

¹П. Д. Стухляк, д-р техн. наук., проф.,
¹К. М. Мороз, асистент,
²А. Г. Кравцов, асистент

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ СИСТЕМИ «ЕПОКСИДНА МАТРИЦЯ – ПОЛІВІНІЛОВИЙ СПИРТ»

¹Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя,
moroz1985@gmail.com

²Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, kравcov_84@mail.ru

*Досліджено коефіцієнт тертя матеріалу на основі системи
«епоксидний зв'язувач – полівініловий спирт»*

Постановка завдання. Розвиток сучасного машинобудування неможливий без вирішення багатьох проблем, у тому числі і створення композитних матеріалів, котрі відіграють важливу роль в забезпеченні надійності і довговічності машин і механізмів у якості захисних покриттів триботехнічного призначення. Найбільш широке застосування в машинобудуванні знайшли такі полімери як поліаміди, поліолефіни, фенолформальдегідні та епоксидні смоли. Потенційні можливості цих полімерів вивчені досить добре, проте реалізовані не повністю. Перспективним є використання у якості в'язуче композиційних матеріалів (КМ) конструкційного призначення сіткових олігомерів низькотемпературного тверднення, представником котрих є епоксидні смоли. Найбільш широко використовують смоли марки ЭД-20, що випускається багатотонажно і характеризується задовільними фізико-механічними характеристиками. Фізико-механічні і триботехнічні властивості цих матеріалів залежать від параметрів тривимірної структурної сітки зв'язувача, а саме молекулярної маси ділянки ланцюга між зшивками. Відомо [1], що термопластичні полімерні добавки, введені у вигляді розчинів сприяють модифікуванню реактопластів із утворенням взаємопроникаючих полімерних сіток (ВПС) і дозволяють ціленаправлено регулювати параметри структури зв'язувача, регулюючи, цим самим, як фізико-механічні, так і триботехнічні властивості композитів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз показує, що серед відомих композиційних матеріалів взаємопроникаючі по-

лімерні сітки є цікавими з наукової та технічної точки зору, про що свідчить значна кількість оглядів і публікацій [2–8]. З кожним роком такі матеріали все частіше використовують в багатьох галузях промисловості [9]. Відомо, що для матеріалів на основі епоксидного зв'язувача досить ефективними, поряд із мінеральними, є термопластичні наповнювачі, котрі дозволяють змінювати тривимірну структуру полімера у процесі структуроутворення, що, в свою чергу, впливає на експлуатаційні характеристики таких КМ [10–12].

У зв'язку з цим, актуальним є розроблення нових епоксидних КМ і створення антифрикційних матеріалів на основі модифікованого епоксидного олігомера. Представляє інтерес дослідити триботехнічні характеристики таких систем.

Метою роботи є дослідження впливу вмісту розчину полівінілового спирту на триботехнічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів.

Матеріали та методика випробувань. Проводили дослідження епоксидного олігомеру марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання використали низькотемпературний твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Стехіометричне співвідношення компонентів епоксидної матриці: 100мас.ч. ЕД-20 до 10 мас.ч. ПЕПА. В якості лінійного полімеру використовували термопласти і 25 %-ний розчин полівінілового спирту (ПВС) фірми Mowiol марки 10–98. Вміст термопласту змінювали в межах від 1 до 10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера.

Термічну обробку зрізків проводили шляхом нагрівання до 393 К зі швидкістю 3 К/хв., витримки впродовж 2 год і подальшого повільного охолодження до 293 ± 2 К. Триботехнічні характеристики матеріалів досліджували при обертовому русі в парі зі сталевим (сталь 45) циліндричним контртілом (\varnothing 28 мм) при швидкості ковзання 0,73 м/с (500 об/хв) і навантаженні 900 Н (53 кгс/см²). Зразок із нанесеним композитним покриттям досліджували за схемою торцевого тертя. Товщина покриття становила 5 мм, ширина доріжки тертя – 4 мм. Значення сили дії на контртіло реєстрували з частотою 1 Гц за допомогою цифрового індикатора ваги, синхронізованого із персональним комп'ютером.

