

УДК

М. С. СТЕЧИШИН, В. П. ОЛЕКСАНДРЕНКО, А. В. МАРТИНЮК,
Ю. М. БІЛИК

Хмельницький національний університет, Україна

УСТАНОВКА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛІВ ТА ПОКРИТТІВ.

В роботі розглядається обґрунтування методики і установка для проведення електрохімічних випробувань і оцінки кавітаційно-ерозійної зносостійкості поверхонь металів і покриттів в корозійно-активних середовищах-електролітах. Розглянуто також питання впливу температури на інтенсивність зношування та конструкція вузла охолодження установки для виключення температурного фактора зношування.

Ключові слова: кавітація, поляризаційні криві, корозія, композиційні електролітичні покриття (КЕП), корозійно-механічне зношування, кавітаційно-ерозійне зношування.

Вступ. На даному етапі проведення досліджень корозійно-механічного зношування (КМЗ) відсутні лабораторні установки, що відтворюють процес КМЗ у повному та істинному виді. Тому найбільш достовірні дані зносостійкості отримують безпосередньо в умовах його експлуатації, що пов'язано з великими витратами часу, а результати не можуть бути використаними для аналізу зносостійкості іншого обладнання. У зв'язку з цим застосовують лабораторні установки для моделювання процесів кавітації – гідродинамічні труби або сопла Вентурі [1; 2], установки з диском який обертається [3], ударно-ерозійні стенди (УЕС) [4] та установки з магнітострикційним вібратором (МВС) [5].

На установках з МВС зразки піддаються дії ультразвукової кавітації з частотою коливань приблизно 20 кГц і амплітудою 20...100 мкм. Метод випробувань металів на МСВ закладено в стандарти знаходжень кавітаційно-ерозійної зносостійкості в США і в Чехії. Установки з МСВ відрізняються компактністю, невеликою енергоємністю, високою відтворюваністю результатів. Разом з тим, невеликий об'єм робочого середовища швидко нагрівається при проведенні випробувань, що вносить суттєві похибки в результати досліджень. Крім того, знаходження кавітаційно-ерозійної зносостійкості зразків з покриттями за кінетикою втрат маси не дозволяє оцінити вклад фазових структурних складових покриття на його загальну стійкість.

Постановка проблеми. Відомо, що при терті і кавітації в корозійно-активних середовищах значно пришвидшуються корозійні процеси. Встановлено, що залежно від корозійної активності робочого середовища, умов тертя або параметрів циклічного мікроударного навантаження при кавітації та терті частка втрат металу від корозії може складати від 15 до 100%. На основі цього механізм КМЗ пояснюється багатьма дослідниками з двома взаємозв'язаними процесами: корозією новоутворених поверхонь і втомним руйнуванням у результаті передформування мікрооб'ємів металу в зоні циклічного фрикційного контакту при терті або мікроударного навантаження при кавітації. Останнє положення неодноразово підтверджено експериментально, а в роботах [6; 7] показано взаємозв'язок циклічної повторюваності викидів інтенсивності руйнування повер-

хонь при терті та кавітації з часом мінімумів густини дислокацій, отриманих методом феромагнітного резонансу (ФМР). На основі цих даних і аналізу багатьох експериментальних робіт наших та закордонних вчених розроблено схему протікання процесу КМЗ, що має в своїй основі втомно-електрохімічну природу зношування при терті та кавітації [8; 9]. У зв'язку з цим, виникла необхідність розробки нових методик та лабораторних установок для проведення досліджень процесів КМЗ в корозійно-активних середовищах-електролітах із можливістю проведення електрохімічних вимірювань і оцінки корозійного фактору руйнування поверхонь безпосередньо в процесі тертя та кавітації, виключення температурного фактору зношування, а також з можливістю врахування усіх факторів і етапів руйнування на основі розробленої схеми природи і механізмів протікання процесів КМЗ. Нижче наведено матеріали про розроблені методики і установку для проведення досліджень кавітаційно-ерозійного зношування поверхонь матеріалів і покриттів у корозійно-активних середовищах-електролітах.

