

УДК 678.743.22:746.222-139

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29890

Досліджено вплив природи полістирольних модифікаторів і діестерфталатних пластифікаторів на поверхневу твердість, теплостійкість за Віка, ступінь вивільнення пластифікатора, пружно-пластичні властивості полівінілхлоридних пластикатів та композитів на їхній основі. Встановлено вплив полімер-силікатних матеріалів на фізико-механічні і теплофізичні властивості та визначено умови направленої регулювання технологічних і експлуатаційних властивостей модифікованих композитів

Ключові слова: полівінілхлорид, модифікування, полістирол, полімер-силікатний композит, пластифікація, акрилонітрилбутадієстирольний пластик, наповнювач, дибутилфталат

Исследовано влияние природы полистирольных модификаторов и диестерфталатных пластификаторов на поверхностную твердость, теплостойкость по Вика, степень высвобождения пластификатора, упруго-пластические свойства поливинилхлоридных пластикатов и композитов на их основе. Установлено влияние полимер-силикатных материалов на физико-механические и теплофизические свойства, а также определены условия направленного регулирования технологических и эксплуатационных свойств модифицированных композитов

Ключевые слова: поливинилхлорид, модификация, полистирол, полимер-силикатный композит, пластификация, акрилонитрилбутадиенстирольный пластик, наполнитель, дибутилфталат

ВПЛИВ ПРИРОДИ ПЛАСТИФІКАТОРА І ПОЛІСТИРОЛЬНОГО МОДИФІКАТОРА НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ ПЛАСТИКАТІВ ТА КОМПОЗИТІВ

Ю. В. Ларук
Аспірант*

E-mail: akerlem@gmail.com

В. Є. Левицький

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: vlevytskyj@gmail.com

* Кафедра хімічної технології переробки пластмас
Національний університет
"Львівська політехніка"
вул. Степана Бандери, 12,
м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Розробленню нових полівінілхлоридних (ПВХ) матеріалів, зокрема композиційних, приділяється підвищена увага у зв'язку з їхнім широким використанням для різноманітних цілей у вигляді листів, труб, шлангів, профілів, покриттів, виробів конструкційного призначення тощо. Завдяки фізичному модифікуванню ПВХ внаслідок введення додатків різної природи вдається створити матеріали з необхідним комплексом експлуатаційних показників для виробів конкретного практичного призначення.

Полімерні композиційні матеріали, в тому числі і пластифіковані ПВХ, складаються із неперервної полімерної матриці, в якій рівномірно розподілена дискретна чи неперервна фаза наповнювача. При цьому, роль полімерної матриці полягає у створенні міцного зв'язку між окремими елементами наповнювача і забезпеченні композиту монолітності і здатності до переробки як у високоеластичному, так і в'язкотекучому стані [1]. Наповнювач надає композиту міцності, жорсткості, теплостійкості та інших цінних властивостей [2]. Крім того, поверхня наповнювача впливає на процеси структуроутворення в поверхневому шарі і в композитах при певних умовах реалізуються такі

властивості, які не мав жоден із компонентів окремо [3]. До наповнювачів-модифікаторів полімерних композитів, зокрема і на основі ПВХ, ставляться такі вимоги: технологічна спорідненість до полімерної матриці; високий ступінь чистоти, відсутність домішок; необхідні фізико-хімічні характеристики наповнювача (розмір, дисперсність, питома площа поверхні, наявність функційних груп тощо); стабільність фізичних і хімічних властивостей під час переробки композитів під дією високого тиску, температури та агресивних середовищ; здатність направлено впливати на властивості композиту.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Полімерні композиційні матеріали, які поряд з основним полімером містять високомолекулярний модифікатор, відзначаються необмеженими можливостями впливу природи і вмісту як полімерного модифікатора, так і наповнювача, на морфологію матеріалу [1, 4], і тим самим, на комплекс технологічних і експлуатаційних властивостей.

Як полімерні модифікатори ПВХ використовують цілий ряд полімерних матеріалів [5]: акрилові і бу-

тадієн-стирольні кополімери, термопластичні еластomers, каучуки, поліолефіни, полістирольні пластики тощо. Для підвищення сумісності компонентів в таких сумішах можуть бути використані хімічно модифіковані полімери: хлорований поліетилен [6], малеїнізований полібутадієн [7] тощо. Характер впливу полімерних модифікаторів на морфологію ПВХ полягає у формуванні в модифікованому матеріалі рівноважнішої структури з меншим вмістом залишкових напружень, здатної витримувати великі деформаційні навантаження.

