №3. С.18-27.
4. Боровицкая И.В., Дедюрин А.И., Иванов Л.И., Крохин О.Н., Никулин В.Я., Петров В.С., Тихомиров А.А. Изменение объемных свойств ванадия под воздействием высокотемпературной плотной импульсной дейтериевой плазмы // *Перспективные материалы*. 2004. № 2. С. 44-48.
5. Мартыненко Ю.В., Московкин П.Г. Эффект дальнего действия и перенос энергии в твердых телах при ионной бомбардировке // *Неорганические материалы*. 1998. Т. 34. № 9. С. 1142 – 1144.
6. Калиниченко А.И., Стрельницкий В.Е. Упругие волны, возбуждаемые при ионной имплантации, и их влияние на процессы в облучаемом материале // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (88)*. 2005. №5. С. 159-163.
7. Овчинников В.В. Радиационно-динамические эффекты. Возможности формирования уникальных структурных состояний и свойств конденсированных сред // *Успехи физических наук*. 2008. Т.178. №9. С.991-1001.
8. XMD – Molecular Dynamics for Metals and Ceramics // [Electronic resource]. Mode of Access: <http://xmd.sourceforge.net/about.html>.
9. Johnson R.A. Analytic nearest-neighbor model for FCC metals // *Physical Review B*. 1988. V.37. №8. P.3924-3931.
10. Andersen H.C. Molecular dynamics simulations at constant pressure and/or temperature // *Journal of Chemical Physics*. 1980. V.72. №4. P.2384-2394.
11. Osetsky Yu. N., Bacon D.J. An atomic-level model for studying the dynamics of edge dislocations in metals // *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 2003. V.11. №4. P.427-447.
12. Zhukov V.P., Boldin A.A. Elastic-wave generation in the evolution of displacement peaks // *Atomic Energy*. 1987. V.68. P.884-889.
13. Chudinov V.G., Cotterill R.M.J., Andreev V.V. Kinetics of the diffuse processes within a cascade region in the sub-threshold stages of F.C.C. and H.C.P. Metals // *Physica Status Solidi (a)*. 1990. V.122. №1. P.111-120.
14. Гарбер Р.И., Федоренко А.И. Фокусировка атомных столкновений в кристаллах // *Успехи физических наук*. 1964. Т.83. Вып.3. С.385-432.
15. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Смирнова М.В., Коваленко В.В., Захаров П.В. Влияние ударных послекаскадных волн на динамику краевой дислокации // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2014. Т.11. №4. С.461-469.
16. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

НгуенСуан Тьук^{2,}, асп., С.В. Панин^{1,2}, д.н.т., проф., Л.А. Корниенко¹, к.ф.-м.н.*

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, 634021, г. Томск

²НИИ Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск

E-mail: nxthuc1986@gmail.com*

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает приемлемыми для полимеров характеристиками прочности, в то время как низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и химическая стойкость в агрессивных средах, высокая ударная вязкость, низкая температура хрупкости обеспечивают возможность его широкого применения в различных областях техники и условиях эксплуатации [1-3]. Использование композиционных материалов на основе СВМПЭ позволяет кратко

повысить сопротивление изнашиванию металлополимерных трибосопряжений. В последнее время активно разрабатываются микро- и нанокомпозиты на основе СВМПЭ [4-8]. Однако механизмы высокой износостойкости композиций на основе сверхвысокомолекулярной матрицы остаются не до конца выясненными [6]. В частности, дискуссионным является вопрос влияния параметров формирующейся в микрокомпозитах надмолекулярной структуры на сопротивление изнашиванию. Кроме того, определенная дискуссия остается по вопросу формирования пленки переноса, ее параметров и деградации во времени [9].

При обсуждении механизмов повышения износостойкости композитов на основе СВМПЭ при сухом трении скольжения традиционно выделяют три аспекта. Во-первых, отсутствие межфазного взаимодействия между полимерной матрицей и частицами наполнителя, которые оказываются «запрессованными» в первой, что при трибонагрузке определяет эффективное поглощение энергии без разрушения композита. Во-вторых, влияние частиц наполнителя на изменение размера и формы, например, сферолитов, что, как правило, сопровождается заметным снижением механических свойств, но может не приводить к снижению сопротивления изнашиванию. В-третьих, взаимодействие поверхности стального контртела с полимерной матрицей и выступающими над ее поверхностью частицами наполнителя.

