

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НИТРИДОМ БОРА

Д. А. Негров¹, Е. Н. Еремин¹, П. М. Корусенко², С. Н. Несов²

¹Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

²Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 644024, г. Омск, пр. Маркса, 15

Работа посвящена выявлению закономерностей влияния ультразвукового энергетического воздействия на структурные особенности синтезируемого полимерного композиционного материала на основе модифицированного политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора, и его эксплуатационные свойства.

Установлено, что совместное влияние ультразвукового воздействия и частиц наполнителя приводит к увеличению степени кристалличности и размера блоков в структуре кристаллической фазы. Исследования элементарного состава и химического состояния атомов указывают на улучшение структуры фторопласта, формируемого с участием нитрида бора, который подавляет образование $-C-H$ связей и дефектных состояний углерода (C-C), что обуславливает повышение подвижности молекулярных цепей полимерной матрицы в тонком поверхностном слое и более благоприятное перераспределение напряжений на фрикционном контакте и приводит к снижению скорости изнашивания на 17 %, а коэффициента трения на — 13,7 %.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, политетрафторэтилен, модифицирование, нитрид бора, ультразвуковые колебания, структура.

Введение

Эксплуатационная надежность оборудования и техники, а также ресурс ее работы, во многом определяются физическим износом узлов трения. Обеспечение долговечности металлополимерных узлов трения, широко применяющихся в машинах и технологическом оборудовании нефтехимического производства, неразрывно связано с применением новых материалов, обладающих соответствующим комплексом физико-механических свойств [1–3]. Изготовление из таких материалов герметизирующих устройств, опор, подшипников может существенно повысить ресурс работы машины в целом [4, 5].

В этом отношении предпочтительным комплексом параметров обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ), что предопределяет его широкое использование в качестве конструкционных материалов. Предъявление все более жестких требований к надежности конструкционных узлов стимулирует разработку на основе ПТФЭ материалов нового поколения [6, 7].

Наиболее перспективным способом значительного улучшения эксплуатационных параметров ПТФЭ является переход на композиты на его основе. Обычно необходимо достичь эффекта улучшения лишь определенного узкого круга свойств (при сохранении остальных относительно неизменными). Современные методики усиления механических свойств полимерных материалов предсказывают решение этой задачи в рамках модели полимерных нанокомпозитов. Большие перспективы имеет применение в качестве модифицирующей добавки гексагонального нитрида бора.

В то же время получение качественных изделий из ПКМ, модифицированных нитридом бора, затруднено даже при максимально возможных режимах при прессовании. Изменить ситуацию возможно энергетическим воздействием на композиционную смесь путем ее ультразвуковой активации. Поскольку влияние ультразвуковых колебаний (УЗК) на структуру и свойства политетрафторэтилена, модифицированного гексагональным нитридом бора, еще не полностью изучено, исследования в этой области весьма перспективны [8–11].

Постановка задачи

Целью работы является выявление закономерностей влияния ультразвукового энергетического воздействия на структурные особенности синтезируемого полимерного композиционного материала на основе модифицированного политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора, и его эксплуатационные свойства.

Теория

Объектом исследований является политетрафторэтилен (ПТФЭ) и дисперснонаполненный политетрафторэтилен, модифицированный порошком гексагонального нитрида бора в количестве 5 мас. %.

Образцы для исследований получали по технологии прессования шихты, состоящей из порошкообразного политетрафторэтилена с наполнителем дисперсностью 50–100 мкм, смешанной в мельнице при частоте вращения ножей 7800 мин⁻¹. Для изготовления образцов использовалась специальная экспериментальная установка на базе гидравли-

ческого пресса [12]. Установка позволяет изготавливать образцы с двумя различными параметрами прессования — как с активацией композиционной смеси внешним ультразвуковым воздействием, так и без нее. После прессования образцы подвергались термообработке (спеканию) при температуре 360 °С.

Исследование надмолекулярной структуры ПКМ проводилось методом рентгенофазового анализа, на порошковом рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Bruker) в Cu- α излучении (длина волны 0,15406 нм) с использованием позиционно-чувствительного детектора Lynxeye.

