

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.А. Негров, В.Ю. Путинцев, О.А. Передельская, А.В.Наумова

Омский государственный технический университет, г. Омск

Рассмотрено влияние режимов ультразвукового прессования на механические свойства полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена и разработка технологии изготовления деталей узлов трения, методом ультразвукового прессования. В процессе ультразвукового прессования полимеров существенно облегчается возникновение и развитие пластической деформации частиц порошка, осуществляется активация дислокаций, происходящая в результате поглощения акустической энергии в местах дефектов кристаллической решетки и других структурных несовершенств. Вследствие этого за короткое время происходит локальный нагрев материала вокруг этих источников поглощения, увеличение молекулярной подвижности, что обуславливает более интенсивное развитие пластической деформации. Ультразвуковое воздействие может быть успешно использовано при твердофазной технологии получения (синтезе) полимерных композиционных материалов. Особенно это актуально для дисперснонаполненных модифицированных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Совершенствование технологии получения модифицированного политетрафторэтилена в направлении приложения ультразвука большой интенсивности непосредственно при прессовании композита позволяет достичь существенного повышения его механических и триботехнических свойств. Целью данной работы является исследование влияния параметров ультразвукового прессования на механические свойства композиционного материала на основе политетрафторэтилена и разработка на этой основе технологии изготовления подшипников скольжения. Объектом исследования являлся композиционный материал на основе политетрафторэтилена с модифицирующей добавкой 5 масс. % гексагонального нитрида бора.

Показано, что введение ультразвуковых колебаний в прессуемый материал приводит к повышению предела прочности и модуля упругости синтезируемого композита. Столь значительное повышение механических свойств, свидетельствует в первую очередь об изменении структуры композиционного материала, которое и приводит к повышению предела прочности и модуля упругости политетрафторэтилена модифицированного гексагональным нитридом бора.

Ключевые слова: ультразвуковое прессование, политетрафторэтилен, композит.

Введение. В настоящее время детали узлов трения, изготовленные из различных металлов и сплавов, постепенно заменяются полимерами и полимерными композиционными материалами [1–6]. Это позволяет понизить себестоимость изделий, повысить их надежность и долговечность [7–12]. В тоже время область применения этих материалов очень ограничена, поскольку они обладают недостаточно высоким пределом прочности и модулем упругости, что приводит к значительному деформированию поверхностных слоев при трении и интенсивному изнашиванию.

Существующие способы повышения механических и триботехнических свойств, политетрафторэтилена, такие как, введение модификаторов в полимерную матрицу и изменение режимов технологических операций (измельчение и перемешивание компонентов, прессование, термообработка) позволяют частично решить эту проблему [11–14].

Для более эффективного решения этой задачи необходимо применение новых технологических способов, которые бы позволили существенно повысить механические свойства полимеров, и тем самым расширить область их применения в производстве. Поэтому данная работа, посвященная совершенствованию технологии изготовления подшипников скольжения из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, является актуальной.

Основной технологией, используемой при производстве изделий из полимерных композиционных материалов, является прессование из порошков заготовок и их последующее спекание.

При прессовании фактически закладываются будущие свойства изделий – плотность, прочность, упругость, износостойкость и равномерное распределение этих характеристик по всему объему изделия [15–18].

Для повышения качества прессования получили применение способы уплотнения порошков с наложением вибрации. Под действием вибрации силы трения и сцепления частиц уменьшаются. При этом повышаются: текучесть порошков, равномерность укладки частиц полимера, разрушаются арочные структуры.

Перспективным способом вибрационного воздействия является наложение ультразвуковых колебаний на прессуемый материал, благодаря которым существенно облегчается возникновение и развитие пластической деформации частиц порошка.

Влияние энергии ультразвуковых колебаний на механические и триботехнические свойства полимеров обусловлено изменением структуры обрабатываемого материала [19]. В процессе такой обработки полимеров существенно облегчается возникновение и развитие пластической деформации частиц порошка, осуществляется активация дислокаций, происходящая в результате поглощения акустической энергии в местах дефектов кристаллической решетки и других структурных несовершенств [20]. Вследствие этого за короткое время происходит локальный нагрев материала вокруг этих источников поглощения, увеличение молекулярной подвижности, что обуславливает более интенсивное развитие пластической деформации.

