

**ВАТ «Український науково-дослідний інститут вогнетривів  
імені А. С. Бережного»**

**Збірник наукових праць  
ВАТ «УкрНДІВогнетривів  
імені А. С. Бережного»**

Collection of scientific proceedings  
of the OJSC «The Ukrainian research institute  
of refractories named after A. S. Berezhnoy»

*Заснований у 1927 р.*

№ 110

Харків  
«Каравела»  
2010

*Канд. техн. наук О. А. Литвиненко,  
д-р техн. наук О. І. Некоз, В. П. Кавун  
(Національний університет харчових технологій,  
Київ, Україна)*

## **Кавітаційна стійкість керамічних конструкційних матеріалів**

### **Вступ**

У хімічній, нафто-хімічній, харчовій та переробній промисловості надійність роботи значної частини технологічного обладнання визначається опором матеріалів спрацюванню в умовах кавітаційно-ерозійного та гідроабразивного зношування. У таких умовах працюють, зокрема, деталі відцентрових насосів, арматури, гідродинамічні змішувачі, сопла струменевих апаратів тощо. Спрацювання деталей наведеного обладнання у більшості випадків відбувається в умовах дії мікроударного навантаження на поверхневі шари.

У багатьох випадках мікроударна дія потоку посилюється наявністю абразивних часток, хімічною активністю рідини.

За таких умов традиційні конструкційні матеріали не завжди задовольняють сучасним вимогам щодо надійності та довговічності.

Останнім часом все більшу увагу фахівців привертає дослідження та використання нових зносостійких матеріалів (полімерних, конструкційних, композиційних). На особливу увагу заслуговують конструкційні керамічні матеріали [1]. Проте, спрацювання керамічних матеріалів в умовах кавітаційно-ерозійного зношування досліджено недостатньо.

### **Експериментальна частина**

Відповідно до задачі досліджень способом гарячого пресування підготовлено зразки з різних керамічних матеріалів і визначено їх основні технічні характеристики, які наведено у таблиці.

Кераміка зі вмістом 70—95 %  $Al_2O_3$  (технічний фарфор) є найбільш поширеним типом технічної кераміки.

Кераміка із вмістом  $Al_2O_3$  понад 95 % є корундовою з практично повною відсутністю муліту. У матеріалах такого типу

фазовий склад містить корунд і склоподібні вclusions, які утворюються при охолодженні суміші. Основною кристалічною фазою такої кераміки є корунд.

Таблиця

Показники	Матеріал зразка		
	Зразок № 5	Зразок № 6	Зразок № 8
	Техн. фарфор	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	$\text{ZrO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,5	3,9	5,98
Міцність на згинання, МПа	160	280	340
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	2,5	4,1	4,3
Модуль пружності, ГПа	100	420	210

Фізико-механічні, фізико-хімічні та експлуатаційні властивості технічної кераміки на основі оксиду алюмінію визначаються:

- вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та співвідношенням фазових складових, домішок та зв'язувальних компонентів;
- співвідношенням визначальних кристалічних фаз — мулітової, корундової та склоподібної;
- розміром, формою та характером розподілу фазових складових;
- структурою та пористістю зразка (зі збільшенням пористості характеристики міцності зменшуються);
- величиною та характером розподілу пор, їх формою та розміщенням;
- природою і властивостями оточуючого середовища та його робочою температурою.

Підвищити характеристики міцності кераміки можна при їх модифікації домішками  $\text{MgO}$  або  $\text{ZrO}_2$  [1].

Так, відомо, що введення  $\text{ZrO}_2$  пригальмовує ріст кристалів корунду. Наприклад, 0,5—1,0 % оксиду цирконію сприяє утворенню кристалів не більше 15 мкм. На границях зерен корунду утворюються мікронні прошарки сполук  $\text{ZrO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , причому самі кристали набувають меншої форми та стають ізометрично досконалими, що підвищує їх стійкість до мікроударного навантаження.

Дослідження кавітаційно-ерозійного зношування проводили на установці УЗДН-2Т з магнітострикційним вібратором (МСВ) при частотах коливань 22 і 44 кГц, амплітуді коливань 20 мкм і при відстані між керамічними зразком і торцем МСВ 0,5 мм. Інтенсивність зношування оцінювали ваговим методом. Вимірювання маси проводили на електронних вагах RADWAG WAA 210 з точністю  $10^{-4}$  г.

## Результати та їх обговорення

Аналіз одержаних залежностей показує, що швидкість зношування при частоті 22 кГц аналогічна типовій кінетичній кривій при кавітаційній ерозії [2], за винятком відсутності першого акумуляційного періоду (рис. 1). На другому етапі (після 5 год для зразка № 8, 6 год для зразків № 5 та № 6) досягається різке збільшення швидкості ерозії, після якого настає період спадання і стабілізації швидкості ерозії, яка знову підвищується в середньому після 15 год досліджень. При цьому, як встановлено мікроскопічним аналізом, глибина ерозійних кратерів значно перевищує розміри кавітаційних бульбашок.