Отримані результати обробляли в середовищі програми MATHCad, а саме – згладжували за допомогою вбудованої функції

supsmooth, яка дозволяє отримати вектор, створений використанням симетричної лінійної процедури згладжування методом найменших квадратів згідно правила k – ближніх сусідів, де k вибирається адаптивно.

Кінематичну схему установки для дослідження триботехнічних характеристик зображено на рис. 1.

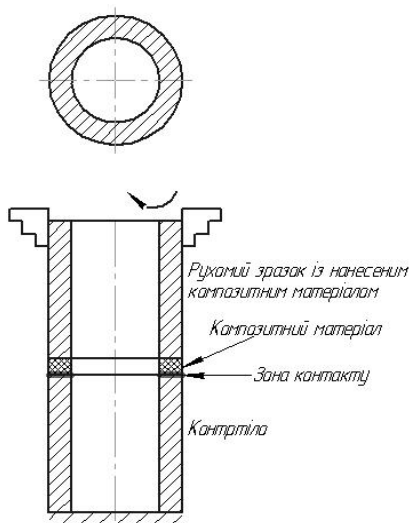


Рис. 1. Кінематична схема установки

Обговорення результатів досліджень. На першому етапі досліджували триботехнічні характеристики ненаповненої епоксидної матриці з ЕД-20. Тривалість роботи такого покриття у режимах поданих вище становить 19 хвилин.

Значення коефіцієнта тертя визначали із співвідношення

$$\mu = \frac{F_t}{N},$$

де F_t – сила тертя, N – навантаження.

Силу тертя визначали як: $F_t = \frac{F_\delta \cdot L}{R_{зр}}$, де F_δ – сила, що діє на індикатор, L – плече, $R_{зр}$ – радіус зразка.

Параметри L і $R_{зр}$ залишались незмінними у процесі досліджень і становили 0,145 м і 0,014 м відповідно.

Зміни в часі коефіцієнта тертя епоксидної матриці представлено на рис. 2.

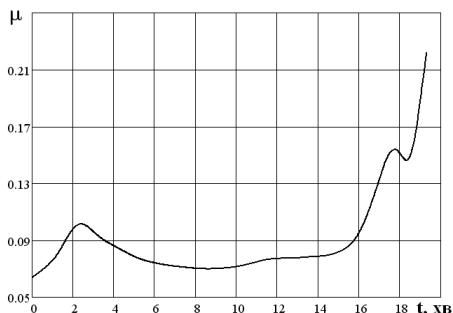


Рис. 2. Зміна коефіцієнту тертя епоксидної матриці

Як видно, на графіку є два чітко виражені піки, які характеризують ділянку припрацювання і ділянку на якій відбувається деструкція покриття. Збільшення коефіцієнту тертя в режимі припрацювання спостерігали в діапазоні від початку випробувань до 2,5 хв роботи, коли він був максимальним і становив $\mu = 0,1$. Час виходу на усталений режим роботи складає 4–4,5 хв від моменту, коли спостерігали максимальне значення коефіцієнта тертя в режимі припрацювання. Слід зауважити, що за цей період коефіцієнт μ знизився приблизно у 1,4 рази, а саме від $\mu = 0,1$ до $\mu = 0,071 - 0,073$. Час роботи покриття в усталеному режимі становить біля 8,5 хв, причому співвідношення між навантаженням і силою тертя знаходилось у межах $0,071 - 0,08$. У такому режимі, площа контакту покриття і контртіла є максимальною. Після 15 хв роботи спостерігали монотонне зростання коефіцієнту тертя, що, у свою чергу, супроводжувалося збільшенням вібрації і шуму виконавчих механізмів. Можна припустити, що має місце зміна фізико-механічних властивостей покриття у результаті термоокислювальної деструкції внаслідок низької теплопровідності епоксидної матриці. Підтвердженням цьому є підвищення температури у зоні тертя, що у кінцевому випадку призвело до руйнування покриття. Світлина зразка після досліджень показано на рис. 3. Характер руйнування поверхні матриці свідчить про формування напружень у матеріалі. Лінії сколювання є результатом виникнення залишкових напружень при формуванні композиту під час зшивання зв'язувача і формування

