ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»,

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках
Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»

5–9 октября 2020 года
Томск, Россия

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/326

СТРУКТУРА И ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ И FDM

[1,2]Донцов Ю.В., [2]Нгуен Дык Ань, [1,2]Буслович Д.Г., [1,2]Панин С.В.
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
[2]НИ Томский политехнический университет, Томск

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), благодаря уникальному сочетанию различных физико-механических характеристик, является одним из перспективных конструкционных полимерных материалов. Этот полимер обладает рядом ценных эксплуатационных свойств: высокая прочность, высокая термическая и химическая стойкость, высокая биосовместимость и повышенная ударная вязкость. ПЭЭК отличается стойкостью к длительной эксплуатации при низкой и повышенной температурах (от -40 до 260 °С), сохраняя при этом высокие механические свойства. Кроме того, ПЭЭК имеет высокий показатель текучести расплава, что благоприятствует его переработке и применению, в том числе в аддитивных технологиях получения изделий сложной формы [1, 2].

Традиционно, проблема придания ПЭЭК антифрикционных свойств решается путем введения твердосмазочных наполнителей, прежде всего ПТФЭ, который, например, для ПЭЭК способен снижать интенсивность износа на несколько порядков [3]. При этом введение в ПЭЭК частиц фторопласта традиционно сопровождается снижением деформационно-прочностных свойств [4]. Именно отсутствие межфазной адгезии, обусловленной неполярной природой ПТФЭ, препятствует получению однородных по структуре высокопрочных композитов. Кроме того, наполнение частицами ПТФЭ препятствует однородному структурообразованию полимерной матрицы. Необходимо компенсировать частичную потерю прочности введением армирующих волокон, либо улучшением структуры полимерного связующего/матрицы, например, введением (нано)наполнителей.

Ранее в работе [6] авторы пошли по пути улучшения структуры полимерной матрицы введением микрочастиц MoS_2, которые обеспечили решение нескольких задач: а) за счет высокой теплопроводности обеспечили однородное структурообразование при компрессионном спекании полимерного композита; б) реализовали мелкодисперсное упрочнение полимера, в том числе за счет активации процессов на межфазной границе раздела «матрица-наполнитель»; с) частично обеспечили свойственную им функцию твердой смазки, в качестве комплементарной к действию частиц ПТФЭ. Путем решения данных задач удалось исключить интенсивное микроабразивное изнашивание стального контртела.

С учетом полученных ранее результатов по разработке состава трехкомпонентных композиций на основе ПЭЭК, целью настоящей работы является сравнительный анализ механических и трибологических характеристик композитов, полученных методом горячего прессования и FDM.

В работе использован порошок PEEK 450PF (Victrex, UK) со средним размером частиц 50 мкм и наполнители: политетрафторэтилен PTFE (размер частиц 6-20 мкм, марка Ф4-ПН20, ООО «Руфлон», РФ) и дисульфид молибдена MoS_2 (Climax Molybdenum, США, ∅ 1 ÷ 7 мкм).

Заготовки (в форме цилиндров и параллелепипедов, соответственно) получены двумя способами: а) методом горячего прессования при давлении 15 МПа и температуре 400 ºС. Скорость охлаждения составляла 2 ºС/мин; b) методом FDM (Fused Deposition Modeling) из гранул тех же полимерных компонентов на лабораторном (home made) принтере ArmPrint – 2 (НИ ТПУ, Томск, Россия). 3D-принтер оборудован одношнековым микроэкструдером с диаметром выходного сопла 0,4 мм и предназначен для печати гранулами с размером 2-5 мм. Температуры стола, а также верхней и нижней областей подачи филамента (гранул) были

постоянными и составляли $T = 175$, 300 и 380 ºС соответственно. Толщина каждого слоя наносимого материала также была неизменной величиной - 0,3 мм. Скорость послойного нанесения составляла 20 мм/с.

Твердость по Шору D определяли на приборе Instron 902 (согласно ASTM D 2240). Механические характеристики образцов на основе ПЭЭК определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки (ГОСТ 11262-80 / ISO 178: 2010).

Испытания на изнашивание в режиме сухого трения проводили по схеме «шар-на-диске» при нагрузке P=10 Н и скорости скольжения V=0.3 м/с на трибометре CSEM CH-2000 (ASTM G99). Диаметр контртел из стали ШХ15 и керамики Al_2O_3, составлял 6 мм. Путь испытания равен 3 км, радиус траектории вращения – 10 мм, т.е. круговая частота вращения составляла 286 об/мин.

Для исследования поверхностей испытанных образцов использовали оптический микроскоп Neophot 2 (Carl Zeiss Jenna, Германия). Надмолекулярную структуру композитов наблюдали с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 (Carl Zeiss, Германия) при ускоряющем напряжении 20 kV на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте.

Показано, что по сравнению с ненаполненным ПЭЭК для композита полученного горячим прессованием интенсивность изнашивания снижается в 39 раз при скольжении по стальному и 15 раз – по керамическому контртелу. В то же время для 3D-напечатанного композита она уменьшается в 11 раз при скольжении по стальному, и в 2 раза – по керамическому контртелу. По сравнению с ненаполненным ПЭЭК одновременное введение двух видов наполнителей в определенной степени ухудшает структуру полимерного композита. Однако за счет облегчения формирования пленки переноса многократно снижается скорость изнашивания полимерного композита и исключает микроабразивное повреждение как стального, так и керамического контртел.

Показано, что, несмотря на снижение трибомеханических характеристик композита полученного методом FDM по сравнению с горячепрессованным, удается значительно повысить износостойкость по сравнению с ненаполненным ПЭЭК. Это открывает перспективы создания изделий антифрикционного назначения сложной формы с использованием аддитивных производственных технологий.

Благодарности. *Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.3. Также работа также поддержана грантами РФФИ № 19-38-90106 и № 20-58-00032.*

1. A.A. Stepashkin, D. I. Chukov, F. S. Senatov, A. I. Salimon, A. M. Korsunky, S. D. Kaloshkin. 3D-printed PEEK-carbon fiber (CF) composites: Structure and thermal properties // Composites Science and Technology, 2018, Vol. 164, 319-326. DOI: 10.1016/j.compscitech.2018.05.032.
2. Abid Haleem, Mohd Javaid. Polyether ether ketone (PEEK) and its manufacturing of customised 3D printed dentistry parts using additive manufacturing // Clinical Epidemiology and Global Health, 2019, Volume 7, Issue 4, 654-660. DOI:10.1016/j.cegh.2019.03.001.
3. Zalaznik, M.; Kalin, M.; Novak, S.; Jakša. G. Effect of the type, size and concentration of solid lubricants on the tribological properties of the polymer PEEK. Wear. 2016, 364-365, 31–39. DOI:10.1016/j.wear.2016.06.013.
4. David L. Burris, W. Gregory Sawyer. Tribological behavior of PEEK components with composition graded PEEK/PTFE surfaces // Wear, 2007, Volume 262, Issues 1-2, 220-224.
5. S.V. Panin, et al., AIP Conf. Proc. 2167 (2019), 020267, doi.org/10.1063/1.5132134.