Виклад основного матеріалу. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість матеріалів і покриттів досліджувалася на установці з магнітострикційним вібратором (МСВ). Установка (рис. 1) складається з ультразвукового генератора УЗДН-А потужністю 150 Вт, частотою коливань вібратора 22 кГц і амплітудою коливань концентратора 5...85 мкм.

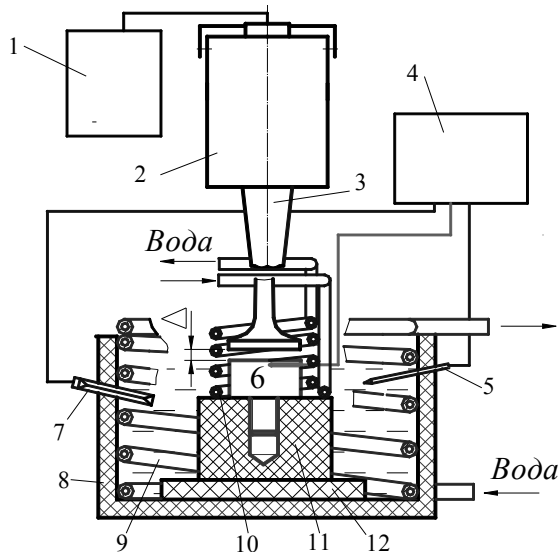


Рис. 1. Схема установки для кавітаційно-ерозійних випробувань і потенціостатичних досліджень матеріалів: 1 – генератор ультразвукових коливань УЗДН-А; 2 – магнітострикційний вібратор (МСВ); 3 – концентратор; 4 – потенціостат П-5827М; 5 – електрод порівняння (хлор-срібний); 6 – зразок (робочий електрод); 7 – платиновий (допоміжний) електрод; 8 – ванна з фторопласту Ф4; 9 – зовнішній контур охолодження; 10 – контур охолодження в зоні кавітації; 11 – вузол кріплення зразка; 12 – пластина

Зразки з покриттями і без них кріпляться знизу у вузлі кріплення, який розташований у ванні для робочих середовищ, яка, як і вузол кріплення, виготовлена з фторопласту Ф4. Вибір фторопласту для виготовлення ванни і вузла кріплення базується на результатах досліджень приведених в роботі [10]. Крім того, що фторопласт абсолютно нейтральний до більшості агресивних середовищ, він має і високу кавітаційну зносостійкість в цих середовищах.

Зазор між торцями вібратора і зразка становив $\Delta = 0,6$ мм, який за даними роботи [10] забезпечує максимальну інтенсивність руйнування поверхні зразка.

У фторопластовій ванні для робочих середовищ встановлено два змійовикові охолоджувальні контури. Перший контур (зовнішній) забезпечує стабільність заданої середньої температури робочого середовища у всьому об'ємі ванни, а другий (внутрішній) – підтримує стабільність середньої температури середовища безпосередньо в зоні кавітації.

Однією з переваг випробувань на МСВ є невелика кількість використовуваного робочого середовища, але при цьому частина енергії ультразвукового випромінювання акумулюється середовищем і в результаті підвищується його температура. Підвищення температури в зоні кавітації інтенсифікує швидкість протікання хімічних реакцій на поверхні зразка, а зміна фізичних властивостей (поверхневий натяг, в'язкість, газонаповнення тощо) середовища також впливає на інтенсивність руйнування поверхні. Так, руйнуюча здатність води, максимальна при досягненні нею температури $44 \dots 45$ °С. Все це вносить похибки в результати лабораторних випробувань у порівнянні з умовами кавітації при експлуатації деталей з безперервним оновленням середовища.

Для перевірки впливу температури середовища на інтенсивність кавітаційного зношування поверхонь і перевірки ефективності двоконтурної системи охолодження вимірювали кінетику зміни температури поверхні і втрат маси зразків сталі 45 у 3% - му розчині NaCl за методикою описаною в роботі [12].