Ультразвуковое воздействие (УЗВ) может быть успешно использовано при твердофазной технологии получения (синтезе) полимерных композиционных материалов (ПКМ). Особенно это актуально для дисперснонаполненных модифицированных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) [20].

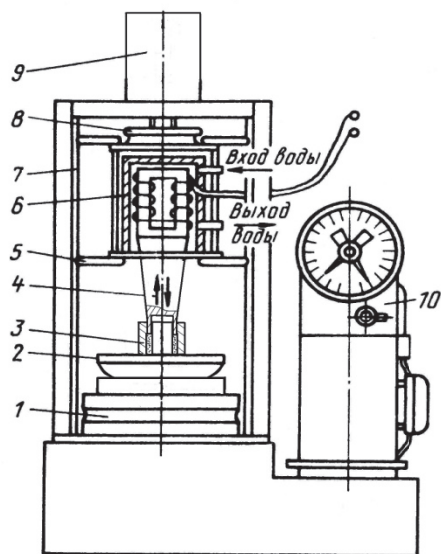
Совершенствование технологии получения модифицированного политетрафторэтилена (МПТФЭ) в направлении приложения ультразвука большой интенсивности непосредственно при прессовании композита позволяет достичь существенного повышения его механических свойств [7, 8].

1. Постановка задачи. Использование энергии ультразвуковых колебаний при прессовании порошкообразных или гранулированных полимеров и полимерных композиции, приводит к уплотнению прессуемого материала, сопровождающееся удалением газовой фазы. Указанный эффект обусловлен тем, что при воздействии вибрационных импульсов отдельным частицам материала сообщаются индивидуальные скорости и ускорения, разрушаются арочные образования и происходит равномерная укладка частиц порошка. Поэтому целью данной работы является исследование влияния параметров ультразвукового прессования на механические свойства композиционного материала на основе политетрафторэтилена и разработка на этой основе технологии изготовления подшипников скольжения.

2. Теория. Объектом исследования являлся композиционный материал на основе политетрафторэтилена с модифицирующей добавкой 5 масс. % гексагонального нитрида бора. Методика исследования заключалась в определении основных технологических параметров ультразвукового прессования (амплитуда колебаний волновода-пуансона, время и давление прессования), а также влияние этих параметров на механические свойства (предел прочности и модуль упругости) композиционного материала. Механические свойства образцов при растяжении определяли на разрывной машине Р 0,5 со скоростью деформации 20 мм/мин.

Для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов, методом ультразвукового прессования, была собрана специальная установка на базе гидравлического пресса МТ-50 (рис. 1). Применен ультразвуковой генератор УЗГ 3, имеющий входную мощность 5 кВт и работающий в частотном диапазоне от 17,5 до 23 кГц. В качестве источника ультразвуковых колебаний был взят магнестрикционный преобразователь ПМС 15-А-18, с резонансной частотой колебаний 17,8 кГц.

Перед прессованием проводится смешивание порошков полимерного композиционного материала в смесителе с частотой вращения ножей не менее 2800 мин^{-1} , с последующим засыпанием его в закрытую пресс-форму 3, закрепленную на шаровой опоре 2. Ультразвук включали одновременно с касанием волновода-пуансона 4 поверхности порошка. При этом ультразвуковые колебания передавались пресс-форме и всей массе порошка. Под действием колебаний пуансона частицы порошка совершают также колебательные движения, при этом происходит перемещение и укладка частиц. Мелкие частицы распределяются и заклиниваются между крупными, что способствует уплотнению и укрупнению контактов между частицами.