Использованы следующие режимы измерения:

1) для фазового анализа:

шаг сканирования — 0,05°, время накопления сигнала — 2 сек/точке, div.slit=0,5, напряжение и ток накала 40 kV и 40 mA соответственно; область сканирования 2θ : 5–100° (для образцов «Нитрид бора»); 5–80° (для ПТФЭ);

2) для расчета параметров решетки и расчета размеров кристаллической решетки:

шаг сканирования — 0,02°, время накопления сигнала — 2 сек/точке, div.slit=0,3, напряжение и ток накала 40 kV и 40 mA, соответственно; область сканирования 2θ : 5–80°; в образец добавлялся порошок кремния Si (SRM 640d) в качестве внутреннего стандарта.

Расшифровка полученных дифрактограмм проведена с использованием базы данных по порошковой дифракции ICDD PDF-2, 2006 года в программе EVA (Bruker).

Для исследования элементного состава и химического состояния атомов в изучаемых образцах фторопласта, модифицированного нитридом бора, был применен высокочувствительный метод рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), реализованный на аналитическом комплексе LAS-3000 (Riber). Для возбуждения рентгеновского излучения использовался источник с Al-анодом с энергией линии Al равной 1487 эВ. РФЭС спектры были получены в условиях сверхвысокого вакуума ($\sim 10^{-9}$ Торр) на анализаторе типа двухкаскадного цилиндрического зеркала MAC-2. Диаметр рентгеновского пучка составлял ~ 5 мм, мощность источника 240 Вт. Разрешение по энергии при записи спектров основных линий составляло 0,7 эВ, обзорных спектров — 1,7 эВ и было постоянно во всем диапазоне измеряемых энергий.

Методика исследований триботехнических свойств, разрабатываемого ПКМ, предусматривала всестороннее исследование его износостойкости (скорости износа) и антифрикционных свойств (коэффициент трения). Исследование износостойкости и антифрикционных свойств материалов и сравнительная их оценка проводились на специально разработанном стенде МДС — 2 [13], скорость скольжения составляла $V=0,75$ м/с, при давлении $P=2$ МПа без смазки.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования композиционных материалов осуществляли изучением надмолекулярной структуры и фазового состава полученных материалов методом рентгенофазового анализа (РФА). Анализируя рентгеновские дифрактограммы, можно получить информацию о супрамолекулярном строении композита.

Расшифровка фазового состава образца ПТФЭ показала, что это однородный объект, в котором

присутствуют фазы ПТФЭ (рис. 1). Для дифрактограмм ПТФЭ характерен интенсивный пик при $d/n = 4,90$ Å (18,01° 2θ) и ряд пиков слабой интенсивности, а также два аморфных гало в области 30–50° (2θ). Наличие гало на дифрактограмме ПТФЭ связано с особыми формами разупорядочения макромолекул, отличными по топологии от аморфных и кристаллических фаз в других полимерах. Необходимо также отметить незначительное соотношение интенсивностей основного пика и гало, что свидетельствует в пользу большего топологического разупорядочения в исследуемом образце.

Все формы ПТФЭ в композиции с нитридом бора, судя по данным рентгенофазового анализа, рентгеноаморфны. Дифрактограммы исследованных образцов, независимо от режима прессования, отражают аморфно-кристаллическую структуру смеси нитрида бора и ПТФЭ с высокой степенью кристалличности (30–42 %). При этом дифракционные отражения кристаллической части полимеров находятся при постоянных углах 2θ , что свидетельствует о неизменности фазового состава при ультразвуковой обработке.

Дифрактограммы образцов, представляющих механическую смесь ПТФЭ и нитрида бора, состоят из рефлексов, характерных для этих соединений: интенсивный рефлекс кристаллической фазы в области 18° и 27°; набор узких пиков при больших значениях углов; «мощное» аморфное гало с 32–44°. Типичные дифрактограммы модифицированного ПТФЭ, полученных по исследуемым технологиям, приведены на рис. 2 и 3. Соотношение интенсивностей рефлексов соответствует концентрации компонента.

