

18. Смирнов А.Н., Князьков В.Л., Радченко М.В. Влияние нанодисперсных частиц Al_2O_3 на структурно-фазовое состояние покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC, полученных плазменно-порошковой наплавкой // Сварка и диагностика. 2012. №5. С.32-37.
19. Лебедев Д.И., Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф. Исследование контактной поверхности износостойких газотермических покрытий с ультрадисперсными добавками при трении скольжении со стальным контртелом // Современные научные технологии. 2014. №1. С.42-45.
20. Ледников Е.А., Радченко М.В. Применение ультрадисперсных порошковых частиц для увеличения ресурса работы деталей, изготавливаемых и восстанавливаемых с применением метода сверхзвуковой газопорошковой наплавки // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 6-8.
21. Линник А.А., Коберник Н.В. Легирование металла шва порошковыми присадками на основе карбида вольфрама при сварке под флюсом // Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая научная весна 2013: Машиностроительные технологии.
22. Трошков А.С., Соколов Г.Н., Сычева С.С., Лысак В.И. Структура и свойства низкоуглеродистого металла, наплавленного под керамическим флюсом, содержащим композиционные микрогранулы Ni-нанодисперсный WC // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.187-190.
23. Коберник Н.В., Михеев Р.С., Панкратов А.С., Линник А.А. Модифицирование наплавленного металла наноразмерными частицами карбида вольфрама с целью повышения эксплуатационных свойств сварных соединений // Инженерный вестник. 2013. №4. С. 9-12.
24. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Влияние ультрадисперсных карбидов в порошковых проволоках на свойства теплоустойчивого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2009. №6. С.13-15.
25. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Кязымов Ф.А. Структура и свойства термостойкого металла, наплавленного порошковыми проволоками с наночастицами TiCN // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.194-197.
26. Кривчиков С.Ю. Влияние добавок алюминия в порошковую проволоку на свойства высокоуглеродистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2012. №5. С.38-39.
27. Klimpel A., Kik T. Erosion and abrasion wear resistance of GMA wire surfaced nanostructural deposits // Archives of Materials Science and Engineering. 2008. №2. P.121-124.
28. Еремин Е.Н., Лосев А.С., Филиппов Ю.О. Еремин А.Е. Порошковая проволока // Патент 2350448 С2. 2007.
29. Лосев А.С., Еремин Е.Н., Мухин В.Ф. Порошковая проволока // Патент 2429957 С1. 2010.
30. Мизумото М., Кодама С., Асаи К. Порошковая проволока // Патент 2413600 С2. 2007.
31. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Лысак В.И. Порошковая проволока // Патент 2478030 С1. 2011.
32. Nickl A. An alternate to cobalt base hard-facing alloys // Journal of metals. 1980. № 3. P. 6-12.
33. Liu C.T. Ni₃Al aluminide alloys // Structural Intermetallics. Ed. Darolia R. et al. The Miner., Met and Mater. Soc., 1993. P.365 -377.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИАМИДА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

*Нгуен Суан Тьук**, асп., *С.В. Панин* **, д.т.н., проф., *Л.А. Корниенко* *, к.ф.-м.н.

* *Национальный исследовательский Томский политехнический институт*
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

** *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*
634021, г. Томск пр. Академический, 2/4

E-mail: nxthuc1986@gmail.com, bsyp@ispms.tsc.ru, crosmc@ispms.tsc.ru

Введение

Важной технологической задачей при разработке антифрикционных композитов на основе сверхвысокомолекулярной СВМПЭ-матрицы является поиск совместимых полимерных наполнителей (эластифицирующих добавок) для кратного повышения его триботехнических характеристик [1-3] при одновременном повышении технологичности (экструдированности) смесей. В работах [4-6] авторы исследовали полимер-полимерные композиции на основе СВМПЭ с полиэтиленом и полипро-