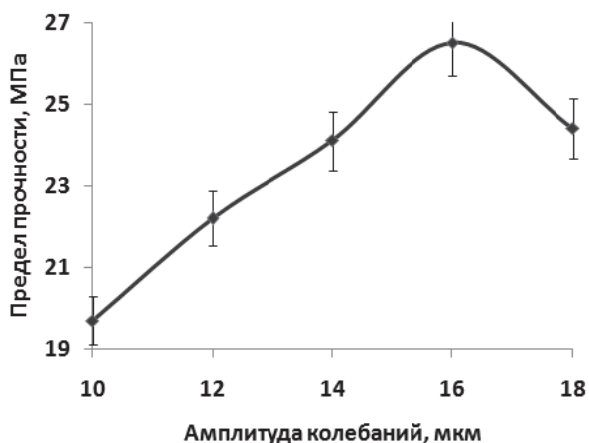


После ультразвукового прессования отпрессованную заготовку подвергают спеканию, технология которой включает в себя следующие этапы: 1 – нагрев до температуры 360 ± 5 °С со скоростью 1,5–2,0 °С/мин; 2 – выдержка при этой температуре (8–9 мин на 1 мм толщины стенки изделия); 3 – охлаждение до температуры 327 °С со скоростью 0,3–0,4 °С/мин; 4 – охлаждение от 327 °С до комнатной температуры вместе с печью.

Соблюдая те же режимы спекания, для сравнения, изготавливали образцы без воздействия ультразвуковых колебаний на прессуемый композиционный материал.

Рис. 1. Схема установки для прессования изделий из политетрафторэтилена с наложением ультразвуковых колебаний: 1 – основание; 2 – шаровая опора; 3 – пресс-форма; 4 – волновод-пуансон; 5 – траверса; 6 – магнитострикционный преобразователь; 7 – направляющая колонна; 8 – рукоятка; 9 – гидроцилиндр; 10 – гидравлическая система

3. Экспериментальное исследование. Анализ экспериментов показал, что влияние амплитуды колебаний волновода-пуансона на предел прочности композиционного материала носит ярко выраженный экстремальный характер с максимумом 16 мкм (рис. 2). При этом давление прессования составляло 54 МПа, а время прессования 60 с.



Результаты исследований зависимости предела прочности от времени прессования показали, что оптимальное время прессования составляет 60 с (рис. 3, 4). При этом у образцов изготовленных методом ультразвукового прессования предел прочности выше на 11,3 %, а модуль упругости на 19 %, по сравнению с образцами, изготовленными по технологии без применения ультразвука. Дальнейшее увеличение времени прессования не приводит к изменению предела прочности и модуля упругости.

Рис. 2. Зависимость предела прочности полимерного композиционного материала от амплитуды колебания волновода-пуансона

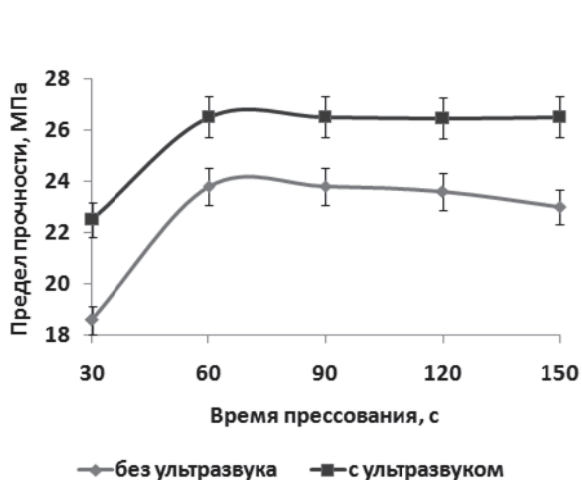


Рис. 3. Зависимость предела прочности от времени прессования

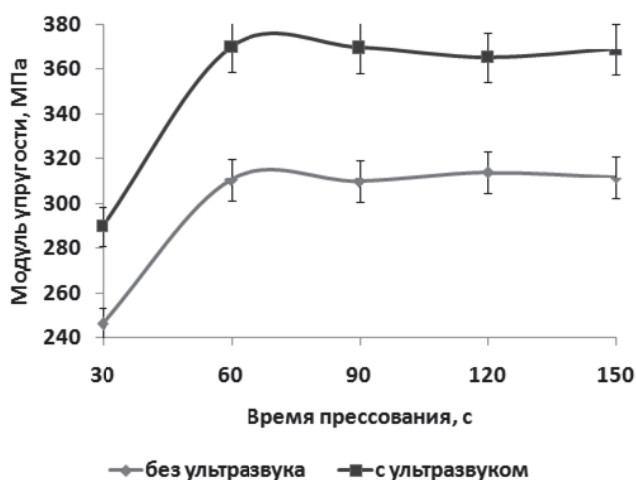


Рис. 4. Зависимость модуля упругости от времени прессования

Зависимости предела прочности и модуля упругости от усилия прессования показаны на рис. 5, 6. Как видно, графики зависимостей имеют экстремальный характер с максимумом при усилии 54 МПа. При этом образцы, изготовленные методом ультразвукового прессования, имеют больший предел прочности и модуль упругости.

