

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-002

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ИЗНОС В ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНОЙ ТРИБОПАРЕ

<sup>1,2</sup>Бочкарева С.А., <sup>1,3</sup>Панин С.В.

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск,*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

На основе численного моделирования исследуется влияние теплопроводности на процесс трибоизноса полимер-полимерной пары сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Предлагаются способы изменения теплопроводности ПЭЭК за счет добавления углеродных волокон и их распределения в материале.

С целью исследования влияния теплопроводности на износ трибопары последовательно решаются две контактные задачи: 1) задача о напряженно-деформированном состоянии (НДС) покрытия с учетом нормальной и касательной нагрузок, возникающих при трении и учетом изменения свойств в результате нагрева контактирующих тел и 2) задача нестационарной теплопроводности, позволяющая найти распределение температуры в контактирующих телах [1].

Задача определения НДС тел основана на решении системы уравнений механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов (МКЭ). Температура на контакте определялась из условия, что работа силы трения идет на нагревание тел. Распределение температуры в контактирующих телах определялось на основе решения нестационарной задачи теплопроводности по методике, описанной в работе [1].

При расчете на каждом шаге по нагрузке проверяются критерии разрушения. При их выполнении реализуется разрушение в виде удаления из расчета элементов сетки, в которых выполнен критерий. Величину объемного износа рассчитывали как произведение площади удаленных элементов на ширину контртела (в силу специфики решения плоской задачи).

Расчет показал, что для исследуемой трибопары температура на контакте интенсивно растет и 30 минут достигает выше 100°C, что приводит к изменению свойств полимеров, особенно СВМПЭ, способствует увеличению деформации и, соответственно, износа. Показано, что за счет повышения температуры (нагрева) деформация поверхности образца СВМПЭ на контакте может достигать 65%. Это значительно выше деформации, соответствующей пределу текучести и является результатом изменения свойств, в частности снижения модуля упругости с ростом температуры.

Нагрев происходит вследствие того, что коэффициенты теплопроводности у рассматриваемых материалов небольшие (0,25 и 0,42 Вт/м·К), и отвод тепла за счет этого очень слабый. Чтобы отвести тепло из зоны контакта и уменьшить температуру контактирующих тел, нужно повысить их коэффициенты теплопроводности. Одним из способов достижения этого (с целью отвода тепла) является добавление в полимеры (в данном случае в контртело из ПЭЭК) углеродных наполнителей, в частности углеродных волокон (УВ) либо углеродных нанотрубок (УНТ). С целью определить влияние наполнителей на изменение физико-механических свойств композитов проводили численное моделирование и расчет эффективных свойств двух типов композитов:

1) ПЭЭК с УВ средней длиной 40 мкм; степень наполнения составляла 30 вес. % (с учетом плотности материалов - 22,8 об. %). При расчете эффективных свойств расположение включений по расчетной области предполагалось равномерное (рис. 1, а) так, что они не контактировали между собой.

2) ПЭЭК с УНТ средней длиной 2 мкм; степень наполнения составляла 10 вес. % (7,1 об. %). При расчете эффективных характеристик наполненных композиций на основе ПЭЭК включения располагались вокруг частиц ПЭЭК, средний размер которых был равен 70 мкм (рис. 1, а) и образовывали непрерывные цепочки.



Рис. 1. Расчетной области с конечно-элементной сеткой для расчета эффективных свойств композитов: «ПЭЭК +30 вес. % УВ» (а); «ПЭЭК + 10 вес. % УНТ» (б)

Чтобы оценить влияние расположения включений на эффективные характеристики физико-механические свойства УВ и УНТ принимались одинаковыми.

Вычисление эффективных характеристик композиций проводилось на основе исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) представительного объема композиции и на основе решения стационарной задачи теплопроводности.

В таблице 1 приведены результаты расчетов, которые носят среднестатистический характер.

Таблица 1. Механические и физические свойства ПЭЭК и композиций «ПЭЭК + n вес. % УВ» и «ПЭЭК + n вес. % УНТ»

Содержан. наполнителя, об. %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	Теплоемкость, Дж/кг·К	Модуль упругости, МПа	Предел текучести, МПа
ПЭЭК	1,308	0,25	1340	2840	105
+10%УВ	1,359	0,44	1268	4433	120
+23%УВ	1,420	0,70	1183	6501	114
+30%УВ	1,457	0,90	1138	7510	93
+7%УНТ	1,359	1,75	1209	6371	150
+10%УНТ	1,359	2,10	1209	8235	198
+23%УНТ	1,424	3,52	1132	18460	134
+30%УНТ	1,456	6,87	1096	31843	80

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением степени наполнения увеличиваются плотность, коэффициент теплопроводности, модуль упругости, предел прочности по сравнению с чистым ПЭЭК. В случае наполнения УНТ коэффициент теплопроводности и модуль упругости увеличивается в разы больше, чем при наполнении УВ (рис. 1, б), вследствие образованной структуры и размера включений (рис. 1, а).

Таким образом, наполнение ПЭЭК УНТ за счет определенного их расположения и размера позволяет повысить в разы теплопроводность и прочность композитов.

*Благодарности. Работа выполнена в рамках: 1) государственного задания ИФПМ СО РАН «Роль структурных трансформаций в формировании эксплуатационных характеристик материалов арктического назначения» FWRW-2021-0010; 2) РФФИ 20-58-00032 Бел\_а.*

1. Bochkareva, S.A., Panin, S.V., Lyukshin, B.A., Grishaeva N. Yu., Matolygina, N.Y., Aleksenko, V.O. Simulation of Frictional Wear with Account of Temperature for Polymer Composites // Physical Mesomechanics, 2020, 23(2), с. 147-159; DOI: 10.1134/S102995992002006X.