

4. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості втулок кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ВАЗ-21011. / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.О. Дука // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 58-61.

Надійшла 18.1.2011 р.

УДК 620.193.16

М.С. СТЕЧИШИН, О.О.БІЛЕЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ТА СПОСОБУ ОЦІНКИ КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі описана установка для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів, а також спосіб і методика оцінки довговічності полімерів та полімерних покриттів.

The setting for realization of cavitation-erosion tests of polymeric materials, and method and methodology of estimation of longevity of polymers and polymeric coverage were described in the article.

Ключові слова: кавітаційно-ерозійна зносостійкість, оцінка довговічності, полімерні покриття.

Постановка проблеми. Відомі способи оцінки довговічності конструкційних сталей, чавунів при їх корозійному, корозійно-механічному, кавітаційно-ерозійному, гідроабразивному зношуванні в корозійно-активних середовищах за втратами маси за певний час проведення випробувань [1]. Для оцінки зносостійкості захисних покриттів, особливо термодифузійних, застосовують значення швидкостей руйнування структурних складових покриття [1, 2].

Недоліком такої оцінки зносостійкості полімерних покриттів є неможливість порівняння результатів випробувань різних полімерів між собою внаслідок великої різниці густини полімерних матеріалів. Крім того, в момент дії кавітаційних бульбашок на двошарові системи з різними акустичними властивостями (покриття– підложка), ударні хвилі частково відбиваються від підложки і проходять в зворотньому напрямку, що викликає появу тангенційних напружень і, відповідно, деформацій зсуву ділянок поверхні покриття. Останнє зумовлює відшарування покриття від поверхні підложки та наступний відрив відшарованих ділянок покриття. При подальшій кавітації відбувається руйнування основного матеріалу (підложки), який також враховують при оцінці зносостійкості покриття.

Відомі також способи дослідження кавітаційної стійкості металів [3] при яких зразок у процесі гідроерозії підлягає анодній поляризації, що дозволяє скоротити час випробувань для отримання результатів зносостійкості металів в лабораторних умовах співвідносних з результатами натурних випробувань. Основний недолік цього способу полягає в необхідності мати дані натурних випробувань, які і не потрібні для вибору типу полімерного покриття, оптимізації його складу, структури та товщини. Крім того, при поляризації зразків корозійні процеси інтенсифікуються на поверхні металу основи ослаблюючи зчеплення полімеру з металом, що не відповідає реальним процесам руйнування полімерних покриттів в умовах експлуатації. Тому було поставлено завдання підвищення точності оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів при їх кавітаційно-ерозійному зношуванні в середовищах-електролітах, отримання порівняльних характеристик стійкості полімерів, оптимізації їх складу за вмістом і співвідношенням компонентів наповнювача, товщини покриття тощо.

Для реалізації поставленого завдання необхідно було також створити лабораторну установку для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів. Існуючі лабораторні установки призначені для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань металевих зразків здебільшого оснащені сорочками або спіральними теплообмінниками, в яких для охолодження робочого середовища використовується проточна вода або система охолодження взагалі відсутня. Як показали проведені випробування полімерних матеріалів, така система охолодження і тим більше її відсутність не забезпечує сталу температуру робочого середовища особливо в зоні кавітації.

Разом з тим, температура поверхні полімеру суттєво впливає на його характеристики міцності. Навіть незначне перевищення температури (для кристалічних полімерів вище температури плавлення, а для аморфних – температури оскління) веде до катастрофічного руйнування поверхонь полімерів незалежно від виду навантаження: тертя, кавітація, циклічне навантаження тощо. Разом з тим, температури детонації кавітаційних бульбашок у багатьох випадках перевищують поріг теплостійкості полімерів. Так, за даними різних авторів вони знаходяться в межах 500...700 °С, але можуть сягати і 1000...3000 °С.