пиленом, межфазная связь между полимерными компонентами смеси в которых обеспечивалась наличием а) сшитого полиэтилена (ПЭ-С), а также б) линейного полиэтилена низкой плотности (ПП-б-ЛПЭНП) и в) полиэтилена высокой плотности (ПЭВП-б-ЭВА) в составе вводимого блок-сополимера. Проведена оценка вклада этих промышленно выпускаемых процессинговых добавок на технологические свойства (в частности, экструдирруемость) композитов (нано- и микро) на основе СВМПЭ. В частности в [4] показано, что композиция СВМПЭ+ПП-б-ЛПЭНП обладает повышенной износостойкостью при сухом трении скольжения за счет локализации деформационных процессов в частицах ПП-б-ЛПЭНП, армированных частицами СВМПЭ, а также эффективного скольжения контртела по СВМПЭ-матрице. Эффект повышения сопротивления изнашиванию связывали с более высокой температурой плавления ПП (на $\sim 30^\circ\text{C}$ выше, чем у ПЭ и СВМПЭ). При этом локализация деформации в пределах этих частиц не приводила к локальному расплавлению на поверхности трения, что задерживало микроадгезионный износ.

В настоящей работе исследованы структура, механические и триботехнические характеристики полимер-полимерных композиций СВМПЭ+n вес.% ПА-б-ЛПЭНП в режиме сухого трения скольжения. Проведено сравнение различных полимерных наполнителей для выбора оптимальных компонент смеси с целью увеличения технологичности СВМПЭ.

Материал и методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн, а также блок-сополимер полиамида с линейным полиэтиленом производства ООО «Новые полимерные технологии» (ПА-б-ЛПЭНП). Порошок блок-сополимера был приготовлен из гранул путем механического помола, в результате чего порошинки имели несферическую форму: длина 50-300 мкм, диаметр 50 мкм. Объемные образцы полимерных композитов получали компрессионным спеканием при давлении 10 МПа и температуре 200°C со скоростью последующего охлаждения $3-4^\circ\text{C}/\text{мин}$. Перемешивание порошков полимерного связующего СВМПЭ и наполнителей (блок-сополимера ПА-б-ЛПЭНП) проводили в планетарной шаровой мельнице MP/0,5*4 с предварительным диспергированием компонент в ультразвуковой ванне. Экструзию смесей для оценки удельного давления экструдирования проводили на плунжерном (поршневом) лабораторном экструдере UE-MSL (Extrusion Machine Sales Ltd, UK) с диаметром выходной фильеры 4 мм.

Износостойкость образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке пару образцов, закрепленных в держателе, 160 Н и частоте вращения вала 100 об/мин на машине трения СМТ-1 в соответствии с ASTM G99 и DIN 50324. Размер образцов равнялся $7*7*10\text{ мм}^3$. Диаметр контртела, выполненного из стали ШХ15, составлял 62 мм. Шероховатость поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo New View 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «Rhino Sceros 3.0» путем ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчета с использованием методов обработки изображений.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены физико-механические свойства чистого СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что предел прочности и удлинение СВМПЭ незначительно изменяются с увеличением содержания блок-сополимера в полимер-полимерной композиции вплоть до 20 вес.%. При этом удельное давление экструдирования P , МПа (пропорциональное показателю текучести расплава) заметно снижается при увеличении доли полимерного наполнителя ПА-б-ЛПЭНП (с 4,67 МПа до 3,12 МПа). На рис. 1 представлены оптические изображения, характеризующие морфологию разрушенных образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что наполнитель полностью совместим с матрицей.