У зразку на віддалі $0,5 \dots 0,6$ мм від робочої поверхні в отворі діаметром 2 мм встановлювалася хром-копелева термopара, яка фіксувалася та герметизувалася від проникнення середовища гумовою втулкою. Контакт термopари фіксувався в кільцеподібній зоні максимальних кавітаційних руйнувань, що розміщується між кільцями Метгера [13].

Проведені випробування показали, що кінетика зміни приповерхневої температури зразка описується степеневою функцією

$$t^o = e^{a\tau+b}, \quad (1)$$

де a , b – постійні, які знаходять експериментально; τ – час проведення випробувань.

Так, за 15 хв проведення випробувань без охолоджувального контура приповерхнева температура зразка зросла з 6 до 48 °С, тобто збільшилася на 42°С (рис. 2) і знаходиться в межах максимальної руйнуючої дії середовища. Через 30 хв температура вже зросла до 50 °С. Відповідні витрати маси становили 0,8 і 2,6 мг/см² (рис. 3, крива 1).

При застосуванні одного змійовикового охолоджувального контура, виготовленого з мідної трубки діаметром 10 мм, через 15 хв випробувань температура поверхні зразка з 6 °С піднялася до 18°С, тобто збільшилася на 12°С і при продовженні кавітаційних випробувань продовжувала зростати (крива 2 на рис. 2). Втрати маси через 15 хв випробувань становили 0,75 мг/см², а через 30 і 60 хв відповідно 1,0 і 3,0 мг/см² (крива 2 на рис. 3).

Для охолодження робочого середовища безпосередньо в зоні кавітації було встановлено ще один охолоджувальний контур 10 (див. рис. 1). Крок витків цього контура експериментально підбрано таким (4 мм), аби забезпечити виникнення «насосного» ефекту з метою перемішування об'ємів робочого середовища. За такої системи охолодження температура стабілізується за 5 хв ви-

пробувань, а її відхилення протягом часу проведення випробувань (30 хв і більше) становить $\pm 1,5^\circ\text{C}$ (крива 3 на рис. 2). Втрати маси за 60 хв випробувань склали $1,0 \text{ мг/см}^2$.

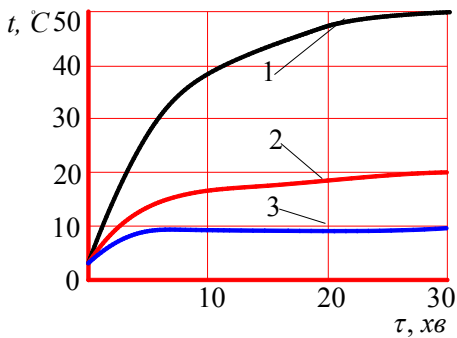


Рис. 2. Кінетика зміни температури сталі 45 нормалізованої при кавітації в 3%-му розчині NaCl: 1 – без; 2 – з одним; 3 – з двома контурами охолодження

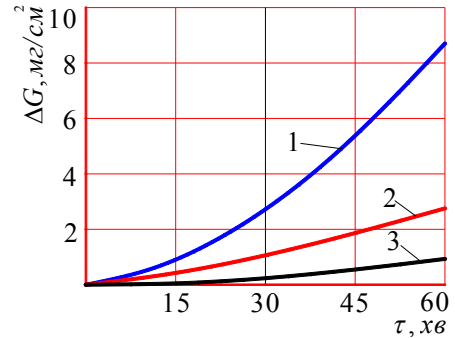


Рис. 3. Кінетика втрат маси сталі 45 при кавітації в 3%-му розчині NaCl: 1 – без; 2 – з одним; 3 – з двома контурами охолодження

Отже, проведені дослідження показали, що температура середовища суттєво впливає на інтенсивність кавітаційно-ерозійного зношування робочих поверхонь металів і може привести до суттєвих похибок оцінки їх зносостійкості в умовах експлуатації порівняно з оцінкою кавітаційної зносостійкості металів отриманих в лабораторних умовах. Так, втрати маси сталі 45 за 60 хв випробувань в розчині NaCl становлять $8,36$; $2,76$ і $0,81 \text{ мг/см}^2$ відповідно без охолодження, з одним і з двома контурами охолодження.

