

*М. С. Стечишин, д-р техн. наук, проф.,
А. В. Мартинюк, асп.,
О. О. Білецький, канд. техн. наук, доц.*

КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХНЯХ У КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Хмельницький національний університет, e-mail: m-mezon@ukr.net

Наведено дані про кавітаційно-ерозійну зносостійкість покриттів на сталі 45, нормалізованій з фторопласту та поліпропілену, отриманих електростатичним методом на установці з псевдозрідженим шаром у нейтральних, кислих і лужних середовищах.

Постановка проблеми. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість металевих сплавів у корозійно-активних середовищах визначається механічним і корозійним чинниками руйнування. Корозія, сама по собі, не викликає суттєвих втрат маси, але є каталізатором втомного руйнування металевих поверхонь при їх мікроударному навантаженні в корозійному середовищі. Тому корозійна стійкість, а в багатьох випадках і повна хімічна інертність до дії агресивних середовищ, обумовила інтерес дослідників і практиків до застосування деталей з пластмас, що контактують з корозійними середовищами, зокрема в умовах тертя [1] та кавітації [2]. Попри ряд суттєвих переваг пластмас, їх застосування обмежується також нижчими, порівняно з металами, фізико-механічними характеристиками і їх великою залежністю від температури. Поєднання переваг металевих сплавів і пластмас можна досягти шляхом нанесення на металеві поверхні полімерних покриттів [3; 4].

Методика досліджень. Полімерні покриття наносили на зразки зі сталі 45 нормалізованої. На шліфовану і знежирену поверхню електростатичним методом наносили шар полімеру при $E = 1,0$ кВ/см для поліпропілену і при $E = 2,0$ кВ/см для фторопласту Ф4 (тефлон). Час нанесення покриття становив $\tau = 5-10$ хв. У праці [5] встановлено, що оптимальна товщина покриття на металах для забезпечення антикорозійних властивостей становить 200–250 мкм. Тому товщина досліджуваних покриттів становила: для поліпропілену

близько 200 мкм, а для фторопласту – 250 мкм [5]. Вибір покриттів з поліпропілену ПП2 та фторопласту Ф4 ґрунтувався на результатах раніше проведених досліджень [6].

Електростатичний метод нанесення полімерних покриттів набув найбільшого поширення завдяки можливості формувати рівномірне покриття, товщину якого можна регулювати в широких межах. У ванні (робочій камері) вібровихровим методом створюється кип'ячий шар, який перебуває під дією коронного розряду електричного поля високої напруги. В зоні корони проходить іонізація повітря з передачею електричного заряду аерозольним частинкам. При розміщенні в кип'ячому шарі заземленого холодного зразка на його поверхні під дією електричних сил осідають негативно заряджені частинки полімеру. Після цього покриття обплавлюється в муфельній печі за температури $t = 200\text{--}210\text{ }^\circ\text{C}$ для поліпропілену ПП2 і $t = 250\text{--}280\text{ }^\circ\text{C}$ для фторопласту Ф4 [5].

Дослідження кавітаційно-ерозійної зносостійкості проводили на установці з магнітострикційним вібратором, яка комплектується ультразвуковим генератором УЗДН-А [6]. Температура робочого середовища підтримувалася в межах $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, амплітуда коливань вібратора $a = 53\text{ мкм}$, частота $f = 22\text{ кГц}$ за потужності ультразвукового випромінювання генератора $P = 150\text{ Вт}$. Випробування проводили в нейтральному середовищі (3%-й розчин NaCl в дистильованій воді), кислому ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 10\text{ г/л} + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 - 5\text{ г/л}$) та лужному ($\text{CaO} - 250\text{ г/л} + 15\% \text{ цукрози від маси CaO}$) середовищах.

Результати досліджень та їх обґрунтування. Дослідження на кавітаційно-ерозійну зносостійкість поліпропілену та покриття на його основі показали (рис. 1, *a*), що покриття на основі полімеру ПП2 мають дещо нижчу зносостійкість порівняно з поліпропіленом в усіх досліджених середовищах. Так, за 2 год випробувань різниця зносостійкості становила 1,35; 1,38 та 1,45 рази відповідно у нейтральному, кислому та лужному середовищах. З продовженням терміну кавітаційних випробувань різниця в зносостійкості збільшується і за 3 год мікроударного навантаження становить 1,7; 1,68 та 1,51 рази. Очевидно, що причиною цього є різниця швидкостей проходження звукових хвиль у поліпропілені та сталій матриці, що зумовлює відбиття хвиль, які інтенсифікують процес руйнування покриття. Крім того, швидкість руйнування поліпропілену зме-

ншується, а покриття на його основі, навпаки, збільшується зі збільшенням часу мікроударного навантаження. Останнє пояснюється як зменшенням товщини покриття, так і структурними його змінами, що послаблюють його пружні властивості, а відтак спонукають до збільшення енергії відбивних звукових хвиль (рис.1, а; криві 1¹, 2¹, 3¹).