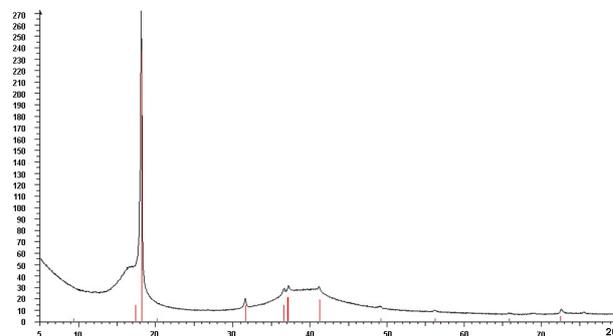


Рис. 1. Фазовый состав образца ПТФЭ
Fig. 1. Phase structure of PTFE sample

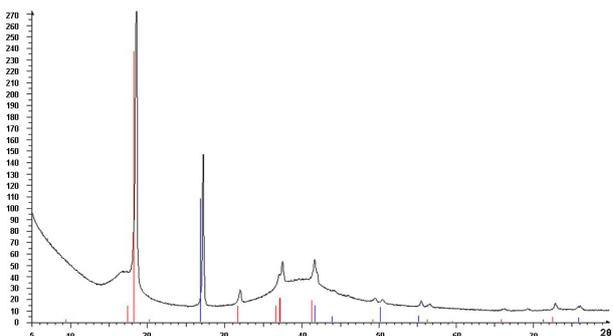


Рис. 2. Фазовый состав образца без ультразвука
Fig. 2. Phase structure of a sample without ultrasound

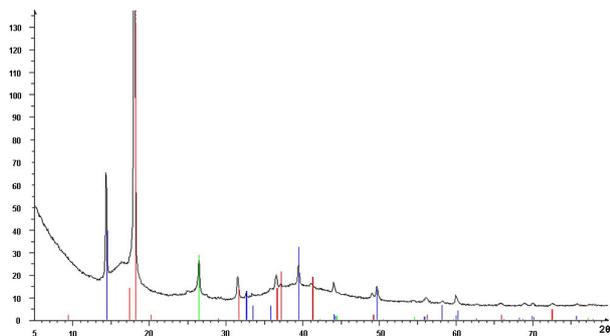


Рис. 3. Фазовый состав образца с ультразвуковым воздействием
Fig. 3. Phase structure of a sample with ultrasonic influence

Компьютерный анализ (Crystallographica Search-Match Version 3.1.0.0) распознает эти рефлексы как принадлежащие фазе NB. Интенсивность рефлексов NB при всех углах существенно ниже пика ПТФЭ ($2\theta = 18,00^\circ$) у всех образцов. Эти пики отображают наличие иных структурных фаз, и они характерны для всех исследуемых образцов. Для выяснения строения этих структур необходимы специальные исследования.

Основные рефлексы фторполимера отображают наличие фаз с разной компоновкой макромолекулярных фторуглеродных цепей. Соотношение квадратов межплоскостных расстояний первого, второго и третьего кристаллических рефлексов указывает на гексагональную структуру кристаллической фазы. Рентгенограммы исследуемых образцов отличаются от дифрактограммы исходного материала фторопласта отсутствием рефлексов, характеризующих разупорядочение CF_2 -группировок по гексагональной оси кристаллической фазы, проявляемой во вращательной разориентации, и сдвигом цепочных молекул относительно друг друга.

В ПТФЭ имеются низкомолекулярные и высокомолекулярные фракции, первые образуют мезоструктуры, формирующие гало ($32-44^\circ$) в наблюдаемых дифрактограммах. Скорее всего, пленки из низкомолекулярных фракций образуют покрытия на поверхности частиц.

Для образцов исследуемых композитов была проведена дополнительная обработка полученных рентгенограмм с целью извлечения информации о характеристиках их надмолекулярной структуры: постоянные кристаллической гексагональной ячейки $a_{кр}$ и $C_{кр}$, размер кристаллитов в направлении $[100]$, степень кристалличности. Рассчитанные значения микроструктурных характеристик и относительной степени кристалличности для исследуемых композитов приведены в табл. 1.

Данные рентгеноструктурного анализа, полученные для политетрафторэтиленовых образцов, подвергнутых ультразвуковой обработке, показали, что степень кристалличности в результате обработ-

Таблица 1. Характеристики надмолекулярной структуры исследуемых композитов

Table 1. Characteristics of supramolecular structure of the studied composites

| Маркировка образца | СК, % | $a_{кр}$, нм | $C_{кр}$, нм | D , нм |
|--------------------|-------|---------------|---------------|----------|
| без ультразвука | 31 | 0,5673 | 1,591 | 43,1 |
| с ультразвуком | 42 | 0,5670 | 1,570 | 43,2 |

ки для образцов с 5 % NB изменяется с 31 % до 42 %. Этот результат прямо указывает на реорганизацию надмолекулярной структуры в направлении действия внешней силы в ходе развития ползучести.