При застосуванні двоконтурної системи охолодження робочого середовища за 1 год випробувань втрати маси зменшуються в 3 рази порівняно з одноконтурною і в 10 разів порівняно з результатами випробувань без системи охолодження середовища. Розроблена методика проведення кавітаційно-ерозійних випробувань з двоконтурною системою охолодження робочих середовищ дозволяє отримувати в лабораторних умовах результати більш наближені до характеристик зносостійкості в умовах експлуатації.

Корозійні та електрохімічні властивості КЕП вивчали потенціостатичним методом шляхом зняття поляризаційних кривих (ПК), а також дослідженням кінетики зміни потенціалу в статиці і при кавітації на розробленій установці (див. рис. 1).

Зразки для проведення випробувань (рис. 4) виготовляли на токарному станку з однієї установки з одного прутка, піддавали термообробці, шліфували робочу поверхню на плоскошліфувальному станку і доводили на наждачній шкірці M20 до $R_z = 0,63$. Бокову поверхню зразків ізолювали клеєм 88 НП, а торцьову – очищали бензолом, обезжирювали ацетоном і висушували фільтрувальним папером. Зразки поміщали в ексикатор і витримували не менше доби.

Кінетику електрохімічних процесів у статиці вивчали за допомогою потенціостату П-5827М і трьохелектродної комірки ЯСЭ-2. Розчини в цих дослідках перемішували магнітною мішалкою. Перед зняттям ПК зразки витримували в

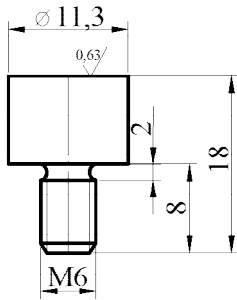


Рис.4. Зразок для проведення потенціостатичних і кавітаційно-ерозійних випробувань

середовищі протягом часу, достатнього для встановлення перед початком вимірювання швидкості зміни потенціалу зразка не більше 10 мВ за 30 хв.

Кінетику втрат маси при кавітаційно-ерозійному зношуванні знаходили шляхом зважування зразків з покриттями до і після кавітації на аналітичних вагах ВЛР-200.

Для більш детального аналізу механізмів кавітаційно-ерозійного зношування, впливу структури, фазових складових покриття в багатьох роботах наголошується на оцінці зношування не за втратами маси, а за швидкістю руйнування поверхневих шарів, що особливо ефективно при оцінці зносостійкості багатошарових покриттів [9]. Тому швидкість (інтенсивність) зношування металів і покриттів оцінювали за формулою:

$$v_p = \frac{\Delta G_i - \Delta G_{i-1}}{S \Delta \tau}, \quad (2)$$

де $\Delta G_i, \Delta G_{i-1}$ – втрати маси зразка, мг; S – площа поверхні зразка, см^2 (в наших дослідях $S=1 \text{ см}^2$); τ – час кавітації.

ПК знімали в потенціостатичному режимі. Швидкість розгортки потенціалу (зміна потенціалу робочого електроду в часі) у всіх дослідях була постійною (при множнику швидкості потенціалу рівному одиниці). У якості стандартного служив хлор-срібний електрод типу ЭВЛ-1М1, занурений в електроліт на 10...20 мм. Допоміжний – платиновий електрод розміщували до повного занурення його контакту в робочому розчині. Струм між робочим і допоміжним електродами вимірювали міліамперметром М2020.

Випробування на статичну корозію проводили методом «відкритого стакана» при повному зануренні зразків у розчин, кількість якого складала $4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3$ на 100 см^2 поверхні зразка [9]. Корозійні втрати знаходили зважуванням на аналітичних вагах ВЛР-200 до і після випробувань. Масовий показник корозії знаходили за формулою:

$$K = \frac{m_0 - m_i}{S \cdot \tau} \quad (3)$$

де $m_0 - m_i$ – втрати або набуття маси, мг; S – площа поверхні зразка, см^2 ; τ – час проведення випробувань.

Швидкість корозії визначали за формулою:

$$v_{кор} = \frac{8,76K}{\gamma}, \quad (4)$$

де γ – питома вага металу, г/см^3 .