Слід відзначити, що фізичне модифікування ПВХ пластикатів полістирольними матеріалами [8, 9], яке включає попереднє розчинення модифікатора в діестерфталатному пластифікаторі з подальшим суміщенням з ПВХ, дає можливість рівномірно розподілити модифікатор в об'ємі матеріалу внаслідок підвищення технологічної сумісності між компонентами, що обумовлено перерозподілом міжмолекулярних взаємодій в системі.

Властивості полімерних композитів в значній мірі залежать як від природи полімерної матриці, так і наповнювача. Модифіковані силікатні наповнювачі суттєво підвищують фізико-механічні і теплофізичні властивості полікапроаміду [10] і поліпропілену [11], а металовмісні – підвищують термостабільність та вогнестійкість термопластів, зокрема, полівінілхлориду [12], що обумовлено взаємним впливом компонентів на морфологію композитів.

Направлене введення полімерних модифікаторів, дрібнодисперсних наповнювачів, діестерфталатних пластифікаторів дозволяє регулювати фізико-механічні, теплофізичні і фізико-хімічні властивості модифікованих матеріалів в широких межах.

3. Мета та задачі дослідження

Метою досліджень є встановлення взаємозв'язку природи і вмісту діестерфталатних пластифікаторів та полістирольних модифікаторів з фізико-механічними, теплофізичними та фізико-хімічними властивостями модифікованих полівінілхлоридних пластикатів та композитів на їхній основі.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- дослідити вплив полістирольного модифікатора на пружно-пластичні властивості полівінілхлоридних пластикатів, їхню поверхневу твердість, теплостійкість за Віка, ступінь вивільнення пластифікатора;
- встановити вплив вмісту полістирол-магнетитного наповнювача на міцність під час розривання і поверхневу твердість ПВХ композитів.
- встановити вплив полімер-силікатного наповнювача на фізико-механічні і теплофізичні властивості ПВХ композитів.

4. Матеріали і методи досліджень впливу полімерних модифікаторів та наповнювачів на властивості полівінілхлоридних пластикатів і композитів

Дослідні зразки готували на основі ПВХ марок Lascovyl PB1156 та KSR-67. Пластифікаторами вступали очищені дибутифталат (ДБФ) і діоктилфталат

(ДОФ). Як полімерні модифікатори використовувались: суспензійний ПС і акрилонітрилбутадієнстирольний (АБС) пластик. Як наповнювачі були використані полімер-неорганічні матеріали: полістирол-магнетитові матеріали (ПММ), які є відходами поліграфічного виробництва, та полімер-силікатні композити (ПСК), в яких макромолекули рівномірно розподілені в силікатному каркасі. ПСК одержували за розробленою технологією [13] сумісним осадженням з розчинів натрієвого рідкого скла і поверхнево-активних полімерів (полівінілпіролідону (ПВП) і полівінілового спирту (ПВС)) під дією хлоридної кислоти або хлоридів металів, зокрема купруму хлориду.

Полістирольний модифікатор попередньо розчиняли у пластифікаторі з наступним суміщенням з ПВХ. Потім композицію желювали впродовж 1 год. при 363 К з наступним вальцюванням при 418 К або екструзуванням в екструдері типу Cellier. Для приготування композиційних матеріалів дрібнодисперсний ПММ або ПСК попередньо змішували з ПВХ у змішувачі барабанного типу МШЛ-1.

Поверхневу твердість зразків за конічною точкою текучості визначали на консистометрі Хеплера при 293 К вдавлюючи в зразок полімеру сталевий конус з кутом загострення 58° 08' під навантаженням 49 Н впродовж 60 с. Визначення пружно-пластичних характеристик проводили з використанням твердоміра ТШР-76 за ISO 7619. Міцність під час розривання і відносне видовження під час розтягування визначали за ISO R527 на розривній машині TIRA Test 2200. Визначення теплостійкості за Віка проводили за ISO 306-68.

5. Результати досліджень показників властивостей модифікованих ПВХ пластикатів і композитів залежно від їх складу та їх обговорення

Попереднє розчинення полістирольного модифікатора в діестерфталатних пластифікаторах з подальшим суміщенням одержаного розчину або суспензії з дрібнодисперсним ПВХ дозволяє одержати модифіковані ПВХ матеріали, які відзначаються технологічністю під час переробки як вальцюванням, так і екструзією, а також рівномірним розподілом компонентів. Такі модифіковані матеріали залежно від природи пластифікатора та полімерного модифікатора відзначаються різним комплексом фізико-механічних (поверхневою твердістю (F), числом пружності (S)), теплофізичних (теплостійкістю за Віка (T_В)) та фізико-хімічних (ступенем вивільнення пластифікатора (C_В)) властивостей (табл. 1).