Проведені дослідження показали, що приповерхнева температура поверхонь зразків значно відрізняється від середньої температури середовища. Різниця температур залежить від виду полімеру і знаходиться в межах 8 °С для полікапролактаму і до 27 °С для ебоніту та фторопласту після 1 хв проведення кавітаційних випробувань. Для сталі 45 і сірого чавуну відповідна різниця температур становить всього 4 °С. При цьому, для полімерів приповерхнева температура невпинно зростає в процесі кавітації, а для залізобуглецевих сплавів (сталь, чавун) вона стабілізується в часі [4].

Накопичення приповерхневої температури полімерів при кавітації пояснюється тим, що їх

теплопровідність на порядок нижча ніж теплопровідність металів та їх сплавів. Енергія ультразвукових коливань вібратора накопичується в поверхневих шарах полімеру і розсіюється в об'ємі робочої рідини для металевих сплавів. Тому було поставлено завдання створити установку для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів з максимально можливим виключенням температурного чинника руйнування поверхневих шарів полімерів.

Методика проведення досліджень. Для виключення температурного чинника руйнування сконструйована і виготовлена установка з магнітострикційним вібратором (МСВ). Ультразвукові коливання збуджуються ультразвуковим генератором УЗДН-А потужністю 150 Вт, частотою коливань 22 кГц і амплітудою 53 мкм. Коливання підсилюються в осьовому напрямку вібратором 5 (рис. 1).

Для розширення можливостей установки ємність 1 для робочих середовищ і вузол кріплення зразків 2 виготовлено з фторопласту. У ємність встановлено два спіральні охолоджувальні контури 3 і 4. Перший контур 3 забезпечує термостатування всього об'єму середовища, а другий 4 підтримує стабільність середньої температури робочого середовища безпосередньо в зоні кавітації. Для підвищення ефективності охолодження зони кавітації експериментальним шляхом підібрано віддаль між витками охолоджувального контура 4, який виявився в межах 4...5 мм. Такий крок витків забезпечує вільне переміщення різнонагрітих об'ємів робочого середовища між витками контура у різних фазах ударних і відбивних кавітаційних хвиль. Різнонаправленість витків охолоджувальних контурів забезпечує протічю потоків охолоджувальної і нагрітої рідини і збільшує ефективність охолодження всього об'єму середовища. Крім того, при русі вібратора вниз робоче середовище внаслідок стискання витків контура 3, відтискується із зони кавітації, а стискання витків контура 4 забезпечує протилежний напрям руху середовища і таким чином здійснюється зустрічний рух потоків, збільшується коефіцієнт теплообміну і ефективність вирівнювання температури середовища.