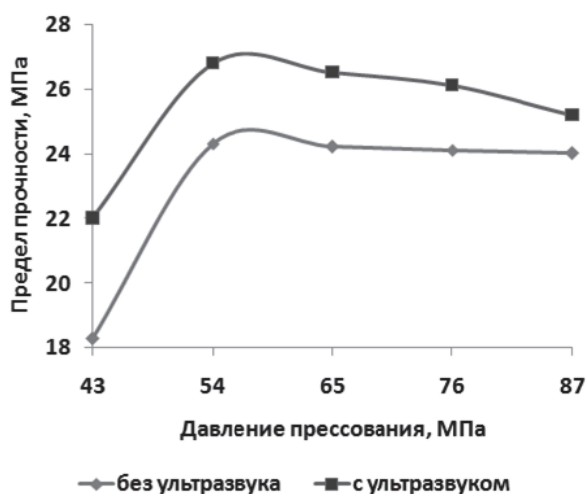


Рис. 5. Зависимость предела прочности от давления прессования

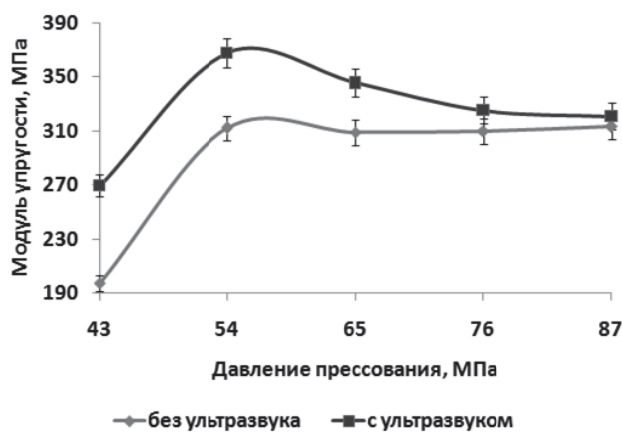


Рис. 6. Зависимость модуля упругости от давления прессования

4. Вывод. В результате проведенных исследований установлено, что применение ультразвукового прессования, в технологии производства деталей узлов трения (время прессования – 60 с, усилие прессования – 54 МПа, амплитуда колебаний волновода пуансона – 16 мкм), позволяет повысить предел прочности на 11 %, модуль упругости на 19 %.

5. Обсуждение и применение. Введение ультразвуковых колебаний в прессуемый материал приводит к повышению предела прочности и модуля упругости синтезируемого композита. Столь значительное повышение механических свойств, свидетельствует в первую очередь об изменении структуры композиционного материала, которое и приводит к повышению предела прочности и модуля упругости политетрафторэтилена модифицированного гексагональным нитридом бора. Полученные в результате исследований данные, могут быть использованы для разработки технологии ультразвукового прессования подшипников скольжения, узлов трения различных приборов.

Литература

1. Ghalmi, Z. Durability of Nanostructured Coatings Based on PTFE Nanoparticles Deposited on Porous Aluminum Alloy / Z. Ghalmi, M. Farzaneh // *Applied Surface Science*. – 2014. – Vol. 314. – P. 564–569. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.194
2. Polytetrafluoroethylene (PTFE) Reinforced Poly(Ethersulphone) – Poly(Vinyl Pyrrolidone) Composite Membrane for High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cells / S. Lu, R. Xiu, X. Xu et al. // *Journal of Membrane Science*. – 2014. – Vol. 464. – P. 1–7. DOI: 10.1016/j.memsci.2014.03.053
3. Electrophoretic Deposition of PTFE Particles on Porous Anodic Aluminum Oxide Film and its Tribological Properties / D. Zhang, G. Dong, Y. Chen, Q. Zeng // *Applied Surface Science*. – 2014. – Vol. 290. – P. 466–474. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.11.114
4. Tribological Properties of PTFE / Laser Surface Textured Stainless Steel under Starved Oil Lubrication / D. Xiong, Y. Qin, J. Li et al. // *Tribology International*. – 2015. – Vol. 82. – Part B. – P. 305–310. DOI: 10.1016/j.triboint.2014.07.017
5. Ye, J. Transfer Film Evolution and its Role in Promoting Ultra-Low Wear of a PTFE Nanocomposite / J. Ye, H.S. Khare, D.L. Burriss // *Wear*. – 2013. – Vol. 297, Iss. 1–2. – P. 1095–1102. DOI: 10.1016/j.wear.2012.12.002
6. Conte, M. Role of Crystallinity on Wear Behavior of PTFE Composites / M. Conte, B. Pinedo, A. Igartua // *Wear*. – 2013. – Vol. 307. – Iss. 1–2. – P. 81–86. DOI: 10.1016/j.wear.2013.08.019