Слід відзначити, що значення числа пружності ПВХ матеріалів з підвищенням вмісту полістирольного модифікатора збільшується. Так, для композицій на основі ДБФ збільшення вмісту ПС у 1,5 рази призводить до збільшення значення поверхневої твердості на 20 %. Аналогічний вплив спостерігається під час використання як модифікатора полівінілхлоридних матеріалів АБС пластику. Збільшення вмісту модифікатора дає можливість підтримувати на високому рівні пружні характеристики ПВХ пластикатів навіть при суттєвому (у 4 рази) збільшенні вмісту пластифікатора; при цьому число пружності становить ≈80–84 %.

Такі особливості пружно-пластичних властивостей модифікованих ПВХ пластикатів, очевидно, пов'язані

зі зменшенням рухливості молекул пластифікатора під впливом полімерного модифікатора та утворенням щільної флуктуаційної сітки за участю полістирольних макромолекул (рис. 1).

Таблиця 1

Вплив природи пластифікатора та полістирольного модифікатора на властивості ПВХ матеріалів

№ з/п	Вміст компонента, м.ч. на 100 м.ч. ПВХ				F, МПа	S, %	ТВ, °С	СВ, %
	Модифікатор		Пластифікатор					
	ПС	АБС	ДБФ	ДОФ				
1	-	-	30	-	30,54	42,53	~22	3,36
2	-	-	-	30	75,42	40,57	40	0,58
3	-	2,8	30	-	56,65	52,49	36	1,59
4	2,8	-	30	-	50,69	48,32	35	1,13
5	4,2	-	30	-	60,03	84,61	-	1,54
6	13,4	-	90	-	23,50	80,14	-	1,81
7	17,6	-	120	-	-	81,29	-	2,67
8	2,8	-	-	30	80,65	59,00	38	1,95

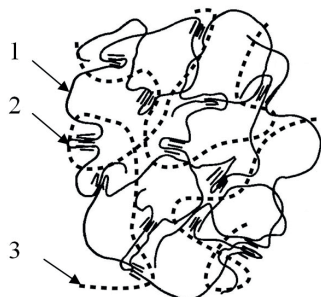


Рис. 1. Схематичне зображення модифікованого ПВХ пластикату: 1 – макромолекули ПВХ; 2 – поперечні зшивки кристалітів ПВХ; 3 – полістирольний модифікатор

Про зменшення рухливості молекул пластифікатора під впливом полістирольного модифікатора також свідчить зменшення значень ступеня вивільнення пластифікатора з модифікованих полівінілхлоридних матеріалів. Утворення щільнішої флуктуаційної сітки за безпосередньої участі полістирольних макромолекул підтверджують теплофізичні показники модифікованих матеріалів. Так, у випадку використання полістирольного модифікатора спостерігається підвищення значення теплостійкості за Віка ПВХ пластикатів на основі ДБФ на 15–20 °С.

Вплив полістирольного модифікатора на морфологію та властивості ПВХ пластикатів також простежується під час їхнього наповнення полістирол-магнетитовими матеріалами.

Встановлено (рис. 2), що для ПВХ пластикатів з вмістом пластифікатора 30 мас. ч. введення ПММ призводить до суттєвого зростання міцності під час розривання та поверхневої твердості композитів, а для пластикатів з вмістом пластифікатора 50 мас. ч. – спостерігається зворотна картина.

Такі особливості властивостей модифікованих ПВХ матеріалів, очевидно, пов'язані зі зміною характеристик міжфазних шарів, взаємним впливом компонентів на морфологію ПВХ, а також різним харак-

тером взаємодій та різним ступенем набрякання ПС в пластифікаторі з можливим його розчиненням та розподіленням у ПВХ матриці.