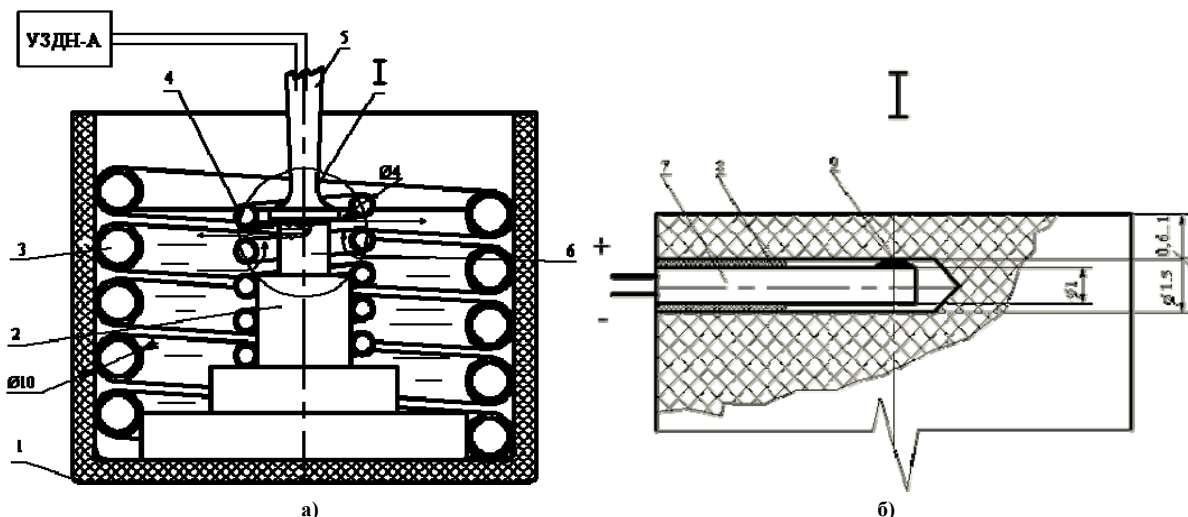


Рис. 1. Установка для кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів:
1 – ємність для робочих середовищ; 2 – вузол кріплення зразків;
3, 4 – змішані охолоджувальні контури; 5 – вібратор; 6 – зразок

Для перевірки ефективності роботи установки вимірювали приповерхневу температуру зразків 6 хром-копелевою термопарою 7, яка розміщувалася на віддалі 0,6...1 мм від робочої поверхні зразка (рис. 1, б). Термопара фіксується і герметизується в отворі гумовою втулкою 8 і одночасно запобігає відриву контакту термопари 9 від поверхні зразка 6 і під'єднується до приладу для вимірювання температури.

Результати дослідження та їх обговорення.

З метою перевірки ефективності розробленої конструкції установки провели дослідження направлені на встановлення залежності зміни приповерхневої температури зразків з фторопласту Ф4 від часу кавітації в 3-відсотковому розчині хлориду натрію. За 15 хв кавітаційних випробувань при відсутності охолоджувального контуру температура робочого середовища з 20 °С підвищилася до 50 °С, з одним контуром – до 40 °С, а з двома контурами з різнонаправленими витками спіралі температура залишається майже постійною і стабілізується в межах 20 ± 2 °С (рис. 2).

На розробленій установці досліджувалися полімеркомпозиційні покриття на основі епоксидної смоли ЕД-16, де в якості наповнювача використовувалася суміш, яка складалася з карбідів тугоплавких металів зернистістю 20...100 мкм (табл. 1). Композиції VI, VII не містили наповнювача. Композиція VII складалася з епоксидної смоли ЕД-16 і каучуку СКН-26-1, а композиція VII – лише з епоксидної смоли ЕД-16. Композиція III містила 230 % (за масою), а композиція V – 270 % наповнювача.

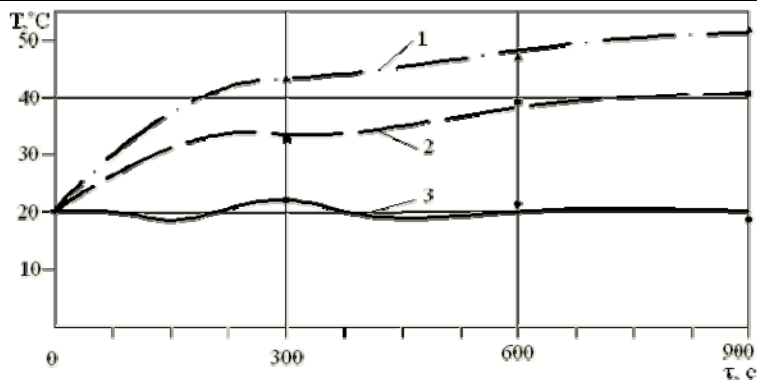


Рис. 2. Кінетика зміни приповерхневої температури фторпласту Ф4 в 3-відсотковому розчині хлориду натрію: без охолоджувального контуру; 2 – з одним охолоджувальним і 3 – з двома охолоджувальними контурами

Таблиця 1

Результати кавітаційно-ерозійних випробувань полімеркомпозиційних покриттів

№ композиції	Вміст наповнювача, %	Час пробою, τ_n хв.	Загальна працездатність шару, $\tau_{заг}$ хв.
I	190	50	60
II	130	35	75
III	230	40	115
IV	170	20	62
V	270	20	45
VI	-	30	60
VII	-	25	45

Випробування проводили в 3-відсотковому розчині хлориду натрію при температурі розчину 23 ± 3 °C.