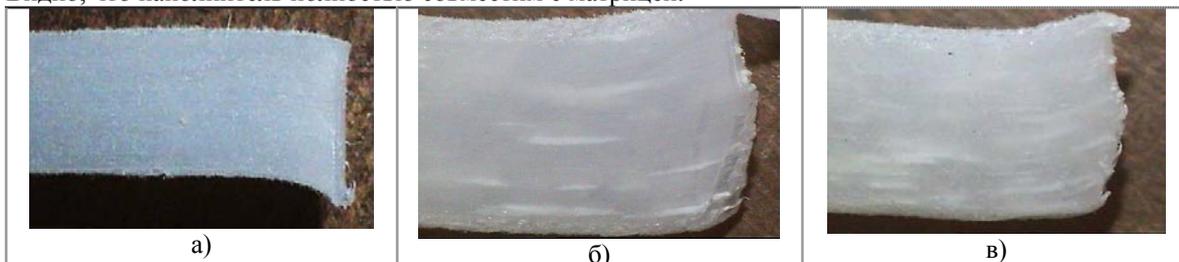


Рис. 1. Морфология разрушенных образцов СВМПЭ (а) и композиций СВМПЭ с 5 (б), 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (с)

В результате удлинения образцов на несколько сот процентов изначально близкие к сферической форме порошинки ПА-б-ЛПЭНП вытянулись совместно с матрицей и приняли форму волокон. Данный результат хорошо согласуется с данными растяжения композита СВМПЭ+ЛПЭНП-б-ПП [4]. Коэффициент трения при наполнении СВМПЭ совместимым сополимером изменяется также не существенно (см. табл. 1).

Таблица 1

Механические и триботехнические свойства СВМПЭ
и композиций СВМПЭ + n вес. % ПА-б-ЛПЭНП

Содержание наполнителя, вес.% ПА-б-ЛПЭНП	Плотность г/см ³	Твердость по Шору D	Предел прочн. σ_B , [МПа]	Удлин. ϵ , %	Крист. χ , %	Коэф. трения f	Удельное давл. экстр. P, МПа
0	0,930	57,45	32,3	485,0	56,5	0,12	4,67
3	0,944	54,25	28,7	483,6	45,7	0,11	4,41
5	0,943	55,35	28,9	488,3	45,1	0,11	4,02
10	0,945	54,12	29,6	485,6	35,8	0,13	3,87
20	0,946	53,77	29,1	507,0	30,8	0,14	3,12

На рис. 2 приведены кинетические кривые изнашивания полимер-полимерных композиций, из которых следует, что износостойкость композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП повышается при наполнении матрицы до 5 вес.% сополимера, а затем постепенно снижается. Это более наглядно иллюстрирует диаграмма, представленная на рис. 3. Видно, что наибольшей износостойкостью характеризуется композиция СВМПЭ+5 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (в 1,7 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ, столбцы 1 и 4). Минимальной износостойкостью обладает образец, доли наполнителя в котором максимальна – 20 вес.% (в 2,5 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ).