термодинамічного невірноваженого стану системи, що призводить до зменшення довговічності епоксидних покриттів [13; 14] і сприяє виникненню мікротріщин, які при циклічній фрикційній взаємодії переростають у тріщини та при подальшому розвитку призводять до сколювання матеріалу.

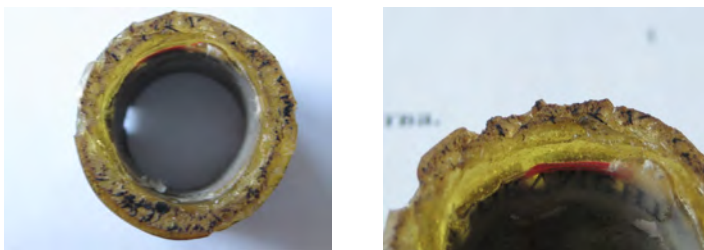


Рис. 3. Світліни зразка на основі епоксидної матриці

На другому етапі досліджували властивості епоксикомпозитів наповнених розчином полівінілового спирту. Часова залежність коефіцієнта тертя для матеріалу на основі 1 мас.ч. ПВС із 25%-го розчину представлено на рис. 4.

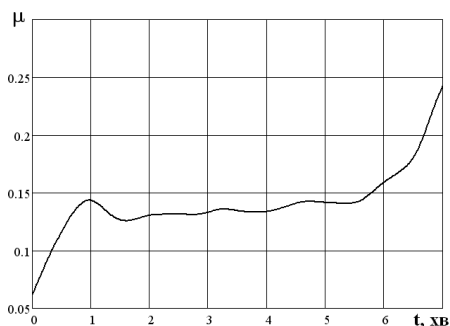


Рис. 4. Зміна коефіцієнту тертя матеріалу на основі 1 мас.ч. ПВС із 25 %-го розчину

Аналізуючи отриману залежність можна стверджувати, що вже при незначному наповненні епоксидної матриці розчином ПВС суттєво змінюються триботехнічні характеристики матеріалу. На відміну від епоксидної матриці, час виходу на усталений режим роботи становить 1,5 хв, проте коефіцієнт тертя у режимі припрацювання збільшився у 1,43 рази, в усталеному режимі – у 1,7 рази і

становить $\mu = 0,143$ і $\mu = 0,13 - 0,142$ відповідно. Вигляд зразків після випробувань представлено на рис. 5. Можна припустити, що термопластичний полімер ПВХ підвищує коефіцієнт тертя за рахунок збільшення адгезійної складової сили тертя при фрикційній взаємодії контактуючих поверхонь. Проте, такий матеріал стабільно працює в умовах підвищених температур. Підтвердженням цього може бути вигляд поверхні зразка після випробувань (рис. 5).



Рис. 5. Світлини зразка на основі 1 мас.ч. ПВХ з 25 %-го розчину

Наповнення матриці розчином ПВХ (рис. 5) призводить до перебудови надмолекулярних структур полімеру і формування тривимірної сіткової структури типу ВПС. Для таких матеріалів характерним є зміна молекулярної маси ділянок між зшивками і збільшення їх рухливості, що пришвидшує перебіг релаксаційних процесів і покращує експлуатаційні властивості покриттів. В свою чергу, збільшення температури у зоні фрикційного контакту, може привести як до деструкції зв'язувача, так і до додаткового зшивання матриці за рахунок взаємодії із термопластом.

