

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МАТРИЦЫ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОЛИИМИДА\*

С.В. Панин, Ц. Ло, Д.Г. Буслевич, В.О. Алексенко, Л.А. Корниенко

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Исследованы структура, механические и трибологические характеристики композитов на основе полиимида (ПИ) и полиэфиримида (ПЭИ), различающихся наличием в молекулярной цепи последнего «шарнирных» атомов кислорода. Композиты были армированы рубленными углеродными волокнами (УВ) и одновременно содержали органический (политетрафторэтилен – ПТФЭ) и неорганический (дисульфид молибдена –  $\text{MoS}_2$ ) твердосмазочные наполнители. Трибоиспытания проведены по схеме «шар-по-дису» при сухом трении скольжения по керамическому контртелу в интервале температур 23–180 °С. Показано, что во всем исследованном интервале температур наибольшей износостойкостью обладает только композит ПЭИ/10% УВ/10% ПТФЭ. При этом введение частиц ПТФЭ обеспечивает формирование и закрепление устойчивого слоя вторичных структур (переносного слоя) на поверхности скольжения полимерного композита. Изменение интенсивности износа и коэффициента трения хорошо коррелируют между собой. При введении твердосмазочного наполнителя  $\text{MoS}_2$  только при высокой температуре испытаний ( $T = 180$  °С) за счет наличия атомов кислорода в молекуле ПЭИ переносная пленка закрепляется на поверхности скольжения композита, защищая его от изнашивания. Это обеспечивает низкий коэффициент трения и относительно высокую износостойкость трехкомпонентного композита ПЭИ/10УВ/10 $\text{MoS}_2$ . Сравнительный анализ трибологических характеристик двух типов полимерных матриц показал, что интенсивность изнашивания композитов на основе ПЭИ с ПТФЭ при  $T = 23$  и 120 °С идентично низкая, в то время как при  $T = 180$  °С она в 300 раз ниже, чем в композитах на основе ПИ. По мнению авторов, это обусловлено тем, что более «жесткая» матрица ПИ (не содержащего «шарнирных» звеньев в макромолекуле) в условиях высокого и осциллирующего коэффициента трения не способна удерживать твердосмазочный ПТФЭ, содержащийся в переносном слое. Композиты на основе ПЭИ рекомендуются для применения в трибоузлах как по причине высокой технологичности (перерабатываемости) за счет гибкости полимерной цепи, так и высокого сопротивления износу за счет образования устойчивых вторичных структур на поверхностях скольжения в интервале температур  $T = 23$ –180 °С.

**Ключевые слова:** полиимид, полиэфиримид, углеродные волокна, политетрафторэтилен, дисульфид молибдена, модуль упругости, коэффициент трения, износ, переносная пленка.

### Введение

Полиимиды (ПИ) представляют класс конструкционных материалов с весьма гармоничным сочетанием таких важных физико-механических и функциональных свойств, как высокая тепло- и термостойкость, огнестойкость, химическая, радиационная стойкость, прочность и высокий модуль упругости, а также сохранение работоспособности в широком интервале температур [1–5]. Они нашли применение в таких передовых отраслях, как авиастроение, космическая промышленность, электротехника, электроника, транспортное машиностроение и т.д. Проявляя исключительно высокие значения эксплуатационных характеристик, близких к предельно достижимым для органических материалов, большинство ПИ обладают существенным недостатком – трудностью переработки в объемные изделия, которая обусловлена сильным межмолекулярным взаимодействием и высокой жесткостью полимерных цепей. Разработка композитов на основе ПИ, сочетающих способность к переработке высокопроизводительными промышленными методами при сохранении базовых эксплуатационных характеристик, является актуальной задачей. Революционным шагом в технологии полиимидных материалов стала разработка термопластичных полиэфиримидов (ПЭИ), полученных путем введения в повторяющиеся звенья, состоящие из ароматических и гетероциклических фрагментов, «шарнирных» атомов кислорода [6, 7]. При этом, несмотря на увеличение гибкости цепи, сохранялись базовые свойства полиимидов – высокие физико-механические характеристики, а также температура начала деструкции.

Термостойкие ПИ и ПЭИ заняли достойное место в ряду конструкционных термопластов наряду с полиэфирсульфоном, полиэфирэфиркетонам, полифениленсульфидом и др. [8–10]. При этом увеличение гибкости основной полимерной цепи и/или уменьшения межмолекулярного взаимодействия открыло перспективы применения ПЭИ для производства наполненных компози-

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0010.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>