Изменение свойств кристаллических полимеров при введении наполнителей определяется в основном изменениями аморфной фазы. В наполненном кристаллизующемся полимере наполнитель может способствовать переходу кристаллической фазы в более равновесное состояние, а аморфной в менее равновесное состояние. Поскольку наполнитель имеет тенденцию к скапливанию именно в менее упорядоченных областях, то действие наполнителя на свойства кристаллизующегося полимера, связанное с его влиянием на аморфную часть, может быть достигнуто при гораздо меньшем содержании наполнителя, чем при его введении в аморфный полимер. Это же может быть одной из причин повышения прочностных характеристик наполненных кристаллических полимеров при малых концентрациях наполнителя. Такое поведение композита свидетельствует об усилении взаимодействия частиц наполнителя с полимерной матрицей в результате ультразвуковой обработки.

Анализ химического состояния атомов углерода, проведенный по данным РФЭ основной линии C 1s (рис. 4) для образца исходного фторопласта показал наличие двух высокоинтенсивных максимумов, локализованных на энергии связи ~ 293 и ~ 285 эВ, которые соответствуют углероду на поверхности исследуемого материала в связях с фтором и с водородом [14].

Пик на энергии связи ~ 293 эВ является симметричным, а полуширина линии (FWHM) составляет 2,0 эВ, что указывает на присутствие углерода с фтором преимущественно в $(-CF_2)_n$. Наличие высокоинтенсивного пика на ~ 285 эВ указывает на присутствие в исходном фторопласте большого количества связей углерода с водородом ($-C-H_x$) и, возможно, некоторой доли дефектных состояний углерода ($-C-C-$), которые накладываются на углерод-водородные состояния. Следует отметить, что C-C связи возникают из-за дефторирования поверхности и разрыва цепочек фторопласта [15], что, вероятно, связано с особенностями синтеза данного фторопласта. Как показано в табл. 2, значение отношения фтора к углероду (F/C), определенное из данных количественного РФЭС анализа, составляет 1,75, что согласуется со значениями в работах [16]. Также для образца исходного фторопласта сигнал O 1s был

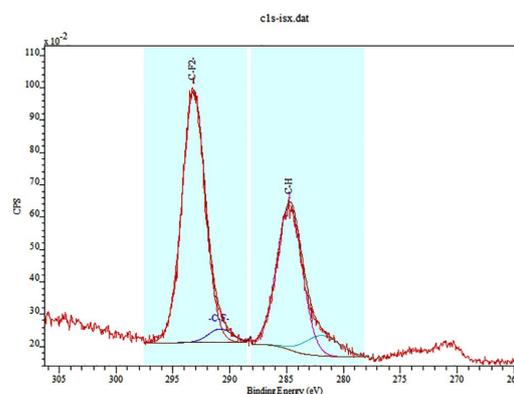


Рис. 4. РФЭ спектр C 1s углерода для исходного фторопласта
Fig. 4. RFE a range of C 1s carbon for the initial fluoroplas

Таблица 2. Количественный РФЭС анализ образцов
Table 2. Quantitative RFES the analysis of models

| Образец | Концентрация, at. % | | | | [F]/[C] |
|---------------------|---------------------|------|-----|-----|---------|
| | F | C | O | N | |
| Фторопласт исходный | 63,6 | 36,4 | — | — | 1,75 |
| Фторопласт + NB | 63,4 | 32,6 | 2,6 | 1,4 | 1,94 |

практически на уровне шума, что свидетельствует о незначительном количестве кислорода поверхности фторопласта.

Анализ химического состояния атомов углерода (рис. 5) для образца фторопласта, содержащего нитрид бора показал наличие асимметрии и увеличение полуширины линии на энергии связи ~ 293 эВ до 3,2 эВ (фторопласт, содержащий нитрид бора) в сравнении с образцом исходного фторопласта, для которого FWHM составляет 2,0 эВ. Детальный анализ пика на ~ 293 эВ показал, что уширение и асимметрия линии связаны с наличием состояний, отвечающих (-C-CF) и (-C-F) связям, формируемым в результате взаимодействия CF_2 радикала с окружающей средой в процессе нагрева при непосредственном участии нитрида бора.