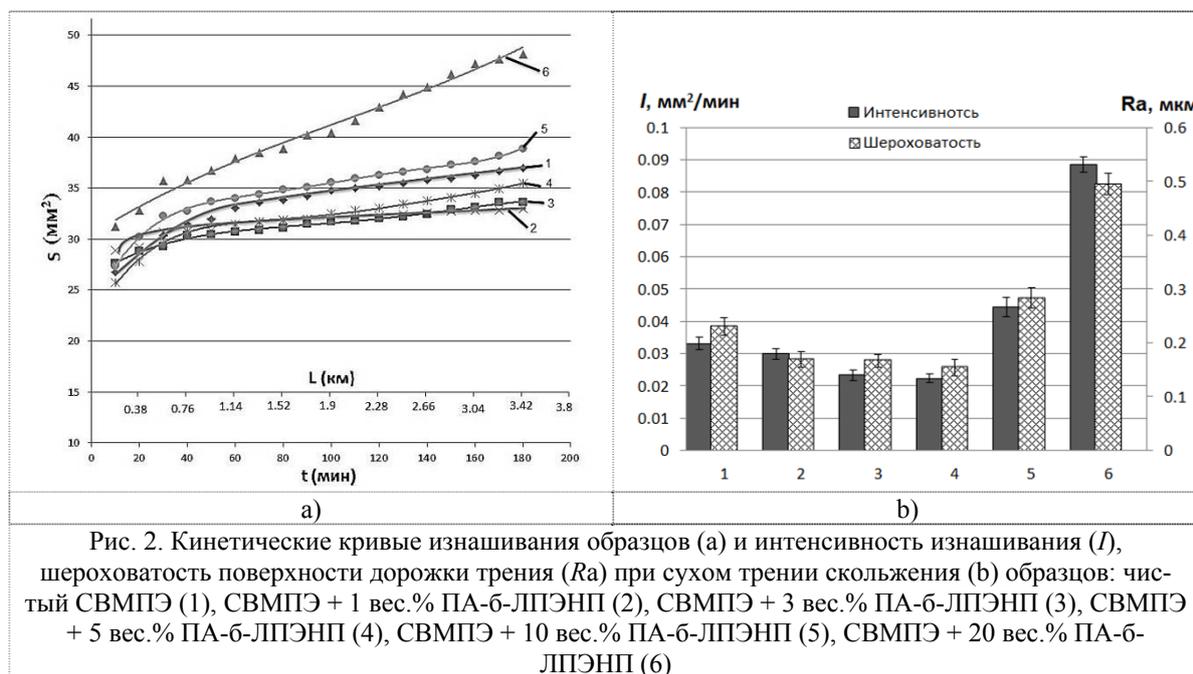


Рис. 2. Кинетические кривые изнашивания образцов (а) и интенсивность изнашивания (I), шероховатость поверхности дорожки трения (Ra) при сухом трении скольжения (б) образцов: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 1 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (2), СВМПЭ + 3 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (3), СВМПЭ + 5 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (4), СВМПЭ + 10 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (5), СВМПЭ + 20 вес.% ПА-б-ЛПЭНП (6)

Для выяснения механизма износа композиций СВМПЭ+ПА-б-ЛПЭНП исследованы поверхности трения и надмолекулярная структура образцов указанных композиций. На рис. 3(а-б) приведены микрофотографии поверхностей дорожек трения на стадии установившегося износа образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ с ПА-б-ЛПЭНП (5 вес.%). Данные измерения шероховатости поверхностей износа всех исследованных в работе композиций (Ra) представлены на рис. 2, б. Видно, что величина шероховатости для композиций с различным содержанием полимерного наполнителя полностью коррелирует с данными об интенсивности изнашивания.