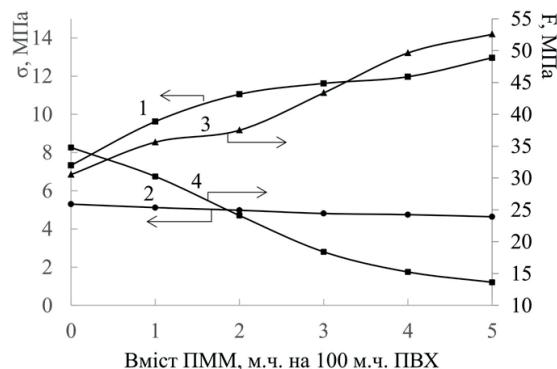


Рис. 2. Вплив вмісту ПММ на значення міцності під час розривання та поверхневої твердості ПВХ композитів при різному вмісті пластифікатора. Вміст ДБФ, мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ: 1, 3 – 30; 2, 4 – 50

Слід відзначити, що ПММ підвищує значення числа пружності ПВХ композитів незалежно від вмісту пластифікатора. Так, введення 5 мас. ч. ПММ підвищує значення S композитів при вмісті пластифікатора 30 мас. ч. з 42,5 % до 52,9 %, а при вмісті 50 мас. ч. – з 74,9 % до 78,8 %.

У ПВХ композитів, які містять ПММ, характер зміни фізико-механічних властивостей, насамперед, пов'язаний з утворенням перехідних шарів між ПВХ та полістирольними макромолекулами наповнювача за участі пластифікатора.

Наявність у наповнювачі полістирольних макромолекул, очевидно, призводить до формування міцного адгезійного зв'язку з ПВХ матрицею, що є необхідною умовою підсилення і утворення на межі розділу поверхневих шарів з особливими властивостями.

Поряд з цим, підвищення технологічних і експлуатаційних властивостей полімерних композиційних матеріалів, зокрема полівінілхлоридних, досягається лише в тому випадку, коли зберігаються взаємодії компонентів композиту в процесі його експлуатації. А це можливе лише під час їх взаємодії на межі розподілу фаз, що сприяє підвищенню сумісності наповнювача і полімерної матриці. Серед методів підвищення сумісності між компонентами полімерних композиційних матеріалів широко використовуються методи, пов'язані з попереднім модифікуванням наповнювачів неорганічної природи функційноактивними високомолекулярними сполуками (ВМС) адсорбцією на поверхні дрібнодисперсних неорганічних частинок або ж внаслідок сумісного осадження дрібнодисперсних наповнювачів та функційноактивних ВМС [10, 14]. Сумісне осадження, порівняно з іншими способами модифікування, дозволяє одержати полімер-силікатні матеріали, в яких ВМС модифікатор рівномірно розподілений в силікатному каркасі.

У зв'язку з цим, також являло інтерес встановити вплив модифікованих полівінілпіролідом дрібнодисперсних силікатних наповнювачів – ПСК на фізико-механічні та теплофізичні властивості ПВХ пластикатів.

Встановлено (рис. 3), що незалежно від вмісту ПСК в ПВХ композиті оптимальний вміст полімерного модифікатора у складі ПСК становить 2–5 %.

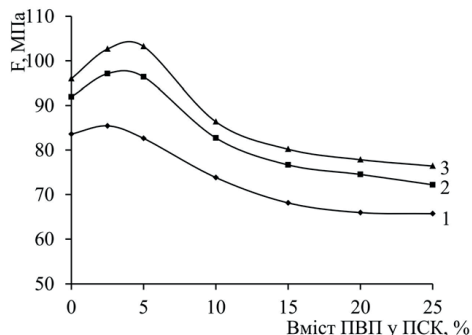


Рис. 3. Вплив вмісту ПВП у модифікованому силікатному наповнювачі на значення поверхневої твердості ПВХ матеріалу (ПВХ:ДОФ:ПС=100:2,8:30 мас. ч.). Вміст ПСК, %: 1 – 1, 2 – 5, 3 – 10

Подальше збільшення вмісту ПВП в ПСК призводить до спадання значення поверхневої твердості ПВХ композитів, що, очевидно, є наслідком зміни поверхневих характеристик наповнювача під дією модифікатора, зокрема, гідрофілізації поверхні та формування менш щільних міжфазних шарів [14].

Як модифікований, так і не модифікований ПСК, підвищує теплостійкість за Віка та поверхневу твердість ПВХ композитів (рис. 4).