7. Peculiarities of Tribological Behavior of Low-Filled Composites Based on Polytetrafluoroethylene (PTFE) and Molybdenum Disulfide / V.N. Aderikha, A.P. Krasnov, V.A. Shapovalov, A.S. Golub // *Wear*. – 2014. – Vol. 320. – P. 135–142. DOI: 10.1016/j.wear.2014.09.004
8. Eremin, E.N. Development of a Technology for the Fabrication of Articles Made of Complex-Modified Polytetrafluoroethylene for Dry Friction Assemblies / E.N. Eremin, D.A. Negrov // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2014. – Vol. 49. – Iss. 9–10. – P. 701–704. DOI: 10.1007/s10556-014-9822-0
9. The Fabrication, Nano/Micro-Structure, Heat- and Wear-Resistance of the Superhydrophobic PPS/PTFE Composite Coatings / H. Wang, J. Zhao, Y. Zhu et al. // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2013. – Vol. 402. – P. 253–258. DOI: 10.1016/j.jcis.2012.11.011
10. Conte, M. Study of PTFE Composites Tribological Behavior / M. Conte, A. Igartua // *Wear*. – 2012. – Vol. 296. – Iss. 1–2. – P. 568–574. DOI: 10.1016/j.wear.2012.08.015
11. Воронина, Ю.Г. Изготовление торообразных коллекторов из армированных полимеров / Ю.Г. Воронина, Р.С. Зиновьев, Ю.М. Хищенко // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2006. – № 11 (66). – С. 162–168.
12. Головкин, В.В. Формирование поверхностного слоя при ультразвуковом резьбонарезании / В.В. Головкин, О.В. Ромашикина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2010. – № 29 (205). – С. 71–75.
13. Negrov, D.A. Manufacture of Slip Bearings from PTFE Based Composite / D.A. Negrov, E.N. Eremin // *Russian Engineering Research*. – 2012. – Vol. 32, № 1. – P. 42–44. DOI: 10.3103/S1068798X12010212
14. Еремин, Е.Н. Совершенствование технологии изготовления подшипников скольжения из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена / Е.Н. Еремин, Д.А. Негров // *Технология машиностроения*. – 2010. – № 1. – С. 30–32.
15. Влияние углеродных модификаторов на структуру и износостойкость полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена / О.В. Кропотин, Ю.К. Машков, В.А. Егорова и др. // *Журн. техн. физики*. – 2014. – Т. 84, № 5. – С. 66–70.
16. Петрова, П.Н. Разработка полимерных композитов на основе политетрафторэтилена с повышенной износостойкостью для узлов сухого трения / П.Н. Петрова, А.Л. Федоров // *Вестник машиностроения*. – 2010. – № 9. – С. 50–53.
17. Негров, Д.А. Влияние параметров ультразвукового прессования на механические и триботехнические свойства структурно-модифицированного политетрафторэтилена / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин // *Омский науч. вестник*. – 2009. – № 2 (80). – С. 58–60.
18. Еремин, Е.Н. Структурная модификация дисперсно-наполненного политетрафторэтилена ультразвуковым воздействием при синтезе композиционного материала / Е.Н. Еремин, Д.А. Негров // *Физ. мезомеханика*. – 2013. – Т. 16, № 5. – С. 95–101.
19. Машков, Ю.К. Влияние энергии ультразвуковых колебаний на структуру и свойства полимерных композиционных материалов / Ю.К. Машков, Е.Н. Еремин, Д.А. Негров // *Материаловедение*. – 2013. – № 3. – С. 42–45.
20. Еремин, Е.Н. Разработка технологии изготовления изделий из комплексно-модифицированного политетрафторэтилена для узлов сухого трения / Е.Н. Еремин, Д.А. Негров // *Хим. и нефтегаз. машиностроение*. – 2013. – № 10. – С. 46–48.