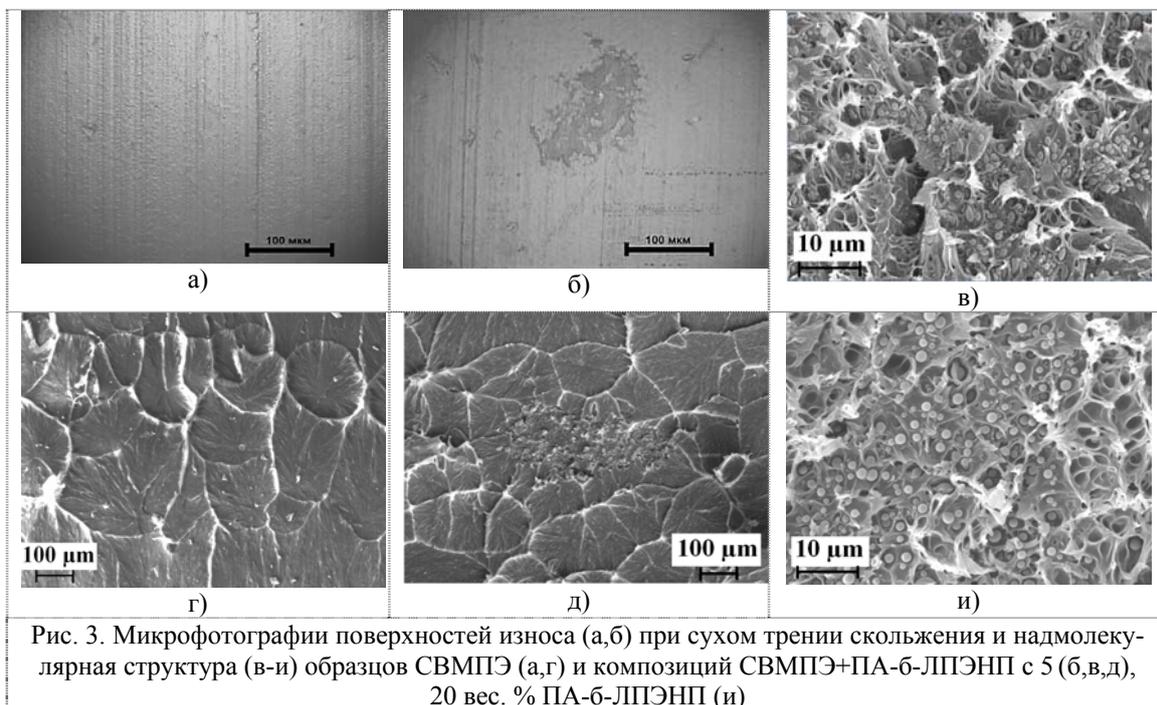


Рис. 3. Микрофотографии поверхностей износа (а,б) при сухом трении скольжения и надмолекулярная структура (в-и) образцов СВМПЭ (а,г) и композиций СВМПЭ+ПА-б-ЛПЭНП с 5 (б,в,д), 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (и)

При внимательно рассмотрении на поверхности трения образцов чистого СВМПЭ отчетливо видны микроборозды, что свидетельствует о микроадгезионной компоненте в характере их изнашивания (рис. 3,а). Последующее добавление в смесь сополимера не сопровождается существенными изменениями в морфологии поверхности трения (при содержании наполнителя не более 10 вес.% - см. рис. 3,б). Видимо по этой причине износостойкость чистого СВМПЭ и композиций на его основе является сопоставимой.

Важно отметить наблюдаемый характер распределения наполнителя. После кристаллизации образцы сохраняют сферолитную структуру (характерную для чистого СВМПЭ – рис. 3,г). Однако частицы наполнителя остаются изолированными, хотя и хорошо совместимыми с СВМПЭ-матрицей, поскольку граница раздела между ними не является ярко выраженной. Характер сформированной надмолекулярной структуры композита наиболее вероятно обусловлен заметным различием в температуре плавления компонент полимерной смеси (рис. 3, д).

Другой важной структурной особенностью композитов является «вмораживание» порошинок СВМПЭ в частицы наполнителя (рис. 3 в,и). При большом увеличении РЭМ видно, что они имеют округлую форму; это связано с воздействием высокой температуры при спекании (рис. 3,и). Однако при последующей кристаллизации частички обретают округлую форму и каждая из них располагается в своеобразной ячейке. Подобная же картина наблюдалась для композитов СВМПЭ+ЛПЭНП-б-ПП [4].