Для покриттів на основі фторопласту різниця в зносостійкості незначна, порівняно зі зразками чистого фторопласту (рис.1, б) і становить за 3 год кавітації від 6 до 11% в усіх досліджених середовищах. Фторопласт абсолютно нейтральний щодо досліджених середовищ і різниця в зносостійкості пояснюється лише фізичними параметрами середовищ, які обумовлюють енергетичні параметри ударних і відбивних хвиль за ультразвукової кавітації і, отже, інтенсивність руйнування поверхонь.

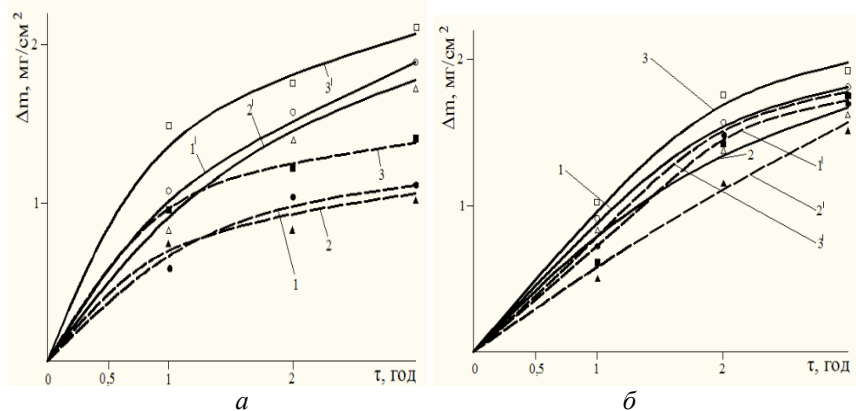


Рис. 1. Кавітаційно-ерозійна стійкість: а – поліпропілену ПП2 1, 2, 3 та покриття на основі поліпропілену ПП2 на сталі 45 1¹, 2¹, 3¹; б – фторопласту Ф4 1, 2, 3 та покриття на його основі 1¹, 2¹, 3¹ відповідно в нейтральному (1, 1¹), кислому (2, 2¹) та лужному середовищах (3, 3¹)

Досліджені покриття на сталі 45, нормалізовані за кавітаційно-ерозійною стійкістю (за зростанням втрат маси) залежно від виду середовища: кисле, нейтральне і лужне.

Аналіз даних (табл. 1) показує, що застосування полімерних покриттів для підвищення кавітаційно-ерозійної стійкості металевих сплавів є досить ефективним. Так, в нейтральному середовищі покриття на основі поліпропілену ПП2 та фторопласту Ф4 дозво-

ляють приблизно в 2 рази збільшити кавітаційну зносостійкість сталі 45 нормалізованої.

Втрати маси (мг/см²) унаслідок кавітаційно-ерозійного зношування за 3 год кавітації

Вид середовища	Матеріал				
	Сталь45 нормалізована	Сталь 45+ ПП2	Поліпропілен ПП2	Сталь 45+ Ф4	Фторопласт Ф4
Нейтральне	3,62	1,89	1,11	1,82	1,72
Кисле	59,25*	1,78/1,23*	1,06/0,89*	1,67/1,34*	1,57/1,1*
Лужне	1,71	2,08	1,38	1,98	1,78

*– втрати маси за 2 год кавітації

Особливо ефективним виявилось застосування полімерних покриттів в кислому середовищі: кавітаційна стійкість збільшилась у 40 разів. Застосування фторопласту для виготовлення кавітаційно-стійких деталей збільшує їх зносостійкість більш як у 50, а з поліпропілену у 60 разів.

Для оцінювання довговічності деталей важливе значення має кінетика зношування робочих поверхонь деталей. Аналіз кривих втрат маси в кислому середовищі (рис. 2, а) показує катастрофічне руйнування сталі 45 у кислому середовищі (крива 1 на рис.2, а) і значне збільшення стійкості при застосуванні полімерних покриттів на основі поліпропілену і фторопласту (криві 2 і 3 на рис. 2, а). Покриття з поліпропілену і фторопласту показують однакову зносостійкість в кислому середовищі, а найбільш зносостійкими є деталі з поліпропілену (крива 4 на рис. 2, а). Важливим є також те, що крива кінетики зношування поліпропілену має затухаючий характер, що вказує на зменшення інтенсивності руйнування зі збільшенням часу мікроударного навантаження.