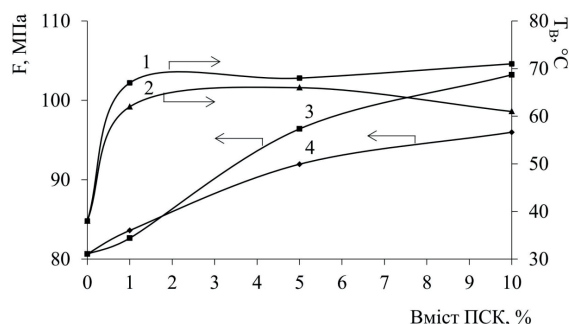


Рис. 4. Вплив вмісту наповнювача ПСК на поверхневу твердість та теплостійкість за Віка ПВХ композитів (ПВХ:ДОФ:ПС = 100:2,8:30 мас. ч.). 1, 3 – ПСК модифікований полівнілпіролідом; 2, 4 – не модифікований ПСК

При цьому, модифікований полівнілпіролідом ПСК суттєвіше впливає на фізико-механічні та теплофізичні властивості ПВХ композитів. Це може бути спричинено завершенням процесу структуроутворення, щільнішим пакуванням макромолекул та заповненням мікропорожнин під впливом макромолекул ПВП при їх вмісті 2–5 % в силікатному наповнювачі.

6. Висновки

Встановлено вплив природи полістирольного модифікатора на фізико-механічні, теплофізичні і фізико-хімічні властивості ПВХ пластикатів. Зі збільшенням вмісту полістирольного модифікатора зростає

поверхнева твердість на 40–60 %, теплостійкість за Віка на 15–20 °C і значення числа пружності композитів у 1,2–1,5 рази, а також зменшується ступінь вивільнення пластифікатора у 1,5–2 рази. Такий ефект досягається направленим впливом природи і вмісту модифікатора та пластифікатора на морфологію ПВХ пластикатів з утворенням щільнішої флукуційної сітки, що обумовлено перерозподілом міжмолекулярних взаємодій в системі. Виявлено зростання фізико-механічних і теплофізичних показників ПВХ композитів зі збільшенням вмісту полімервмісних наповнювачів (полістирол-магнетитові матеріали та полімер-силікатні композити) завдяки підвищенню технологічної сумісності між компонентами і утворення міжфазних шарів за безпосередньої участі макромолекул наповнювача.

На підставі проведених досліджень показано, що направлене введення полістирольних модифікаторів, дрібнодисперсних полімервмісних наповнювачів і діестерфталатних пластифікаторів дозволяє впливати на морфологію ПВХ матеріалів і, тим самим, досягати необхідного комплексу фізико-механічних, теплофізичних і фізико-хімічних властивостей композитів для конкретного практичного використання.

Література

- Long, A. C. Composites forming technologies [Text] / A. C. Long. – Cambridge: Woodhead Publishing House, 2007. – 344 p. doi: 10.1533/9781845692537
- Fink, F. J. A concise introduction to additives for thermoplastic polymers [Text] / J. K. Fink. – Hoboken, Salem: Wiley-Scrivener, 2010. – 282 p. doi: 10.1002/9780470624241
- Xantos, M. Functional fillers for plastics, 2nd edition [Text] / Marino Xantos. – Weinheim: Wiley-VCH, 2010. – 531 p. doi: 10.1002/9783527629848
- Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин. – СПб: Професия, 2008. – 560 с.
- Imran, N. U. Effect of various additives on the physical properties of poly(vinyl chloride) resin [Text] / N. U. Imran, A. S. Suhail, A. Shaheen. // Pak. J. Anal. Environ. Chem. – 2010. – Vol. 11, Issue 2. – P. 44–50.
- Zhou, Q. Modification of polyvinyl chloride/chlorinated polyethylene blends with ultrafine particles of polystyrene [Text] / Q. Zhou, W. Yang, Q. Wu, B. Yang, J. Huang, J. Shen // European Polymer Journal. – 2000. – Vol. 36, Issue 8. – P. 1735–1740. doi: 10.1016/s0014-3057(99)00228-1
- Тихонов, Н. Н. Исследование особенностей модификации поливинилхлорида продуктами малеинизации полибутадиена [Текст] / Н. Н. Тихонов, Б. С. Кирич // Пласт. массы. – 2010. – № 10. – С. 24–28.
- Ларук, Ю. В. Вплив міжмолекулярних взаємодій на сумісність полівінілхлориду і полістиролу в діестерфталатних пластифікаторах [Текст] / Ю. В. Ларук, А. М. Калагурка, В. Є. Левицький // Вісник НУ "Львівська політехніка", "Хімія, технологія речовин та їх застосування". – 2014. – № 787. – С. 425–428.