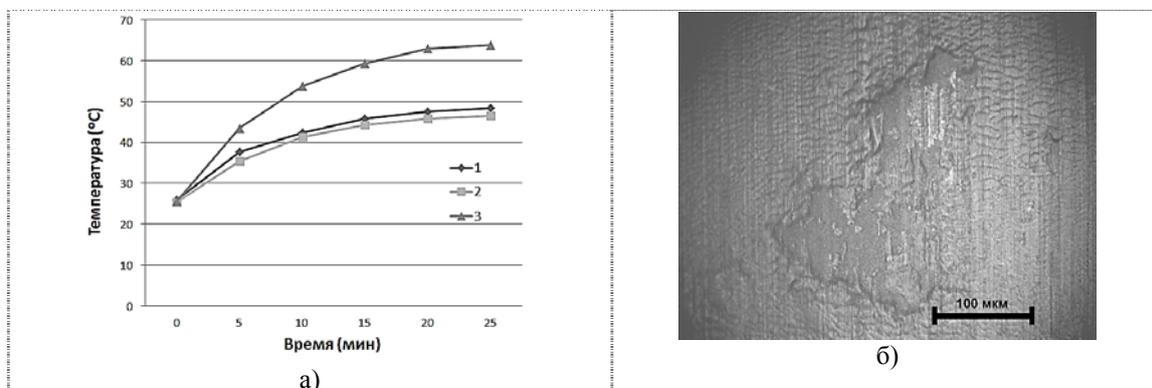


Рис. 4. Изменение температуры поверхности образцов СВМПЭ (1), СВМПЭ+5 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (2), СВМПЭ+20 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (3) при сухом трении скольжения и поверхность образца СВМПЭ+20 вес.%ПА-б-ЛПЭНП после испытаний на сухое трение (б)

На рис. 4 приведены графики, характеризующие изменение температуры контртела (и образцов) по мере их испытаний. Видно, что для чистого СВМПЭ и композита, содержащего 5 вес.% ПА-б-ЛПЭНП, температура меняется идентичным образом. В случае же содержания полимерного наполнителя 20 вес.% температура повышается примерно на 20°C. Это не может не сопровождаться дополнительным нагревом образцов. На рис. 4,б видно, что область, примыкающая к частице наполнителя, расплавляется и гофрирует. Именно это и должно являться причиной резкого снижения сопротивления изнашиванию композита, в состав которого входит компонент ПА, обладающий температурой плавления существенно выше, чем СВМПЭ-матрица.

В работе проведен сравнительный анализ исследованного полимерного наполнителя ПА-б-ЛПЭНП для увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ с другими ранее исследованными авторами - полипропиленом и полиэтиленом [4-6]. Анализ механических и триботехнических характеристик показал, что наиболее близким по свойствам наполнителем является блок-сополимер полипропилена и линейного полиэтилена низкой плотности (ПП-б-ЛПЭНП). Оба блок-сополимера обеспечивают хорошую адгезионную связь полимер-полимерной композиции и формирование упорядоченной высококристаллической сферолитной надмолекулярной структуры при наполнении СВМПЭ блок-сополимерами до 5 вес.%. При большем содержании блок-сополимеров нарушается сферолитная упорядоченная надмолекулярная структура, что влечет за собой увеличение интенсивности изнашивания полимер-полимерных композиций. При этом блок-сополимер ПП-б-ЛПЭНП более предпочтителен в качестве наполнителя с позиций увеличения экструдированности (удельное давление экструдирования $P=3,56$ против 4,02 МПа). С другой стороны блок-сополимер ПА-б-ЛПЭНП более эффективен с точки зрения сохранения механических свойств матрицы (прочность, удлинение) при одновременном повышении экструдированности полимерной смеси.

Из проведенного анализа следует, что для получения удовлетворительной технологичности композитов на основе СВМПЭ (нано- и микро) необходимо подобрать полимерный наполнитель, обеспечивающий формирование равномерной упорядоченной надмолекулярной структуры полимер-полимерных композиций для создания в последующем на их основе композитов с заданными эксплуатационными свойствами. Из исследованных нами полимер-полимерных композиций этому условию в равной степени удовлетворяют промышленно выпускаемые блок-сополимеры ПА-б-ЛПЭНП и ПП-б-ЛПЭНП.