Кроме этого, в C 1s спектре фторопласта, содержащего нитрид бора, наблюдается существенное снижение интенсивности максимума на ~ 285 эВ и его некоторое уширение со стороны высоких энергий связи, а также рост значения отношения фтора к углероду (F/C) до 1,94 в сравнении с исходным фторопластом (1,75) (табл. 2). Данные изменения указывают на улучшение структуры фторопласта, формируемого с участием нитрида бора, который, вероятно, подавляет образование $-C-H_x$ связей и дефектных состояний углерода (C-C), снижающих эксплуатационные характеристики данного материала.

Анализ РФЭ линии F 1s (рис. 6) для образца исходного фторопласта показал наличие одного максимума, локализованного на энергии связи ~ 691 эВ, отвечающего атомам фтора в ($-C-F_2$) связях. Данная линия является симметричной, а ее полуширина составляет $\sim 2,5$ эВ.

В то время как детальный анализ линии F 1s для образца фторопласта, содержащего нитрид бора, демонстрирует увеличение FWHM линии до 3,6 эВ в сравнении с образцом исходного фторопласта. Данные изменения указывают на наличие фтора в (-C-CF) и (-C-F) связях, формируемых в процесс получения данного образца, что коррелирует с результатами анализа РФЭ линии C 1s углерода.

Результаты триботехнических испытаний показали, что активирование композиционной смеси модифицированного политетрафторэтилена с рациональной концентрацией наполнителя в 5 % энергией ультразвуковых колебаний приводит к снижению скорости изнашивания $0,104 \cdot 10^{-3}$ г/ч, что на 17 % меньше, чем у композита, полученного при прессовании без наложения ультразвуковых колебаний. В то же время активирование такой композиционной смеси приводит и к снижению коэффициента трения с 0,174 до 0,153 по сравнению с ПТФЭ синтезированным без активации смеси ультразвуковыми колебаниями, что составляет 13,7 %.

Причиной снижения скорости изнашивания и коэффициента трения композитов с нитридом бора, возможно, является повышение подвижности

молекулярных цепей полимерной матрицы в тонком поверхностном слое и более благоприятное перераспределение напряжений на фрикционном контакте, а также смазывание пары трения за счет нитрида бора, находящегося в матрице композита. Из-за повышенной сорбционной способности нитрида бора к углеводородам его частицы способны удерживать оболочку из адсорбированных молекул компонентов смазки и доставлять их в зону трения, когда наступает истощение их в зоне трибоконтакта при повышении температуры. Таким образом, происходит предотвращение адгезионного изнашивания трущихся поверхностей.

Выводы и заключение

Установлено, что совместное влияние ультразвукового воздействия и частиц наполнителя приводит к значимым изменениям надмолекулярной структуры композиционного материала на основе политетрафторэтилена, выражающемся в увеличении степени кристалличности и размера блоков в структуре кристаллической фазы.

Исследования элементного состава и химического состояния атомов указывают на улучшение структуры фторопласта, формируемого с участием нитрида бора, который подавляет образование $-C-H_x$ связей и дефектных состояний углерода (C-C), снижающих эксплуатационные характеристики данного материала.

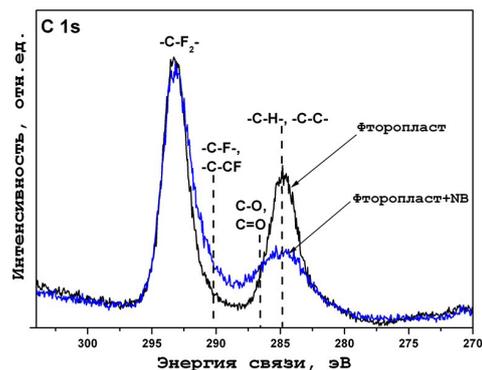


Рис. 5. Нормированные спектры углерода C 1s фторопласта различного состава
Fig. 5. Rated ranges of carbon C 1s of different structure fluoroplast

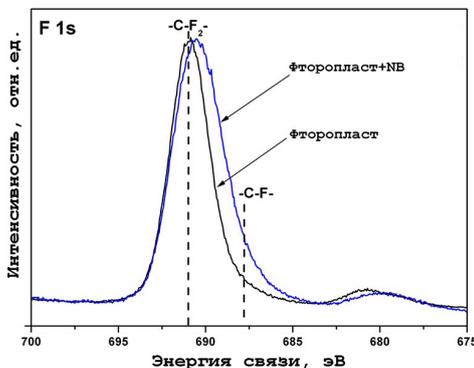


Рис. 6. Нормированные спектры фтора F 1s фторопласта различного состава
Fig. 6. Rated ranges of F 1s fluorine of the fluoroplast of different structure

Активирование композиционного материала ультразвуковым воздействием приводит к снижению скорости изнашивания на 17 %, а коэффициента трения — на 13,7 %.