Внаслідок того, що покриття склалися з композицій, які містили компоненти тугоплавких металів в різних співвідношеннях, що значно відрізнялися густиною, основними параметрами оцінки зносостійкості покриттів служили їх довговічність ($\tau_{заг}$), а також час пробою шару (τ_n).

Кінетика зміни потенціалу зразків з покриттями і втрата їх маси наведені на рис. 3.

Аналіз кривих зміни потенціалу і кінетики втрат маси показав, що в загальному випадку, потенціал пробою характеризує період накопичення енергії деформації в покритті і в цей період часу інтенсивність зношування незначна. По досягненню потенціалу рівного або більшого за власний потенціал матеріалу зразка, встановлюється постійна швидкість зношування, в результаті якої зменшується товщина покриття. В наступний період, внаслідок утворення мікротріщин, проходить проникнення мікроб'ємів середовища в матеріал покриття і його відшарування від поверхні підложки, що характеризується різкими коливаннями потенціалу. При цьому інтенсивне зношування покриття пояснюється відривом відшарованих частинок покриття. Подальша зміна потенціалу характеризує процес руйнування основного матеріалу зразка. Відшарування покриття можна пояснити тим, що при руйнуванні кавітаційних бульбашок виникають значні, залежно від в'язкості рідини, тангенційні зусилля, що приводять до появи деформацій зсуву ділянок поверхні покриття. Крім того, в момент дії кавітаційних бульбашок на двошарові системи з різними акустичними властивостями (підложка – покриття), ударні хвилі частково відбиваються від підложки і проходять в зворотньому напрямку. В зв'язку з цим виникають напруження розтягу, які і приводять до відшарування покриття [5]. Проведені дослідження підтверджують цей висновок. Так, при випробуванні композиції IV, яка містить нітрильний каучук, що надає покриттю значних пружних властивостей руйнування, в основному, проходить шляхом відшарування покриття. Згідно з [7] при критичних і закритичних швидкостях навантаження (характерних при випробуваннях на МСВ), внаслідок запізнення релаксаційних процесів, матриця вітрильного каучуку не може пружно сприймати удари такої швидкості і її поверхня руйнується з утворенням тріщин характерних при крихкому руйнуванні. Цим, зокрема, пояснюється наявність інкубаційного періоду при випробуванні композиції VI, яка характеризується відсутністю втрат маси на початковому періоді випробувань, а різке збільшення втрат маси після цього вказує на втрату композицією пружних властивостей і наступне крихке руйнування.

З приведених даних (табл. 1) видно, що композиції I...III мають найбільшу довговічність як по часу пробою шару τ_n , так і по загальній працездатності $\tau_{заг}$. Останнє пояснюється, як раціонально підібраним співвідношенням між наповнювачем і епоксидною смолою, так і відповідним гранулометричним складом наповнювача.

У результаті проведених досліджень отримали для композиції III:

Загальна працездатність шару покриття $\tau_{заг} = 115$ хв, час пробою шару $\tau_n = 40$ хв (рис. 3, а). Для композиції V: $\tau_{заг} = 45$ і $\tau_n = 20$ хв (рис. 3, б). Втрати маси за 1 год випробувань становлять 54 і 41 мг,

відповідно для композиції III і V. Таким чином, за часом пробою композиція III в 2 рази переважає композицію V і в 2,56 рази за часом загальної працездатності, а за втратами маси всього в 1,32 рази.