Негров Дмитрий Анатольевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроения и материаловедения», Омский государственный технический университет, negrov_d_a@mail.ru.

Путинцев Виталий Юрьевич. Студент, Омский государственный технический университет, putintsev_vit@mail.ru.

Передельская Ольга Андреевна. Студент, Омский государственный технический университет, olga.peredelskay@mail.ru.

Наумова Анастасия Витальевна. Магистрант, Омский государственный технический университет, nase4karulit@nextmail.ru.

Поступила в редакцию 20 ноября 2014 г.

TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION COMPONENTS OF FRICTION UNITS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

D.A. Negrov, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, negrov_d_a@mail.ru,

V.U. Putintsev, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, putintsev_vit@mail.ru,

O.A. Peredelskaya, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, olga.peredelskay@mail.ru,

A.V. Naumova, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, nase4karulit@nextmail.ru

In the article is examined the influence of the regimes of ultrasonic extrusion on the mechanical properties of polymeric composite material on the basis of polytetrafluoroethylene and the development of the technology of the production of the components of friction units, by the method of ultrasonic extrusion. In the process of the ultrasonic extrusion of polymers significantly is facilitated appearance and development of the plastic deformation of the particles of the powder, is accomplished the activation of dislocations, proceeding as a result the absorption of acoustic energy in the places of the defects of crystal lattice and other structural imperfections. Because of this in short time occur the local heating of material around these sources of absorption, an increase in the molecular mobility, which causes the more intensive development of plastic deformation. Ultrasonic action can be successfully used for the solid-phase technology of obtaining (synthesis) polymeric composite materials. Especially this is urgent for the dispernonapolnennykh modified composite materials on the basis of polytetrafluoroethylene (PTFE). The perfection of the technology of obtaining the modified polite-trafluoroethylene in the direction of the application of the ultrasound of large intensity directly during the extrusion of composite makes it possible to reach a considerable increase in its mechanical and tribotechnical properties. The purpose of this work is a study of the influence of the parameters of ultrasonic extrusion on the mechanical properties of composite material on the basis of polytetrafluoroethylene and development on this the basis of the technology of the production of slide bearings. Composite material on the basis of polytetrafluoroethylene with modifying addition 5 mass. % of hexagonal nitride of boron was the subject of a study. It is shown that the introduction of ultrasonic fluctuations into the pressed material leads to an increase in the limit of strength and modulus of elasticity of the synthesized composite. So substantial increase in the mechanical properties, testifies first of all about the change in the structure of composite material, which leads to an increase in the limit of strength and modulus of elasticity of polytetrafluoroethylene of modified by hexagonal nitride boron.

Keywords: ultrasonic pressing, polytetrafluoroethylene composite.

References

1. Ghalmi Z., Farzaneh M. Durability of Nanostructured Coatings Based on PTFE Nanoparticles Deposited on Porous Aluminum Alloy. *Applied Surface Science*, 2014, vol. 314, pp. 564–569. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.194
2. Lu S., Xiu R., Xu X., Liang D., Wang H., Xiang Y. 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, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.memsci.2014.03.053
3. Zhang D., Dong G., Chen Y., Zeng Q. Electrophoretic Deposition of PTFE Particles on Porous Anodic Aluminum Oxide Film and its Tribological Properties. *Applied Surface Science*, 2014, vol. 290, pp. 466–474. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.11.114
4. Xiong D., Qin Y., Li J., Wan Y., Tyagi R. Tribological Properties of PTFE / Laser Surface Textured Stainless Steel under Starved Oil Lubrication. *Tribology International*, 2015, vol. 82, part B, pp. 305–310. DOI: 10.1016/j.triboint.2014.07.017
5. Ye J., Khare H.S., Burris D.L. Transfer Film Evolution and its Role in Promoting Ultra-Low Wear of a PTFE Nanocomposite. *Wear*, 2013, vol. 297, iss. 1–2, pp. 1095–1102. DOI: 10.1016/j.wear.2012.12.002
6. Conte M., Pinedo B., Igartua A. Role of Crystallinity on Wear Behavior of PTFE Composites. *Wear*, 2013, vol. 307, iss. 1–2, pp. 81–86. DOI: 10.1016/j.wear.2013.08.019