Результаты работы могут быть использованы для изготовления смазываемых и несмазываемых металлополимерных пар трения компрессоров и насосов на таких предприятиях, как НПО «Сибкриотехника» и ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ».

Список источников

1. Кобзев Д. Е., Баронин Г. С., Дмитриев В. М. [и др.]. Интенсификация твердофазной плунжерной экструзии наномодифицированного полиэтилена высокой плотности ультразвуковым воздействием // *Материаловедение*. 2012. № 4. С. 37–40.

2. Shanfu Lu, Ruijie Xiu, Xin Xu [et al.]. Polytetrafluoroethylene (PTFE) reinforced poly(ethersulphone)–poly(vinyl pyrrolidone) composite membrane for high temperature proton exchange membrane fuel cells // *Journal of Membrane Science*. 2014. Vol. 464. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.memsci.2014.03.053.

3. Zahira Ghalmi, Masoud Farzaneh. Durability of nanostructured coatings based on PTFE nanoparticles deposited on porous aluminum alloy // *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 314. P. 564–569. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.194.

4. Aderikha V. N., Krasnov A. P., Shapovalov V. A., Golub A. S. Peculiarities of tribological behavior of low-filled composites based on polytetrafluoroethylene (PTFE) and molybdenum disulfide // *Wear*. 2014. Vol. 320. P. 135–142. DOI: 10.1016/j.wear.2014.09.004.

5. Marcello Conte, Bihotz Pinedo, Amaya Igartua. Role of crystallinity on wear behavior of PTFE composites // *Wear*. 2013. Vol. 307, Issues 1–2. P. 81–86. DOI: 10.1016/j.wear.2013.08.019.

6. Dangsheng Xiong, Yongkun Qin, Jianliang Li [et al.]. Tribological properties of PTFE / laser surface textured stainless steel under starved oil lubrication // *Tribology International*. 2015. Vol. 82, Part B. P. 305–310. DOI: 10.1016/j.triboint.2014.07.017.

7. Dongya Zhang, Guangneng Dong, Yinjuan Chen, Qunfeng Zeng. Electrophoretic deposition of PTFE particles on porous anodic aluminum oxide film and its tribological properties // *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 290. P. 466–474. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.11.114.

8. Negrov D. A., Eremin E. N. Manufacture of Slip Bearings from PTFE-Based Composite // *Russian Engineering Research*. 2012. Vol. 32, Issue 1. P. 42–44. DOI: 10.3103/S1068798X12010212.

9. Eremin E. N., Negrov D. A. Development of a Technology for the Fabrication of Articles Made of Complex-Modified Polytetrafluoroethylene for Dry Friction Assemblies // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 49, Issues 9–10. P. 701–704. DOI: 10.1007/s10556-014-9822-0.

10. Negrov D. A., Eremin E. N. Effect of ultrasonic vibrations on changing the mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene modified with boron nitride // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, Nov. 11–13, 2014. Omsk, Russia, 2014. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005686.

11. Okhlopkova T. A., Borisova R. V., Nikiforov L. A. [et al.]. Technology of liquid-phase compounding of ultra-high-molecular-weight polyethylene with nanoparticles of inorganic compounds under the action of ultrasonic vibrations // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2016. Vol. 89, Issue 9. P. 1469–1476. DOI: 10.1134/S1070427216090135.

12. Негров Д. А., Еремин Е. Н. Исследование влияния ультразвуковых колебаний на структуру и механические свойства полимерного композиционного материала // *Омский научный вестник*. 2011. № 2 (100). С. 17–19.

13. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И. [и др.]. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 168 с.

14. Wilson D. J., Williams R. L., Pond R. C. Plasma modification of PTFE surfaces. Part I: Surfaces immediately following plasma treatment // *Surface and Interface Analysis*. 2001. Vol. 31, Issue 5. P. 385–396. DOI: 10.1002/sia.1065.