Важливе наукове і практичне значення має кількісна оцінка корозійного фактора руйнування металів безпосередньо в процесі кавітаційно-ерозійного зношування. Це дає можливість глибше розуміти механізм процесу руйнування поверхонь, що в свою чергу, дозволяє цілеспрямовано і обґрунтовано підбирати метали, види кавітаційностійких покриттів в заданому типі середовищ і в заданих умовах мікроударного навантаження.

На сьогодні, найпоширенішими є два способи визначення корозійних втрат при КМЗ металів: вимірювання поляризаційного опору поблизу стаціонарного потенціалу (метод Штерна-Джієрі) та його модифікації і екстраполяція ділянок Тафеля ПК в область потенціалів корозії [9]. Багаточисельні дослідження, перевірка результатів лабораторних і виробничих випробувань в нейтральних, кислих та лужних [9; 10] середовищах показали достовірність результатів отриманих шляхом екстраполяції ділянок Тафеля і тому він застосовувався в даній роботі.

Струм корозії знаходили екстраполяцією прямолінійних ділянок Тафеля ПК побудованих в системі координат $\lg i - \varphi$ в область малих перенапружень (рис. 5) По величині струму корозії за законом Фарадея знаходили корозійні втрати маси зразків металів в статиці і при кавітації.

Для підвищення достовірності отримуваних результатів застосовували уточнену методику отримання ПК, яка враховує зміну потенціалу внаслідок опору приелектродного шару електроліту навколо зразка R [9]:

$$\Delta\varphi = b(\lg i_n - \lg i_k) + Ri_n, \quad (5)$$

де i_n, i_k – струми поляризації і корозії; b – коефіцієнт пропорційності.

Опір приелектродного шару знаходили за формулою:

$$R = \frac{(\varphi_{e1} - \Delta\varphi_{e2}) - b(\lg i_{n1} - \lg i_{n2})}{i_{n1} - i_{n2}}, \quad (6)$$

де $\varphi_{e1}, \varphi_{e2}$ – експериментальні значення потенціалу в двох точках; $\lg i_{n1}, \lg i_{n2}$ – відповідні значення струму поляризації в цих точках ПК.

При невідомому значенні b складається система з двох рівнянь (6) з яких послідовно для кожних двох наступних точок ПК, за розробленою програмою, знаходили значення b і R . За цими даними будували дійсну ПК і на ній знаходили ділянки Тафеля, а вже за ними знаходили струми корозії.

Для знаходження струмів корозії на експериментальних або розрахункових ПК насамперед необхідно знайти прямолінійні ділянки Тафеля. Незначні помилки при їх знаходженні інколи на порядок збільшують значення струмів корозії при екстраполяції цих ділянок.

Математична задача знаходження прямолінійних ділянок Тафеля зводиться до відшукування найбільш «прямої» ділянки ПК. На ПК заданій у вигляді дискретної системи точок, дискретним аналогом кривизни є величина обернена до радіуса кола, що проходить через три сусідні точки. Виходячи з цього, в якості способу для знаходження прямолінійної ділянки на ПК застосували метод знаходження цієї ділянки за найменшою величиною кривизни ПК. Для цього розроблена математична модель, а практична реалізація і візуалізація цієї моделі втілена в розробленій комп'ютерній програмі реалізованій в середовищі програмування Delphi [13]. Власне з використанням зазначеної методики і програми знаходили струми корозії та корозійні втрати в статиці і при кавітації. Для

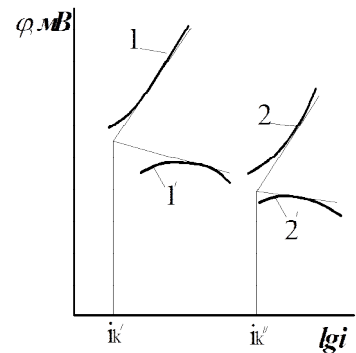


Рис. 5. Знаходження струмів корозії сталь 45 в статиці (1.1) і при кавітації (2.2) в кислому середовищі

перевірки розробленої методики проводили порівняння втрат маси зразків з покриттями, отриманими гравіметричним способом. Так, порівняння втрат маси від корозії проведені гравіметричним методом і методом екстраполяції прямолінійних ділянок Тафеля показали відхилення менше 10%, що допустимо при електрохімічних вимірюваннях.