Введение дисперсного графита в качестве твердосмазочной добавки в масла либо антифрикционные покрытия (например, на основе порошковых красок) является эффективным и распространенным в промышленности приемом. Однако известно достаточно мало работ, посвященных сопоставительному сравнению влияния порошков графита в качестве наполнителей для СВМПЭ.

Методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5-15 мкм, каллоидный графит С-1(Ø 1-4 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200°С со скоростью последующего охлаждения 5°С/мин. Перемешивание порошков полимерной смеси СВМПЭ и наполнителей С проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне.

Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке на образец 68,8 Н и скорости вращения вала 100 об/мин в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1 (скорость скольжения при этом составляет 0,32 м/сек). Размер образцов равнялся В×Ш×Д=7×7×10 мм. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo NewView 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «RhinoCeros 3.0» путем ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчета ее площади.

Испытания на абразивный износ проводили на машине для испытаний резины на истираемость МИ-2. Сопротивление изнашиванию оценивали при нагрузке 0,15 МПа и скорости скольжения вала относительно пары образцов 17,0 м/мин. Использовали частицы закрепленного абразива Р 240 (на бумажной основе) с размером зерна 58,5 мкм (ГОСТ 426). Объемный абразивный износ определяли взвешиванием образцов с последующим вычислением потери массы через каждые 5 минут. Методика тестирования соответствовала требованиям ASTM G99 и DIN 50324. Триботехнические характеристики оценивали усреднением по четырем образцам.

Структурные исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте. Механические характеристики определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки при количестве образцов одного типа не менее 5 (ГОСТ 11262-80).

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены трибомеханические характеристики СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес.% С. Из таблицы следует, что твердость по Шору D композиций СВМПЭ+n вес.% С несколько возрастает по сравнению с чистым СВМПЭ. Предел текучести увеличивается незначительно, а предел прочности уменьшается. При наполнении полимера графитом возрастают плотность и величина удлинения до разрушения, а коэффициент трения уменьшается. Оптические изображения образцов, разрушенных при испытании на растяжение СВМПЭ и композитов СВМПЭ-С показаны на рис. 1.

Таблица 1

Механические свойства и коэффициент трения композиций СВМПЭ-С						
Содержание наполнителя С, вес.%	Плотность, ρ , г/см ³	Твердость по Шору D	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Удлинение до разруш. ε , %	Коэф. трения f
0	0,936	56,7±0,6	19,2±0,9	34,3±1,7	470±23,6	0,16
3	0,953	57,5±0,5	19,5±1,0	30,3±1,5	471±23,8	0,1
5	0,967	57,5±0,4	19,6±1,2	29,7±1,5	513±25,1	0,11
10	0,989	57,6±0,6	20,1±1,3	28,5±1,8	538±25,3	0,12

Анализ кинетических кривых изнашивания образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес.% С (рис. 2, а) показал, что интенсивность изнашивания последних значительно меньше, чем таковая для чистого (незаполненного) СВМПЭ. На рис. 2, б приведена диаграмма интенсивностей износа на стадии установившегося изнашивания (I , мм²/мин) указанных выше композиций. Из рис. 2, следует, что наименьшая интенсивность износа зафиксирована в композициях СВМПЭ+(3-5) вес. % С (интенсивность изнашивания уменьшается практически в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ).