15. Kцnig U., Nitschke M., Pilz M. [et al.]. Stability and ageing of plasma treated poly(tetrafluoroethylene) surfaces // *Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces*. 2002, Vol. 25, Issue 4. P. 313–324. DOI: 10.1016/S0927-7765(01)00333-2.

16. Loh I.-H., Cohen R. E., Baddour R. F. Plasma surface modification of polymer powders with application to thermal energy storage // *Journal of Applied Polymer Science*. 1986. Vol. 31, Issue 3. P. 901–910. DOI: 10.1002/app.1986.070310313.

НЕГРОВ Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).
ЕРЕМИН Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», декан машиностроительного института (ОмГТУ).
КОРУСЕНКО Петр Михайлович, младший научный сотрудник лаборатории «Физика наноматериалов и гетероструктур» Омского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ОНЦ СО РАН).

НЕСОВ Сергей Николаевич, младший научный сотрудник лаборатории «Физика наноматериалов и гетероструктур» ОНЦ СО РАН.

Адрес для переписки: negrov_d_a@mail.ru

Для цитирования

Негров Д. А., Еремин Е. Н., Корусенко П. М., Несов С. Н. Влияние ультразвуковой активации на структурообразование политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2017. Т. 1, № 2. С. 57–63.

Статья поступила в редакцию 11.11.2017 г.

© Д. А. Негров, Е. Н. Еремин, П. М. Корусенко, С. Н. Несов

EFFECT OF ULTRASONIC ACTIVATION ON THE STRUCTURE FORMATION OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE MODIFIED WITH BORON NITRIDE

D. A. Negrov¹, E. N. Eremin¹, P. M. Korusenko², S. N. Nesov²

¹Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

²Omsk Scientific Center of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Russia, Omsk, Karl Marx Ave., 15, 644040

Work is devoted to detection of patterns of influence of ultrasonic power impact on structural features of synthesizable polymeric composition material on the basis of the modified polytetrafluoroethylene modified by boron nitride and its operational properties.

It is established that joint influence of ultrasonic influence and particles of filler leads to increase in degree of crystallinity and the size of blocks in structure of a crystal phase. Researches of element structure and chemical condition of atoms indicate improvement of structure of the fluoroplast created with participation of nitride boron, which, suppresses education –C–Hx of communications and defective conditions of carbon (C–C) that causes increase in mobility of molecular chains of a polymeric matrix in a thin surface layer and leads to reduction in the rate of wear by 17 %, and a friction coefficient by 13,7 %.

Keywords: boron nitride, ultrasonic vibrations, politetraforetilen, polymeric composition material, structure.