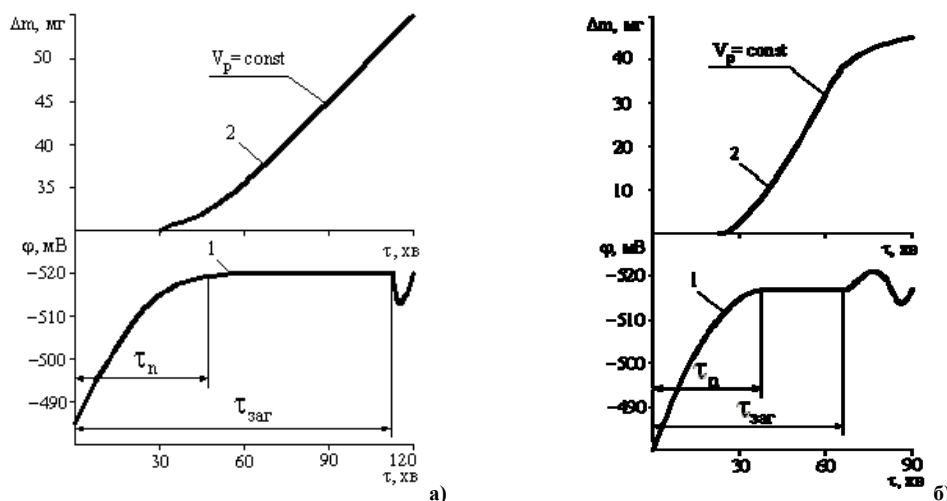


Рис. 3. Кінетика зміни потенціалу (1) та втрати маси зразка (2) для композиції I (а) і для композиції II (б)

Запропонований спосіб оцінки довговічності також дозволяє знайти оптимальне співвідношення, як у даному випадку, між епоксидною смолою та кількістю наповнювача. Криві залежності $\tau_{\text{заг}}$ і τ_n від відсотка вмісту наповнювача (рис. 4.) показують, що найбільш ефективними є композиції, які містять наповнювач в межах 210...250%. При меншому вмісті наповнювача збільшується τ_n , що пов'язано з оптимальним відношенням властивостей міцності та пружності покриття. Зі збільшенням вмісту наповнювача дещо зменшується величина τ_n , але різко зростає $\tau_{\text{заг}}$, що зумовлено зростанням механічних характеристик шару покриття. Таким чином, запропонований спосіб дозволяє оптимізувати склад покриття за вмістом наповнювача.

Аналогічно можна провести оптимізацію за гранулометричним складом наповнювача, співвідношення вмісту карбідів, товщини покриття тощо. На даний спосіб оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів отримано патент України [6].

Висновки

1. Створено установку для проведення кавітаційно-ерозійних досліджень полімерних матеріалів, що дозволяє стабілізувати поверхневу температуру зразків протягом часу проведення випробувань.
2. Розроблено спосіб та методику оцінки кавітаційно-ерозійної довговічності полімерних покриттів, що включає отримання кінетичної кривої втрат маси ($\Delta m - \tau$), та кінетичної кривої зміни потенціалу ($\phi - \tau$), який відрізняється тим, що оцінка довговічності покриття проводиться за часом загальної працездатності покриття $\tau_{\text{заг}}$ і часом його пробою τ_n , які фіксуються на кривій $\phi - \tau$ і узгоджуються з відповідними змінами кінетики втрат маси ($\Delta m - \tau$).

Література

1. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы / Богачев И.Н. – М. : Металлургия, 1972. – 192 с.
2. Юргенсон А.А. Азотирование в энергомашиностроении / Юргенсон А.А. – М.: Машгиз, 1962. – 131 с.
3. А. с. 1569668 СССР, МКИ G01 N3/56. Способ исследования гидроэрозионной стойкости металлов / А.И. Некоз, Н.А. Сологуб, М.С. Стечишин (СРСР). – 1990.
4. Стечишин М.С. Вплив температури поверхні на руйнування полімерних матеріалів під дією мікроударних навантажень в рідких середовищах / М.С. Стечишин, А.В. Мартинюк, І.І. Сорока // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 2. – С. 157–161.
5. Погодаев Л.И. О механизме кавитационного изнашивания / Л.И. Погодаев, А.И. Некоз // Пробл.