При подальшому збільшенні концентрації розчину ПВХ у матеріалі спостерігали постійне зростання коефіцієнту тертя. Для матеріалу на основі 2,6 мас.ч. ПВХ (рис. 6) коефіцієнт тертя на початку становить $\mu = 0,03$ і до виходу на усталений режим роботи зростає до $\mu = 0,09$. Час роботи такого покриття в усталеному режимі становить 25 с і характеризується монотонним зростанням коефіцієнта тертя від $\mu = 0,09$ до $\mu = 0,17$, що, в кінцевому випадку, призводить до схоплення. Аналогічну тенденцію можна спостерігати і для матеріалів із вмістом ПВХ у 5 мас.ч. (рис. 7), проте, час роботи в усталеному режимі збільшився до 1,5 хв. При наповненні матриці розчином термопласту в 10 мас.ч. (рис. 8) ділянка, яка характеризує усталений режим роботи практично відсутня. Після

припрацювання, приблизно до 1 хв, коефіцієнт тертя стрибкоподібно зростає у 1,8 рази від $\mu = 0,11$ до $\mu = 0,195$, після чого відбувається деструкція матеріалу. Такий результат можна пояснити ефектом пластифікації епоксидного в'язучого при надмірному вмісті модифікатора (розчину ПВС) у полімерній матриці. Пластифікатор, введений в полімер, збільшує рухливість його ланцюгів і в такому випадку, дія пластифікатора подібна підвищенню температури, а саме: твердість і границя міцності на розтяг полімеру зменшуються, зростає зношення і коефіцієнт тертя за рахунок збільшення адгезійної складової сили тертя [15].

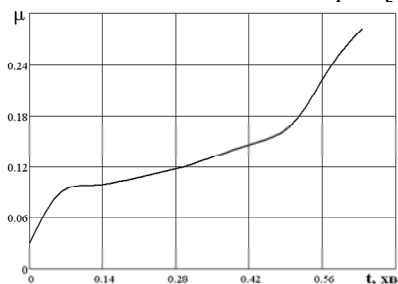


Рис. 6. Зміна коефіцієнту тертя матеріалу на основі 2,6 мас.ч. ПВС із 25 %-го розчину

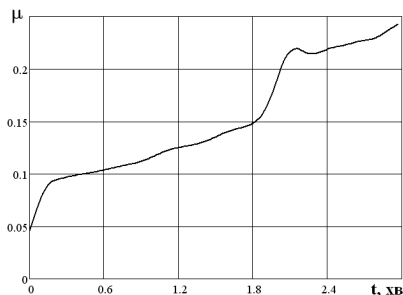


Рис. 7. Зміна коефіцієнту тертя матеріалу на основі 5 мас.ч. ПВС із 25 %-го розчину

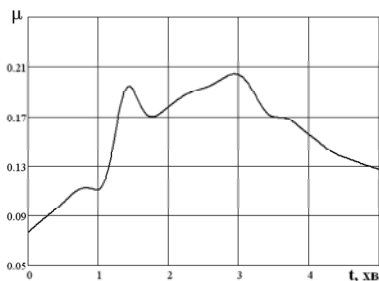


Рис. 8. Зміна коефіцієнту тертя матеріалу на основі 10 мас.ч. ПВС із 25 %-го розчину

Висновки. Встановлено, що композитні матеріали на основі лише епоксидного в'язучого і розчину полівінілового спирту не знижують коефіцієнт тертя у парі зі сталевим контртілом. Із збільшенням вмісту розчину термопласту коефіцієнт тертя таких покриттів при терті погіршуються, проте слід відмітити, що при оптимальній концентрації ПВС такі матеріали стійкіші до впливу

мальній концентрації ПВС такі матеріали стійкіші до впливу високих температур.

У подальших дослідженнях планується використання у комплексі термопластичних і функціональних добавок, які підвищують зносостійкість і знижують коефіцієнт тертя, а саме – графіт, фторопласт-4, порошки металів і оксидів та ін., що утворюють на поверхнях тертя стійку плівку переносу.