Висновки:

1. Сконструйовано установку для проведення електрохімічних вимірювань безпосередньо в процесі кавітації з двохконтурною системою охолодження ємності для робочих середовищ, яка дозволяє стабілізувати його температуру в границях $\pm 1,5$ °C за весь час проведення випробувань (патент України № 56019 UA).

2. Розроблено спосіб вимірювання приповерхневої температури зразків при кавітації (патент України № 609864 UA).

3. Розроблено методику знаходження струмів корозії і корозійних втрат при кавітації з врахуванням опору приелектродного шару. Математична модель знаходження прямолінійних ділянок Тафеля на ПК практично реалізована в середовищі програмування Delphi (патент України № 59863 UA).

Список літератури

1. Шальнев К. К., Козырев С. П. Релаксационная гипотеза кавитационной эрозии. // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 202. – №5. – С. 1057–1060.

2. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.

3. Миличенко С.Л., Александров А.Г., Пиньковский И.В. Установка для исследования кавитационной эрозии материалов. // Заводская лаборатория. – 1970. – № 6. – 740–742.

4. Фомин В. В. Гидроэрозия металлов. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.

5. Эрозия: Пер. с англ./ Под. ред. К. Прис. – М.: Мир, 1982. – 464 с.

6. Пинчук Ф.Г., Пинчук В.Г., Харитонов В.В. Взаимосвязь кинетики изнашивания со структурными изменениями на фрикционном контакте. // Трение и износ. – 1984. – Т.5. – №4. – С. 670 - 675.

7. Энергоёмкость поверхностных слоёв и кавитационная стойкость никеля в растворах хлористого натрия./ А. И. Некоз, В. И. Белый, В. Г. Пинчук, М. С. Стечишин. // Трение и износ. – 1984. – Т. 5. – №1. – С. 166–169.

8. Прейс Г.А. О природе коррозионно - механического изнашивания металлов. // Трение и износ. – 1987. – Т.8. – №5. – С. 792–797.

9. Стечишин М.С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні / М.С. Стечишин. Автореф. дис. докт. техн. наук. –Хмельницький, 1998. –32 с.

10. Стечишин М.С. Кавітаційно-ерозійна стійкість полімерних матеріалів в корозійно-активних середовищах / М.С. Стечишин, А.В. Мартинюк // Вісник ХНУ. Технічні науки. –Хмельницький: ХНУ. –2009. –№2. –С. 69–74.

11. Стечишин М.С. Зносостійкість полімерних матеріалів при їх мікроударному навантаженні / М.С. Стечишин, А.В. Мартинюк // Пробл. тертя та зношування: Наук.-техн. зб. –К.: «НАУ-друк». –2008. –Вип.49. –С. 104–113.

12. Пат. №60986 UA, МПК G01N 29/04. Спосіб вимірювання при поверхневої температури полімерних матеріалів при їх кавітаційно-ерозійному руйнуванні / А.В. Мартинюк, М.С. Стечишин; заявник і патентовласник ХНУ. Бюл. №13, 2011.

13. Пат. №59863 Україна. МПК G01N 17/00. Спосіб оцінки корозійної складової руйнування при корозійно-механічному зношуванні в середовищах-електролітах / М.С. Стечишин, В.Г. Войтов, В.П. Терещенко. –2011, Бюл.№13.

M. S. STECHYSHYN, V. P. OLEKSANDRENKO, A. V. MARTYNIUK, Y. M. BILYK

INSTALLATION AND METHOD OF ELECTROCHEMICAL STUDIES, CAVITATION AND EROSION WEAR RESISTANCE OF METAL SURFACES AND COATINGS

This paper considers the rationale and methodology for setting electrochemical test and evaluate cavitation, erosion and wear resistance of metal surfaces coatings in corrosive environments, electrolytes. We also consider the impact of temperature on the intensity of wear and design unit cooling installation to shutdown temperature factor wear.