References

1. Kobzev D. E., Baronin G. S., Dmitriyev V. M. [et al.]. Intensifikatsiya tverdogaznoy plunzhernoy ekstruzii nanomodifitsirovannogo polietilena vysokoy plotnosti ul'trazvukovym vozdeystviem [An intensification of solid-phase plunger extrusion of the nanomodified high-density polyethylene ultrasonic influence] // *Materialovedenie. Materialovedenie*. 2012. No. 4. P. 37–40. (In Russ.).
2. Shanfu Lu, Ruijie Xiu, Xin Xu [et al.]. Polytetrafluoroethylene (PTFE) reinforced poly(ethersulphone)–poly(vinyl pyrrolidone) composite membrane for high temperature proton exchange membrane fuel cells // *Journal of Membrane Science*. 2014. Vol. 464. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.memsci.2014.03.053. (In Engl.).
3. Zahira Ghalmi, Masoud Farzaneh. Durability of nanostructured coatings based on PTFE nanoparticles deposited on porous aluminum alloy // *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 314. P. 564–569. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.194. (In Engl.).
4. Aderikha V. N., Krasnov A. P., Shapovalov V. A., Golub A. S. Peculiarities of tribological behavior of low-filled composites based on polytetrafluoroethylene (PTFE) and molybdenum disulfide // *Wear*. 2014. Vol. 320. P. 135–142. DOI: 10.1016/j.wear.2014.09.004. (In Engl.).
5. Marcello Conte, Bihotz Pinedo, Amaya Igartua. Role of crystallinity on wear behavior of PTFE composites // *Wear*. 2013. Vol. 307, Issues 1–2. P. 81–86. DOI: 10.1016/j.wear.2013.08.019. (In Engl.).
6. Dangsheng Xiong, Yongkun Qin, Jianliang Li [et al.]. Tribological properties of PTFE / laser surface textured stainless steel under starved oil lubrication // *Tribology International*. 2015. Vol. 82, Part B. P. 305–310. DOI: 10.1016/j.triboint.2014.07.017. (In Engl.).
7. Dongya Zhang, Guangneng Dong, Yinjuan Chen, Qunfeng Zeng. Electrophoretic deposition of PTFE particles on porous anodic aluminum oxide film and its tribological properties // *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 290. P. 466–474. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.11.114. (In Engl.).
8. Negrov D. A., Eremin E. N. Manufacture of Slip Bearings from PTFE-Based Composite // *Russian Engineering Research*. 2012. Vol. 32, Issue 1. P. 42–44. DOI: 10.3103/S1068798X12010212. (In Engl.).
9. Eremin E. N., Negrov D. A. Development of a Technology for the Fabrication of Articles Made of Complex-Modified Polytetrafluoroethylene for Dry Friction Assemblies // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 49, Issues 9–10. P. 701–704. DOI: 10.1007/s10556-014-9822-0. (In Engl.).
10. Negrov D. A., Eremin E. N. Effect of ultrasonic vibrations on changing the mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene modified with boron nitride // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, Nov. 11–13, 2014. Omsk, Russia, 2014. P. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005686. (In Engl.).
11. Okhlopkova T. A., Borisova R. V., Nikiforov L. A. [et al.]. Technology of liquid-phase compounding of ultra-high-molecular-weight polyethylene with nanoparticles of inorganic compounds under the action of ultrasonic vibrations // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2016. Vol. 89, Issue 9. P. 1469–1476. DOI: 10.1134/S1070427216090135. (In Engl.).
12. Negrov D. A., Eremin E. N. Issledovaniye vliyaniya ul'trazvukovykh kolebaniy na strukturu i mekhanicheskiye svoystva polimernogo kompozitsionnogo materiala [Investigation of the influence of ultrasonic vibrations on the structure and mechanical properties of polymer composite material] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2011. No. 2 (100). P. 17–19. (In Russ.).
13. Mashkov Yu. K., Ovchar Z. N., Surikov V. I. [et al.]. Kompozitsionnyye materialy na osnove politetraforetilena. Strukturnaya modifikatsiya [Composite materials based on the ethylene polytetrafluoroethylene. Structural modification]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 2005. 168 p. (In Russ.).
14. Wilson D. J.; Williams R. L.; Pond R. C. Plasma modification of PTFE surfaces. Part I: Surfaces immediately following plasma treatment // *Surface and Interface Analysis*. 2001. Vol. 31, Issue 5. P. 385–396. DOI: 10.1002/sia.1065. (In Engl.).
15. Kurnig U., Nitschke M., Pilz M. [et al.]. Stability and ageing of plasma treated poly(tetrafluoroethylene) surfaces // *Colloids and Surfaces. B: Biointerfaces*. 2002, Vol. 25, Issue 4. P. 313–324. DOI: 10.1016/S0927-7765(01)00333-2. (In Engl.).

16. Loh I.-H., Cohen R. E., Baddour R. F. Plasma surface modification of polymer powders with application to thermal energy storage // Journal of Applied Polymer Science. 1986. Vol. 31, Issue 3. P. 901–910. DOI: 10.1002/app.1986.070310313. (In Engl.).

NEGROV Dmitry Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Mechanical Engineering and Material Science Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

Address for correspondence: negrov_d_a@mail.ru

EREMIN Evgeniy Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Mechanical Engineering and Material Science Department, Head of Mechanical Engineering Institute (OmSTU), Omsk.

KORUSENKO Petr Mikhailovich, Junior Researcher, Physics of Nanomaterials and Heterostructures Laboratory, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS), Omsk.

NESOV Sergey Nikolaevich, Junior Researcher, Physics of Nanomaterials and Heterostructures Laboratory, SB RAS, Omsk.

Address for correspondence: negrov_d_a@mail.ru

For citations

Negrov D. A., Eremin E. N., Korusenko P. M., Nesov S. N. Effect of ultrasonic activation on the structure formation of polytetrafluoroethylene modified with boron nitride // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2017. Vol. 1, no. 2. P. 57–63.

Received 11 November 2017.

© D. A. Negrov, E. N. Eremin, P. M. Korusenko, S. N. Nesov