Список літератури

1. *Стухляк П. Д.* Эпоксидные композиты для защитных покрытий. – Тернополь: Збруч, 1994. – 178 с.

2. *Шилов В.В., Карабанова Л.В., Laurent David, Gisele Boiteux, Gerard Seytre, Гомза Ю.П., Несин С.Д., Сергеева Л.М., Луцык Е.Д., Святына А.В.* Особенности гетерогенной структуры полу-взаимопроникающих полимерных сеток на основе полиуретана полигидроксиэтилметакрилата. Полімерний журнал, 2005. Т.27 №4. С. 255–267.

3. *Карабанова Л.В., Сергеева Л.М., А.В.Святына G. Seytre, G. Boiteux, I. Stevenson.* Диэлектрическое исследование релаксационного поведения полу-взаимопроникающих полимерных сеток на основе полиуретана и поли(2-гидроксиэтилметакрилата). Полімерний журнал, 2007. Т.29 – №4. – С. 286–296.

4. *Бровко О.О., Гончарова Л.А., Штомпель В.І., Сергеева Л.М., Кочетов О.О., Бондаренко П.О.* Епокси-акрилатні взаємопроникні полімерні сітки: синтез, між фазова структура та властивості. Полімерний журнал, 2005. Т.27 №1. С. 45–50.

5. *Klempner D., Sperling L.H., Utracki L.A.* Interpenetrating polymer networks, *Advances in chemistry series.* – Vol. 239. – American Chemical Society, Washington. – 1994.

6. *Bauer B.J., Briber M., in: D. Klempner, K.C. Frisch(Eds.)* Advances in interpenetrating polymer networks. – Vol. 4. – Technomic, Lancaster. – 1994.

7. *Klempner D., Frisch K.C. (Eds.)* Polymer Alloys –Blends, Blocks, Grafts and Interpenetrating Networks. *Polymer Science and Technology.* – Vol. 10. – Plenum, New York. – 1979.

8. *Li B.Y., Bi X.P., Zhang D.H., Wang F.S., in: D.Klempner, K.C. Frisch (Eds.)* Advances in interpenetrating polymer networks. – Vol. 4. – Technomic, Lancaster. – 1994.

9. *Уразаев В.* Все взаимодействует, все технологии в электронной промышленности. №3, 2005, С. 8–10.

10. *Евдокимов Ю.А., Барсуков Р.Х.* Новые антифрикционные полимерные композиции, изготовленные на базе эпоксидных смол. – Ростов н/Д: кН.изд-во НТО Северо-Кавк. ж/д. – 1976. – 80с.

11. *Ильина З.Т., Ковбасенко В.В.* Влияние природы твердых смазок на антифрикционные свойства эпоксидных композиций. – Трение и изнашивание композиционных материалов. ч.2. – Гомель, – 1982, – С.17.

12. *Костецкий Б.И.* Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техника, 1970. – 359 с.

13. *Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М.* Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів.–Тернопіль: Збруч, 2005. – 182с

14. *Зубов П.И., Сухарева Л.А.* Структура и свойства полимерных покрытий.–М.: Химия,1982. – 256 с.

15. *Бертенев Г.М., Лаврентьев Г.В.* Трение и износ полимеров. – Ленинград. изд. «Химия», 1972. – 239 с.

Ключові слова: епоксикомпозити, полівініловий спирт, взаємопроникаючі полімерні сітки, коефіцієнт тертя.

Стухляк П.Д., Мороз К.М., Кравцов А.Г. **Исследование триботехнических свойств системы «эпоксидная матрица – поливиниловый спирт»**// Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 55. – С.143–151.

Исследован коэффициент трения материала на основе системы "эпоксидный связующий - поливиниловый спирт".

Рис. 8, список лит.:15 наим.

The research of the tribotechnical properties of the “epoxy matrix – polyvinyl alcohol” system

The coefficient of friction of material based on the “epoxy matrix - polyvinyl alcohol” system is investigated.

Стаття надійшла до редакції 21.03.2011