9. Pingping, Z. Viscosity behavior of incompatible poly(vinyl chloride) / polystyrene blends in various solvents [Text] / Z. Pingping, Y. Haiyang, Z. Yiming. // European Polymer Journal. – 1999. – Vol. 35. Issue 5. – P. 915–921. doi: 10.1016/s0014-3057(98)00064-0
10. Levytskyj, V. Influence of the silicate modifier nature on the structure and properties of polycapraamide [Text] / V. Levytskyj, V. Kochubei, A. Gancho // Chemistry and Chemical Technology. – 2013. – Vol. 7, Issue 2. – P. 169–172.
11. Ганчо, А. В. Структура і властивості композитів на основі поліпропілену та полімер-силікатного модифікатора [Текст] / А. В. Ганчо, В. Є. Левицький, А. С. Масюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 5, № 6 (53). – С. 54–57. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/1250/1152>
12. Stipanelov Vrandečić, N. Effect of Ca/Zn stabiliser on thermal degradation of poly(vinyl chloride)/chlorinated polyethylene blends [Text] / N. Stipanelov Vrandečić, I. Klarić, U. Roje // Polymer Degradation and Stability. – 2001. – Vol. 74, Issue 2. – P. 203–212. doi: 10.1016/s0141-3910(01)00013-1
13. Ганчо, А. В. Фізико-хімічні закономірності формування полівінілпіролідон-силікатних наноконпозиційних матеріалів [Текст] / А. В. Ганчо, В. Є. Левицький, О. В. Суберляк // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – № 6. – С. 55–59.
14. Tenkayala, S. R. Synthesis and characterization of poly(vinyl alcohol) / water glass (SiO₂) nanohybrids via sol-gel process [Text] / S. R. Tenkayala, M. C. S. Subha, V. R. Gorla, Y. H. Kim, C. R. Kashay, V. P. Chalapati // Journal of Applied Polymer Science. – 2010. – Vol. 117, Issue 6. – P. 3533–3538. doi: 10.1002/app.32258

Подано експериментальні дані вимірювання стійкості покриттів, які одержано на сталі 15X11МФ за допомогою плазмотронного, вакуумно-дугового, іонно- та атомно-іонного методів формування. Одержано кінетичні криві руйнування покриттів. Встановлено, що покриття, які одержано іонно-плазмовим методом мають більшу стійкість до дії кавітації порівняно із сталлю. Вивчено характер ерозії поверхні покриттів. Встановлено взаємозв'язок між стійкістю і мікротвердістю покриттів

Ключеві слова: покриття, формування плазмотронне, електронно-іскрове, вакуумно-дугове, атомно-іонне, кавітація, стійкість, взаємозв'язок, мікротвердість

Представлены экспериментальные данные по измерениям стойкости (прочности) покрытий при воздействии ультразвуковой кавитации. Покрытия получены на образцах из нержавеющей стали 15X11МФ при использовании плазмотронного, вакуумно-дугового, атомно-ионного методов осаждения. Получены кинетические кривые покрытий и характер изменения их поверхности при воздействии кавитации. Установлена высокая стойкость ионно-плазменных покрытий и ее взаимосвязь с микротвердостью

Ключевые слова: покрытия, плазмотронное осаждение, электроискровое, вакуумно-дуговое, атомно-ионное, кавитация, стойкость, взаимосвязь, микротвердость

УДК 621.793

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29576

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ ПРИ МИКРОУДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

В. Н. ВоеводинЧлен-корреспондент АН Украины,
профессор, директор**

E-mail: vov@kipt.kharkov.ua

Г. Н. КартазовКандидат технических наук, старший научный
сотрудник, руководитель отдела*

E-mail: kartmazov@kipt.kharkov.ua

В. Г. МарининКандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник*

E-mail: marinin@kipt.kharkov.ua

*Отдел интенсивных
вакуумно-плазменных технологий****Институт физики твердого тела,
материаловедения и технологий

Национальный научный центр

«Харьковский физико-технический институт»

ул. Академическая, 1, г. Харьков, Украина, 61108

1. Введение

Опыт эксплуатации оборудования на АЭС и ТЭС показывает, что ряд его элементов работает в условиях микроударного воздействия, обусловленного высокоскоростными потоками капель воды, твердых частиц и кавитацией. При этом в поверхностных слоях материа-

ла возникают локальные напряжения, изменяющиеся во времени с большой скоростью и достигающие значительных, сравнимых по величине с пределом прочности материала, в частности, стали 15X11МФ (σ_T^{20} ~700 МПа). Результатом этого воздействия является интенсивное разрушение (эрозия) поверхностных слоев конструкционных материалов, что определяет эксплуатацию