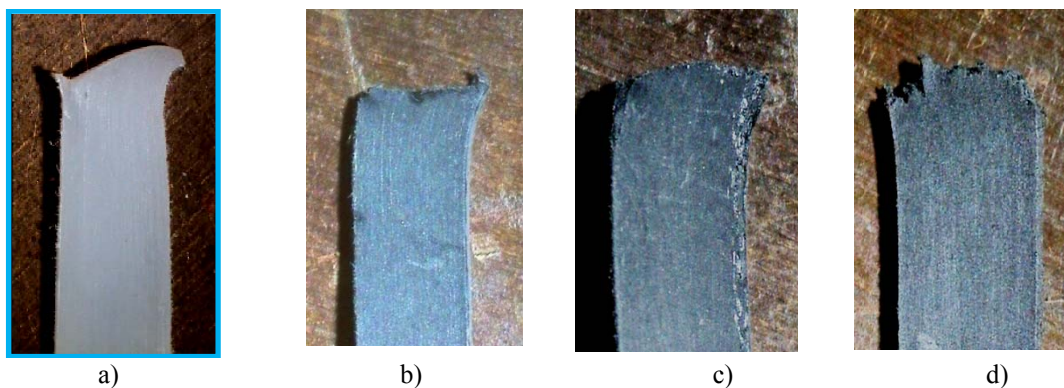


Рис. 1. Оптические изображения образцов, разрушенных при испытании на растяжение, СВМПЭ (а) и композитов СВМПЭ с 3(б), 5(с), 10 вес.% С(д)

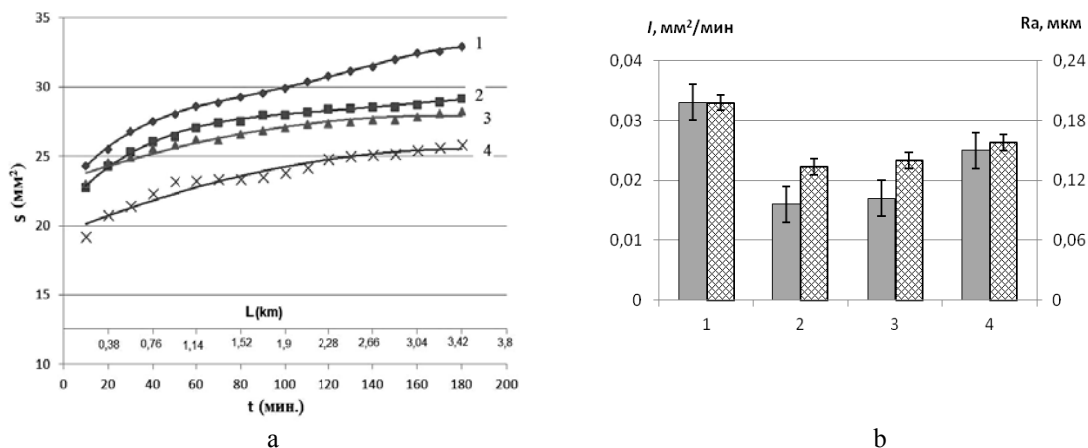


Рис. 2. Кинетические кривые (а), интенсивность изнашивания (I) и шероховатость поверхности дорожки трения (Ra) (б) СВМПЭ и композитов СВМПЭ-С: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ+3 вес.% С (2), СВМПЭ+5 вес.% С (3), СВМПЭ+10 вес.% С (4) на стадии установившегося износа в режиме сухого трения

Шероховатость поверхности трения в композиции СВМПЭ+3 вес. % С так же наименьшая (рис. 2, б). Таким образом, несмотря на некоторое снижение предела прочности, композиции СВМПЭ+(3-5) вес. % С характеризуются двукратным повышением сопротивления изнашиванию при

сухом трении скольжения. Дальнейшее увеличение содержания графита в композиции до 10 вес.% не эффективно с позиции повышения износостойкости композитов СВМПЭ+С.