Більш складний і суперечливий характер мають криві кінетики втрат маси сталі 45 нормалізованої, полімерних покриттів на сталі та самих полімерів при їх кавітаційному руйнуванні в лужному середовищі (рис. 2, б). На початку випробувань сталь 45 нормалізована має значно менші втрати маси, аніж полімерні покриття, а після 2 год кавітації процес зношування різко прискорюється і набуває катастрофічного характеру (крива 1 на рис. 2, б). Водночас

швидкості руйнування покриття на основі фторопласту (крива 2 на рис. 2, б) та фторопласту (крива 3 на рис. 2, б) зменшуються зі збільшенням часу мікроударного навантаження. Найбільш ефективним кавітаційностійким матеріалом (крива 4 на рис. 2, б) є поліпропілен ПП2, який дозволяє на 26 % збільшити стійкість деталей в лужному середовищі, порівняно з деталями з фторопласту Ф4.

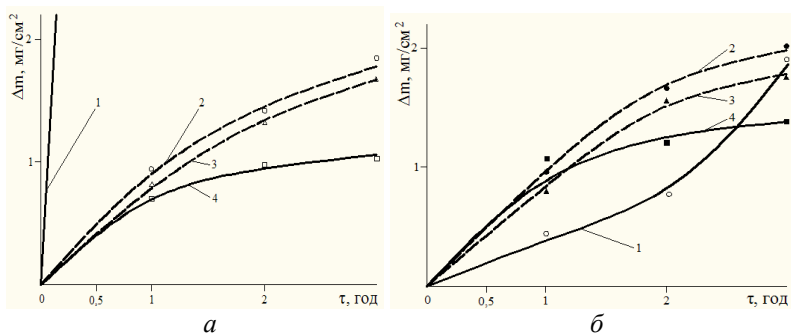


Рис. 2. Кавітаційно-ерозійна стійкість: а) 1 – сталь 45 нормалізована; 2 – сталь 45 нормалізована + покриття з поліпропілену; 3 – сталь 45 + покриття з фторопласту Ф4; 4 – поліпропілен в кислому середовищі; б) 1 – сталь 45 нормалізована; 2 – сталь 45 нормалізована + покриття із фторопласту Ф4; 3 – фторопласт Ф4; 4 – поліпропілен ПП2 в лужному середовищі

Висновки:

1. Покриття на основі поліпропілену та фторопласту дещо поступають за кавітаційно-ерозійною стійкістю поліпропілену та фторопласту, але є ефективним захистом металевих поверхонь від руйнування в нейтральних, кислих та лужних середовищах.

2. Досліджені покриття в 2 рази збільшують кавітаційно-ерозійну стійкість металевих поверхонь в нейтральних і більш як в 40 разів в кислих середовищах.

3. Найбільш ефективним для експлуатації в лужних середовищах є кавітаційностійкі деталі із поліпропілену, а для великих механічних навантажень – із фторопласту.

Список літератури

1. *Трение и износ материалов на основе полимеров* / [В.А. Бельй, А.И. Свиреденок, М.И. Петраковец и др.] – Минск: Наука и техника, 1976. – 430с.
2. *Стечишин М.С.* Кавітаційно-ерозійна стійкість полімерних ма-

теріалів в корозійно-активних середовищах / Стечишин М.С., Мартинюк А.В. // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2009. – №2. – С.69 – 74.

3. *Белый В.А.* Полимерные покрытия. / Белый В.А., Довгяло В.А., Юркевич О.Р. //– Минск: Наука и техника. – 1976. – 414 с.

Металлополимерные материалы и изделия / Под ред. В.А. Белого. – М.: Химия. – 1979. – 312 с.

4. *Сухарев Э.А.* Технология и свойства защитных покрытий в машинах. – Ровно: УГУВХП. – 2004, – 182с.

5. *Стечишин М.С.* Зносостійкість полімерних матеріалів при їх мікроударному навантаженні / Стечишин М.С., Мартинюк А.В. // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2008. – Вип.49. – С.104 – 113.

6. *Мартинюк А.В.* Методика проведення досліджень на зносостійкість полімерних матеріалів при мікроударних навантаженнях // Проблеми трибології. – Хмельницький: ХНУ, 2009. – №1. – С.35 – 38.

УДК 620.193.16

Стечишин М.С., Мартинюк А.В., Билецкий О.О. **Кавитационно-эрозионная износостойкость полимерных покрытий на металлических поверхностях в коррозионно-активных средах**// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2009. – Вип. 52. – С.204–209.

Представлены результаты кавитационно-эрозионной износостойкости покрытий на стали 45, нормализованной на основе фторопласта и полипропилена, полученных электростатическим методом на установке с псевдосжиженным слоем в нейтральных, кислых и щелочных средах.

Stechishin M.S., Martinyuk A.V., Beleckiy O.O. **Cavitation-erosion wear resistance of polymeric coverings on metals surfaces in corrosionno-active environments**

This paper presents data on cavitation erosive wearproofness of steel 45 coverages that were normalized from fluoroplastu and polipropilenu. Ftoroplastu and polipropilenu were got with an electrostatic method using a setting with pseudo-burning cheese in normal, acid and alkaline environments.

Стаття надійшла до редакції 11.09.09.