Заключение

Механические свойства образцов полимерной смеси СВМПЭ+ n вес. % ПА-б-ЛПЭНП (прочность, удлинение) слабо изменяются по сравнению с чистым СВМПЭ при значительном увеличении показателя текучести (снижении удельного давления экструдирования). Введением 5 вес.% блок-сополимера ПА-б-ЛПЭНП удалось повысить износостойкость полимер-полимерной композиции в 1,7 раза за счет модификации надмолекулярной структуры исходной полимерной матрицы, включая «вмораживание» порошинок СВМПЭ в частицы полимерного наполнителя. Механизм повышения износостойкости подобен таковому для образцов смеси СВМПЭ+ПП-б-ЛПЭНП. Показано, что при высокой степени наполнения СВМПЭ частицами ПА-б-ЛПЭНП наблюдается дополнительный нагрев пары трения, в результате чего интенсифицируются процессы плавления и износостойкость снижается более чем в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ.

Анализ различных наполнителей с целью увеличения технологичности (экструдированности) СВМПЭ и композитов на его основе позволяет рекомендовать промышленно выпускаемые блок-сополимеры ПА-б-ЛПЭНП и ПП-б-ЛПЭНП как равнозначные наполнители, обеспечивающие повышение технологичности композитов (нано- и микро) на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для различных условий эксплуатации.

Литература.

1. Myshkin N.K., Petrokovets M.I., Kovalev A.V. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear and mass-transfer // Tribology International. – 2005 (38), 910-921.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебн. пособие/ Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др., под ред. А.А. Берлина.- СПб.: Профессия, 2008.- 560 с.
3. Steven M. Kurtz. The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. Academic press, – 2004, 379 p.
4. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько. Триботехнические характеристики нанокомпозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного поли-

- этилена (СВМПЭ) с полипропиленом (ПП). Часть 2. Трение и износ нанокompозитов на основе СВМПЭ – ПП-6-ЛПЭНП. Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, № 5, с.70-76.
5. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько, В.М. Орлов. Трение и износ нанокompозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с полиэтиленом (ПЭ). Часть 1. Механические и триботехнические свойства нанокompозитов на основе СВМПЭ – (ПЭ-С). Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №8, С.42-48.
 6. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Мандунг, Л.Р. Иванова, М.А. Полтаранин, С.В. Шилько, В.М. Орлов. Трение и износ нанокompозитов на основе смеси сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с полиэтиленом (ПЭ). Часть 2. Механические и триботехнические свойства нанокompозитов на основе СВМПЭ – (ПЭВП-6-ЭВА). Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №9, С. 38-44.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСКИСЛЕНИЯ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЛЬСОВ

*Н.А. Козырев**, д.т.н., проф., *А.А. Уманский**, к.т.н., доц., *Д.В. Бойков***, к.т.н.

**Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42 тел. (3843) 46-35-02*

***ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»*

654043, г. Новокузнецк, ш. Космическое, 16, тел. (3843) 46-35-02

E-mail: umanskii@bk.ru

В настоящее время одной из наиболее значимых проблем, стоящих перед предприятиями – производителями железнодорожного проката, является повышение эксплуатационной стойкости железнодорожных рельсов до уровня 1,5 млрд. т брутто. При этом результаты проведенных в последние годы исследований ВНИИЖТ и ИМЕТ РАН им. Байкова [1-3] свидетельствуют, что наиболее негативное влияние на стойкость рельсов в пути оказывает загрязненность стали хрупкоразрушенными оксидными включениями, в частности алюминатами кальция (рисунок 1). Наличие скопления таких включений приводит к образованию контактно-усталостных дефектов в процессе эксплуатации рельсов.



Рис. 1. Алюминаты кальция в рельсовой электростали производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Образование контактно-усталостных дефектов происходит по следующей схеме (рисунок 2): в начальный момент возникает продольная наклонная трещина, развитие которой приводит к отслоению металла – выкрашиванию металла на боковой выкружке головки (рисунок 2 а); затем данный дефект преобразуется в поперечные трещины (в виде светлых или темных пятен) и изломов на них (рисунок 2 б).



Рис. 2. Схема образования контактно-усталостных дефектов железнодорожных рельсов:
а) начальный этап; б) конечный этап