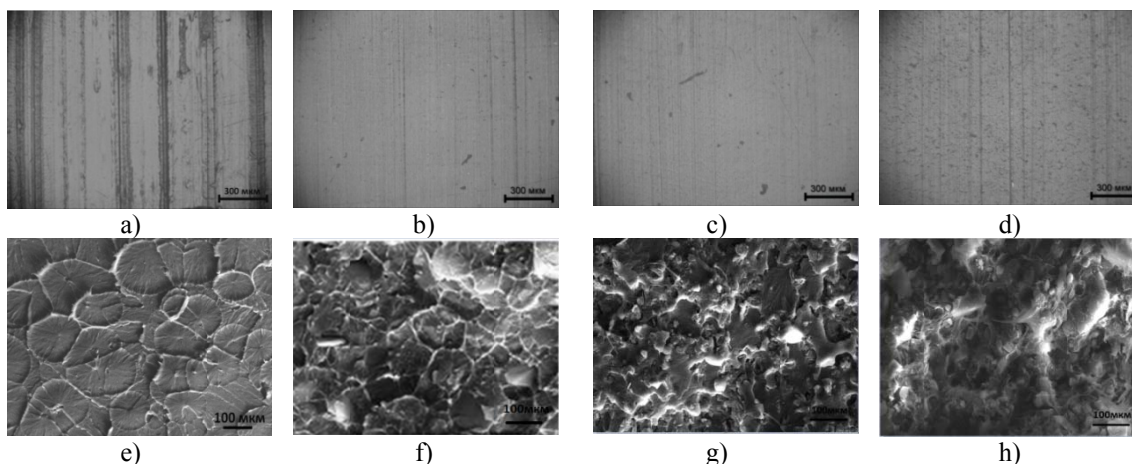


Рис. 3. Микрофотографии поверхностей износа и надмолекулярной структуры СВМПЭ (а,е), СВМПЭ+3 вес.% С (b,f), СВМПЭ+5 вес.% С (с,g), СВМПЭ+10 вес.% С (d,h) в режиме сухого трения скольжения

Для выяснения взаимосвязи между характером износа при сухом трении скольжения, сформировавшейся структурой и типом и количеством наполнителей в композитах на основе СВМПЭ исследованы поверхности изнашивания (на стадии установившегося износа) и надмолекулярная структура всех композиций СВМПЭ+n вес. % С (рис. 3). Из рис. 3 следует, что наполнение СВМПЭ частицами углерода приводит к постепенному изменению надмолекулярной структуры: подавляется формирование сферолитной структуры (рост сферолитов). Видно, что надмолекулярная структура СВМПЭ становится менее однородной, что связано с препятствованием частицами наполнителя роста сферолитов при кристаллизации. В композиции СВМПЭ-С сферолиты фактически не формируются уже при наполнении СВМПЭ выше 3 вес.% С.

Микроборозды, присутствовавшие на поверхности трения чистого СВМПЭ, практически исчезают в композициях с (3-5) вес. % С, и вновь наблюдаются при дальнейшем увеличении содержания наполнителя (рис. 3, a-d).

С учетом анализа литературных данных предлагается несложное феноменологическое объяснение роли твердосмазочных наполнителей (С) в обеспечении износостойкости композитов на основе СВМПЭ в условии сухого трения скольжения. Известно, что графит, благодаря слоистому строению решетки, имеет высокую адгезию к металлической поверхности, поэтому быстро формируют микрослой переноса на контртеле [11]. Данный слой имеет высокую прочность, и в процессе эксплуатации трибосопряжения в условиях сухого трения скольжения происходит взаимное перемещение пластинок графита, тем самым понижается трение и изнашивание деталей машин и изделий.

Заключение

Определено содержание микропорошков графита (3 вес. %), обеспечивающее повышение сопротивления изнашиванию при сухом трении скольжения до двух раз. Указанный эффект сопровождается снижением коэффициента трения до 1,5 раз.

Графит выполняет роль твердой смазки в процессе изнашивания композитов на основе СВМПЭ.

Наполнение СВМПЭ твердосмазочными микрочастицами С является эффективным с позиции незначительного снижения механических свойств, снижения коэффициента трения, а также повышения износостойкости при всех трех исследованных видах изнашивания. Поэтому композит на основе СВМПЭ (СВМПЭ+3 вес. % С) может эффективно использоваться для узлов трения в отсутствие смазочной среды.

Литература.

1. Трибология. Исследования и приложения: опыт США и СНГ// под редакцией В.А. Белого, Н.К. Мышкина.-М.: Машиностроение, Нью-Йорк:Аллертон Пресс, 1993, 454 с.