7. 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, pp. 135–142. DOI: 10.1016/j.wear.2014.09.004
8. 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, iss. 9–10, pp. 701–704. DOI: 10.1007/s10556-014-9822-0
9. Wang H., Zhao J., Zhu Y., Meng Y., Zhu Y. The Fabrication, Nano/Micro-Structure, Heat- and Wear-Resistance of the Superhydrophobic PPS/PTFE Composite Coatings. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2013, vol. 402, pp. 253–258. DOI: 10.1016/j.jcis.2012.11.011
10. Conte M., Igartua A. Study of PTFE Composites Tribological Behavior. *Wear*, 2012, Vol. 296, iss. 1–2, pp. 568–574. DOI: 10.1016/j.wear.2012.08.015
11. Voronina U.G., Zinovev R.S., Khishenko U.M. [The production of torus-shaped collectors from the reinforced polymers]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2006, № 11 (66), pp. 162–168. (in Russ.)
12. Golovkin V.V., Romashkina O.V. [Shaping of surface layer during ultrasonic thread cutting]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2010, № 29 (205), pp. 71–75. (in Russ.)
13. Negrov D.A., Eremin E.N. Manufacture of Slip Bearings from PTFE Based Composite. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, no. 1, pp. 42–44. DOI: 10.3103/S1068798X12010212
14. Eremin E.N., Negrov D.A. [Perfection of the Technology of the Production of Slide Bearings from the Composite Materials on the Basis of Polytetrafluoroethylene]. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, 2010, no. 1, pp. 30–32. (in Russ.)
15. Kropotin O.V., Mashkov U.K., Egorova V.A. et al. [Influence of Carbonic Modifiers on Structure and Wear Resistance of Polymeric Nanos-Composite on the Basis of Polytetrafluoroethylene]. *Journal of Technical Physics*, 2014, vol. 84, no. 5, pp. 66–70. (in Russ.)
16. Petrova P.N., Fedorov A.L. [Development of Polymeric Composites on the Basis of Polytetrafluoroethylene with the Increased Wear Resistance for the Units of Dry Friction]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2010, № 9, pp. 50–53. (in Russ.)
17. Negrov D.A., Eremin E.N. [Influence of the Parameters of Ultrasonic Extrusion on the Mechanical and Tribotechnical Properties of the Structural-Modified Polytetrafluoroethylene]. *Omsk Scientific Herald*, 2009, no. 2 (80), pp. 58–60. (in Russ.)
18. Eremin E.N., Negrov D.A. [Structural Modification of the Dispersed-Filled Polytetrafluoroethylene by Ultrasonic Action with the Synthesis of the Composite Material]. *Physical Mezomekhanika*, 2013, vol. 16, no. 5, pp. 95–101. (in Russ.)
19. Mashkov U.K., Eremin E.N., Negrov D.A. [Influence of Energy of Ultrasonic Fluctuations on the Structure and the Properties of Polymeric Composite Materials]. *Materials Science*, 2013, no. 3, pp. 42–45. (in Russ.)
20. Eremin E.N., Negrov D.A. [Development of the Technology of the Manufacture of Articles Made of the Complex-Modified Polytetrafluoroethylene for the Units of the Dry Friction]. *Chemical and Natural Gas Machine Building*, 2013, no. 10, pp. 46–48. (in Russ.)

Received 20 November 2014

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Технология изготовления деталей узлов трения из полимерных композиционных материалов / Д.А. Негров, В.Ю. Путинцев, О.А. Передельская, А.В. Наумова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 13–19.

REFERENCE TO ARTICLE

Negrov D.A., Putintsev V.U., Peredelskaya O.A., Naumova A.V. Technology of the Production Components of Friction Units from Polymeric Composite Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 13–19. (in Russ.)