Keywords: cavitation, polarization curves, corrosion, electrolytic composite coating (CEP), corrosion, mechanical wear, cavitation-erosion wear.

References

1. Shal'nev K. K., Kozyrev S. P. Relaksacionnaja gipoteza kavitacionnoj jero-zii. // Doklady AN SSSR. – 1972. – T. 202. – №5. – S. 1057–1060.
2. Kozyrev S.P. Gidrobrazivnyj iznos metallov pri kavitacii. – M.: Mashinostroenie, 1971. – 240 s.
3. Milichenko S.L., Aleksandrov A.G., Pin'kovskij I.V. Ustanovka dlja issledovanija kavitacionnoj jerozii materialov. // Zavodskaja laboratorija. – 1970. – № 6. – 740–742.
4. Fomin V. V. Gidrojerozija metallov. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 288 s.
5. Jerozija: Per. s angl./ Pod. red. K. Pris. – M.: Mir, 1982. – 464 s.
6. Pinchuk F.G., Pinchuk V.G., Haritonov V.V. Vzaimosvjaz' kinetiki iznashivanija so strukturnymi izmenenijami na frikcionnom kontakte. // Trenie i iznos. – 1984. – T.5. – №4. – S. 670–675.
7. Jenergojmkost' poverhnostnyh slojov i kavitacionnaja stojkost' nikelja v ras-tvorah hloristogo natrija./ A. I. Nekoz, V. I. Belyj, V. G. Pinchuk, M. S. Stechishin. // Trenie i iznos. – 1984. – T. 5. – №1. – S. 166–169.
8. Prejs G.A. O prirode korrozionno - mehanicheskogo iznashivanija metallov. // Trenie i iznos. – 1987. – T.8. – №5. – S. 792–797.
9. Stechyshyn M.S. Dovhovichnist' detaley obladnannya kharchovoyi promyslovosti pry koroziyno-mekhanichnomu znoshuvanni / M.S. Stechyshyn. Avtoref. dys. dokt. tekhn. nauk. – Khmel'nyts'kyj, 1998. – 32 s.
10. Stechyshyn M.S. Kavitatsiyno-eroziyna stiykist' polimernykh materialiv v koroziyno-aktyvnykh seredovyshchakh / M.S. Stechyshyn, A.V. Martynyuk // Visnyk KhNU. Tekhnichni nauky. – Khmel'nyts'kyj: KhNU. – 2009. – #2. – S. 69–74.
11. Stechyshyn M.S. Znosostiykist' polimernykh materialiv pry yikh mikroudarnomu navantazheni / M.S. Stechyshyn, A.V. Martynyuk // Probl. tertya ta znoshuvannya: Nauk.-tekhn. zb. – K.: «NAU-druk». – 2008. – Vyp.49. – S. 104–113.
12. Pat. #60986 UA, MPK G01N 29/04. Sposib vymiryuvannya pry poverkhnevoyi temperatury polimernykh materialiv pry yikh kavitatsiyno-eroziynomu ruynuvanni / A.V. Martynyuk, M.S. Stechyshyn; zayavnyk i patentovlasnyk KhNU. Byul. #13, 2011.
13. Pat. #59863 Ukrayina. MPK G01N 17/00. Sposib otsinky koroziynoyi skladovoyi ruynuvannya pry koroziyno-mekhanichnomu znoshuvanni v seredovyshchakh-elektrolitakh / M.S. Stechyshyn, V.H. Voytov, V.P. Tereshchenko. – 2011, Byul.#13.

Стечишин Мирослав Степанович – д-р техн. наук, професор, завідувач секції «Обладнання харчових виробництв» кафедри машинознавства Хмельницького національного університету.

Олександренко Віктор Петрович – д-р техн. наук, професор, декан факультету інженерної механіки Хмельницького національного університету.

Мартинюк Андрій Віталійович – к.т.н. доц. кафедри машинознавства Хмельницького національного університет m-mezon@ukr.net.

Білик Юрій Мирославович – к.т.н. доц. кафедри машинознавства Хмельницького національного університет m-mezon@ukr.net.