2. Майер Э.А., Дудченко В.К., Поддубняк А.Н., Аркатов О.Л. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: Новая реальность отечественной промышленности полиолефинов// Пластические массы.- 2003, №8, 3-5.
3. Harley L. Stein. Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)//Engineered Materials Handbook.-1999, Vol. 2: Engineering Plastics.
4. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K.W., Alstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications// Journal of Applied Polymer Science.- 2007, Vol. 104, 4173-4181.
5. Z. Wei, Ya-Pu Zhao, S.L. Ruan, P. Gao. A study of the tribological behavior of carbon-nanotube-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites// SURFACE AND INTERFACE ANALYSIS.-2006, Vol. 38, 883-886.
6. Юдин А.С., Буяев Д.И., Краснов А.П., Сачек Б.Я. и др. Дисперсные наполнители в трибологических полимерных волокноармированных материалах (поисковое исследование)// Вопросы материаловедения.-2012, 4(72), 231-239.
7. S.V. Panin, L.A. Kornienko, V.P. Sergeev, N. Sonjaitham, M.V. Tchaikina. Wear-Resistant Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene-Based Nano- and Microcomposites for Implants//Journal of Nanotechnology, Volume 2012(2012), Article ID 729756, 7 p.
8. А.П. Краснов, В.Н. Адриха, О.В. Афоничева, В.А. Мить, Н.Н. Тихонов, А.Ю. Васильков, Э.Е. Саид-Галиев, А.В. Наумкин, А.Ю. Николаев // О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов. Трение и износ, 2010, Т. 31, № 1, с. 93-108.
9. А.П. Краснов, В.А. Мить, О.В. Афоничева, И.А. Рашкован, М.Е. Казаков «Трибохимически активные и трибостабильные полимеры и полимерные системы»// Трение и износ, 2002, Т. 23, № 4, с. 397-410.
10. А.П. Краснов, О.В. Виноградова, В.Б. Баженова, И.А. Грибова, Т.А. Гуляева, В.И. Неделькин. Трибохимические процессы в полифениленсульфиде, наполненном дисульфидом молибдена и графитом// Трение и износ, 1996, Т. 17, № 4, с. 544-549.
11. P.R. Buseck, V.V. Kovalevski and J.M. Cowley. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study//Carbon.-2001, Vol. 39, No. 2, 243-256.
12. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Н. Сонджайтам, Л.Р. Иванова, С.В. Шилько. Абразивное изнашивание микро и нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Часть 1. Композиты на основе СВМПЭ, наполненного микрочастицами $AlO(OH)$ и Al_2O_3 // Трение и износ. 2012 (33), № 4, 233-239.

ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ И НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ

А.П. Никитин¹, аспирант, А.А. Зевков¹, к.ф.-м.н. н.с., И.Ю. Зыков², аспирант
¹*Институт углеродной и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово*

Россия, 650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18, тел. (3842)- 28-15-22

²*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово*

Россия, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)-31-57-18,

E-mail: kriger@kemsu.ru

Исследование оптических свойств наночастиц металлов особенно актуально в настоящее время. Это связано с созданием новых и улучшением старых методов синтеза наночастиц, а так же широким спектром их практического применения. Предложено использовать наночастицы металлов в устройствах нелинейной оптики, введение наночастиц металлов усиливает нелинейные оптические свойства таких материалов как ниобат лития. Увеличение коэффициента поглощения лазерного излучения наночастицы в системе инертная матрица-металл приводит к нагреванию металлического включения [1], что можно использовать в гипертермической терапии раковых опухолей. В ряде работ наночастицы металлов использовались в качестве армирующей добавки в композитные материалы на основе бризантных взрывчатых веществ [2-4]. Введение металлических наночастиц позволило селективно повысить чувствительность полученных композитов к лазерному излучению, с одновременным уменьшением восприимчивости к другим видам воздействия. Во всех рассматриваемых случаях эффективность функционирования устройства определяется оптическими свойствами наночастиц, которые зависят от их размера, формы и длины волны излучения [5-6]. Поэтому целью данной