трения и изнашивания: респ. межвед. науч. – техн. сб. – 1975. – Вып. 7. – С. 11– 16.

6. Пат. 55103 Україна, МПК G01N 3/56. Спосіб оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів при їх кавітаційно-ерозійному зношуванні в середовищах електролітах / М.С. Стечишин, Н.М. Стечишин, О.О. Білецький. В.А. Мартинюк (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201004888; заяв. 23.04.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.

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

Надійшла 27.1.2011 р.

УДК 620.178.1

В.С. ПАВЛОВ

Хмельницький національний університет

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ПРИ СКЛАДНОМУ ОПОРІ

Запропоновано спосіб визначення коефіцієнта запасу міцності при складному опорі за допомогою використання поняття "опірність матеріалу руйнуванню". Виведено формули коефіцієнта запасу за різних критеріїв міцності.

The method of determination of safety margin coefficient at difficult resistance by means of the use of concept "resistibility of destruction material" has been offered in the article. The formulas of coefficient of supply at the different criteria of durability have been shown out.

Ключові слова: напруження, напружений стан, коефіцієнт запасу.

Вступ

Як відомо, коефіцієнт запасу міцності (надалі "коефіцієнт запасу") обчислюють за формулою:

$$n = K_L / K, \quad (1)$$

де K_L і K – граничне і максимальне значення критерію міцності в небезпечній точці деталі за подібних напружених станів відповідно [1, с.175].

Напружені стани при складному опорі подібні, якщо:

- а) вони обумовлені опорами, що мають однакові складники (компоненти) у вигляді простих опорів;
- б) співвідношення між максимальними напруженнями в небезпечній точці, спричиненими кожним з простих опорів, однакові [1, с.173].

В роботах [2, с.41, 3, с.27, 4, с.37] виведено формули коефіцієнта запасу з використанням діаграм граничних значень критеріїв міцності і логічних викладок.

Мета роботи – 1) викладення суті способу визначення коефіцієнта запасу при складному опорі за допомогою поняття "опірність матеріалу руйнуванню" (надалі "опірність");

2) виведення формул коефіцієнта запасу, складниками яких є частинні коефіцієнти запасу, з використанням понять "опірність" і "частинна опірність".

Основні поняття і терміни

Означення. Опірність є число, що дорівнює відношенню максимального і граничного значень критерію міцності в небезпечній точці деталі за подібних напружених станів:

$$\omega = K / K_L. \quad (2)$$

Гранична опірність матеріалу за довільного опору (простий чи складний) дорівнює одиниці:

$$\omega_L = 1. \quad (3)$$

Як видно із (1) і (2), між величинами n і ω існує обернена пропорційна залежність:

$$n = 1 / \omega. \quad (4)$$

Таким чином, обчисливши величину опірності ω , можна визначити коефіцієнт запасу n .

При визначенні опірності ω за складного опору використовують принцип незалежності дії сил: опірність ω_i за кожного із простих опорів не залежить від наявності інших простих опорів.

$$\omega = f(\omega_i) \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (5)$$

де m – число простих опорів.

Конкретна форма співвідношення (5) залежить від природи критерію міцності і компонентів складного опору.

Величину ω_i названо *частинною опірністю*, за аналогією з поняттям "частинний коефіцієнт запасу". Між частинною опірністю ω_i і частинним коефіцієнтом запасу n_i існує залежність, що визначається співвідношенням (4):

$$\omega_i = 1 / n_i. \quad (6)$$

Частинну опірність, згідно із (2), можна обчислити за формулою:

$$\omega_i = K_i / K_{Li}, \quad (7)$$