При частоті коливань МСВ 44 кГц (рис. 2) суттєва втрата маси зразка № 5 досягається при 2-х годинах кавітаційної дії, для зразка № 8 — після 2,5 год, а для зразка № 6 — через 3 год досліджень. Причому, подальше руйнування зразків № 5 та 6 має циклічний характер, а для зразка № 8, який має найбільшу ударну в'язкість, менш виражена циклічність руйнування, і кінетична крива залежності швидкості руйнування подібна до аналогічних залежностей для традиційних конструкційних матеріалів.

Дослідження показали, що в кінетиці руйнування різних матеріалів за різних умов зовнішнього навантаження можна виділити три стадії: 1 — накопичення дефектів і пошкоджень; 2 — розвиток тріщин; 3 — утворення продуктів зношування в межах певної глибини поверхневого шару [3]. Саме умови навантаження і жорсткість напруженого стану обумовлюють конфігурацію і масштабний фактор тріщиноутворення і руйнування матеріалу зразка.

Для технічного фарфору і корундової кераміки (зразки № 5, 6) спостерігається-

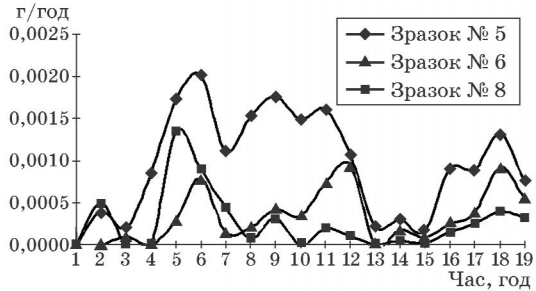


Рис. 1. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 22 кГц

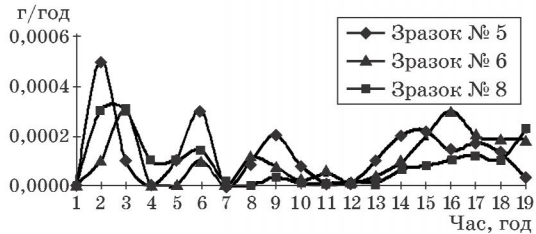


Рис. 2. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 44 кГц

ся циклічний характер зміни швидкості зношування протягом усієї тривалості випробувань, що засвідчує про циклічність розвитку зазначених вище стадій поверхневого руйнування, що пов'язано із встановленою раніше методом феромагнітного резонансу та закономірністю зміни щільності дислокацій у поверхневому шарі при ультразвуковій кавітації [4]. Подібний характер зміни властивостей поверхневих шарів встановлено і при гідроабразивному зношуванні [3].

Згідно з структурно-енергетичною теорією зношування [3], інтенсивність зношування матеріалів при динамічному навантаженні визначається відношенням щільності потоку енергії деформації (навантаження), яка вноситься у матеріал мікроударами кумулятивних мікрострумків чи абразивних часток, до критичної щільності потужності деформації (руйнування)  $W_{кр}$ . Однак, як показали дослідження авторів для керамічних матеріалів, потужність деформації визначається не лише складом і властивостями, а й структурою матеріалу і, врешті-решт, енергією активації окремих актів стрибкоподібного розвитку дислокаційних мікротріщин та коефіцієнтом інтенсивності напружень  $K_{1C}$ .

Враховуючи, що критична щільність потужності деформації визначається, в основному, енергією активації окремих актів розвитку дислокаційних мікротріщин, можна вважати, що саме завдяки гальмуванню другої стадії кінетики руйнування цирконієва кераміка серед вибраних матеріалів відрізняється найбільшою кавітаційно-ерозійною стійкістю.

## Висновки

Проведенні дослідження підтвердили перспективність застосування технічної кераміки для виготовлення вузлів технологічних апаратів, які зазнають кавітаційно-ерозійного руйнування. При цьому треба враховувати умови експлуатації, властивості середовища та фізико-механічні властивості матеріалів.

## Бібліографічний список

1. Балкевич В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. — М.: Стройиздат, 1980. — 200 с.
2. Некоз О. І. Кавітаційно-ерозійна стійкість керамічних матеріалів / О. І. Некоз, О. А. Литвиненко, В. П. Кавун // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. — 2007. — № 69. — С. 51—53.
3. Погодаев Л. И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин. — СПб.: Академия транспорта РФ, 2006. — 608 с.
4. Некоз А. И. Энергоёмкость поверхностных слоев 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.

Рецензент д. т. н. Логвинков С. М.