

УДК 678.0675:621.892

ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНОЇ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ, ВИГОТОВЛЕНИХ З ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ МОДИФІКУВАННЯМ ФУЛЕРЕНОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

В. В. АУЛІН, д.т.н., проф., **А. А. ТИХИЙ**, к.т.н., доц.,
С. В. ЛИСЕНКО, к.т.н., доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

О. Д. ДЕРКАЧ, к.т.н., доц., **Д. О. МАКАРЕНКО**, к.т.н., доц.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

E-mail: AulinVV@gmail.com

Довговічність вузлів та механізмів багато в чому визначається явищами тертя та зносу. Використання нових конструкційних матеріалів забезпечує деталі автотранспортної і сільськогосподарської техніки заданими експлуатаційними характеристиками, причому важливе місце серед цих матеріалів займають полімерні наноккомпозити. Перевагою полімерних наноккомпозитів як матеріалів для вузлів тертя є їх підвищені характеристики міцності, пов'язані з особливостями взаємодії полімер-наночастинка. Підвищення міцності полімерних матеріалів зазвичай призводить до зниження коефіцієнта тертя і зносу в трибоспряженнях деталей. Однак ця закономірність не виконується для полімерних композитів, наповнених мікророзмірними наповнювачами (зокрема, волокнами). Це пов'язано з тим, що в процесі зношування мікророзмірні наповнювачі викришуються з полімерної матриці, що призводить до зростання абразивних властивостей поверхні і, як наслідок, зростання коефіцієнта тертя. Цю проблему можна вирішити при використанні полімерних наноккомпозитів, оскільки наночастинки міцніше утримуються в полімерній матриці, і їх відрив не призводить до зміни властивостей мікроповерхні (утворення задирів). Метою даної роботи є порівняльне дослідження трибологічних властивостей полімерних наноккомпозитів на основі поліаміду 6 (ПА-6), модифікованого мікророзмірними наповнювачами (вуглецеві волокна), мікророзмірними наповнювачами, що містять наночастинки (фулеренова сажа), наночастинками-наповнювачами (фулерен C60).

В якості термопластичної матриці обрано ПА-6 як полімер, широко застосовуваний для виготовлення підшипників ковзання. Оптимальним способом отримання наноккомпозитів є полімеризація *in situ*, через те, що інші методи їх створення пов'язані з важко подолати проблемами агрегації частинок наповнювача, що ускладнює їх рівномірний розподіл у полімерній матриці. У той же час, змішування готового полімеру з наповнювачем в екструдері є найбільш поширеним методом приготування полімерних композитів, тому отримані полімерні композиції з використанням обох методів. ПА-6 отримують

аніонною полімеризацією з використанням металевого натрію в якості ініціатора і толуїлендіізоціанату як сокатализатора. Фулерен C60 хімічно нестійкий у цих умовах, і в результаті при отриманні полімерних композитів методом полімеризації *in situ* отримується хімічно модифікований полімер, в якому хімічно наночастинки пов'язані з полімерною матрицею. Як показали проведені дослідження, введення фулерену C60 у матрицю ПА-6 при синтезі методом полімеризації *in situ* забезпечує зростання модуля Юнга та міцності приблизно на 20% при рівні наповнення 0,01...0,1 ваг.%. Були проведені подібні випробування для нанокомпозитів полімерних, отриманих методом змішування розплаву полімеру з іншими компонентами в екструдері. Отримані дані показали, що метод змішування в розплаві не призводить до істотного зростання характеристик міцності ПА-6 при вмісті фулерену C60 0,01 ваг.% (зростання на 3%); введення і фулерену C60, і фулеренової сажі в кількостях 1 ваг.% призводить до падіння механічних властивостей. Різке падіння механічних характеристик ПА-6, наповненого 1 ваг.% фулерену C60, пов'язане з тим, що спостерігається недостатньо рівномірний розподіл фулерену C60 у полімерній матриці. Це викликало необхідність введення сумісника (Ерукамід 0,05 ваг.%), який одночасно діє як пластифікатор і перешкоджає кристалізації ПА-6, що призводить до падіння механічних характеристик. Зниження механічних властивостей нанокомпозитів при великих ступенях наповнення обумовлено нерівномірним розподілом наповнювача полімерної матриці.

В роботі досліджено трибологічні властивості полімерних нанокомпозитів. Для композиту (0,01 ваг.% фулерену C60), отриманого методом полімеризації *in situ*, відбувається суттєве зниження коефіцієнта тертя з $0,30 \pm 0,02$ до $0,19 \pm 0,05$, порівняно з чистим ПА-6, синтезованим за аналогічних умов. Це можна пов'язати із зростанням механічної міцності полімерного нанокомпозиту. Однак для ПА-6, наповненого 10 мас.% вуглецевого волокна, спостерігається суттєве зростання коефіцієнта тертя до $0,55 \pm 0,05$. Для пояснення отриманого результату досліджували оптичні фотографії плям зносу.

В результаті виконаних досліджень доведена можливість створення полімерних нанокомпозитів на основі матриць поліаміду 6, модифікованих фуллероїдними матеріалами. Показано, що введення фуллероїдних модифікаторів значно (удвічі) знижує коефіцієнт тертя полімерних композитів порівняно з чистим поліамідом 6. Зниження коефіцієнта тертя полімерних нанокомпозитів зумовлено підвищенням механічної міцності композитів за відсутності виносу агрегатів наночастинок на поверхню, що притирається.

Список використаних джерел

1. Kobets, A., Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Krutous, D., Muranov, E. (2020). Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12 (107)), 49–57.
2. Аулін В.В., Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Гриньків А.В. Вплив

режимів експлуатації на зношування деталей, виготовлених з полімерно-композитного матеріалу. Проблеми трибології. 2018. №4. С.65-69.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
118-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
віцепрезидента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***20-21 лютого 2025 року
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



PROCEEDINGS

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated
to the 118th anniversary of the birth of
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vice President of the UAAS
KRAMAROV
Volodymyr Savovych
(1906-1987)*

«KRAMAROV'S READINGS»

*February 20-21, 2025
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.