

Некоз О. І.

Литвиненко О. А.

Кавун В. П.

*Національний  
університет харчових  
технологій*

УДК 620.193

## ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

*Приведены результаты экспериментальных исследований перспективных конструкционных материалов для изготовления гидродинамических кавитационных аппаратов. Описаны свойства и особенности изнашивания.*

*The results of experimental researches of perspective construction materials are resulted for making of hydrodynamic cavitation devices. Properties and features of wear are described.*

В сучасних технологіях переважна більшість масообмінних процесів потребує інтенсифікації. Відомі методи та обладнання не завжди дають змогу одержати необхідний практичний результат. Одним з перспективних напрямків інтенсифікації процесів є використання фізико-механічних ефектів, в т. ч. гідродинамічної кавітації [1, 2].

З обладнання, яке працює в розрахункових режимах гідродинамічної кавітації, найбільш ефективним є проточні гідродинамічні кавітаційні апарати (ГКА), застосування яких для змішування, гомогенізації тощо дозволяє суттєво підвищити якість оброблення рідких технологічних середовищ.

ГКА містить робочу камеру з встановленим кавітатором, за яким генерується гідродинамічне кавітаційне поле і забезпечується ударно-хвильова дія на середовище. За таких умов забезпечуються сприятливі умови для оброблення технологічних середовищ, які неможливі при використанні традиційного обладнання. Враховуючи, що найбільш ефективним кавітаційним режимом відповідає максимальна ерозійна дія, відбувається руйнування матеріалу робочих органів апаратів, особливо інтенсивно спрацьовуються кавітуючі елементи [3].

При роботі ГКА його робочі органи – проточна камера, кавітатор, конфузори – піддаються кавітаційно-ерозійному зношуванню, внаслідок чого змінюються умови реалізації технологічного процесу, продукт не досягає необхідних властивостей, підвищується тривалість оброблення та питомі енерговитрати.

Інтенсифікація технологічних процесів хімічної, нафтопереробної, харчової та інших галузей промисловості викликає необхідність підвищення надійності та довговічності роботи ГКА.

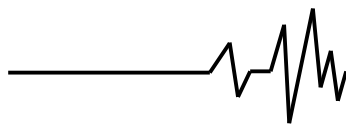
Для виготовлення робочих органів ГКА найчастіше застосовують вуглецеві або хромисті сталі, а коли це передбачено санітарно-гігієнічними умовами – корозієстійкі сталі, зокрема, 12Х18Н10Т. Однак практично всі вони виявляють недостатню кавітаційно-ерозійну стійкість і мають схильність до відносно швидкого спрацювання у відносно короткий термін.

Для підвищення надійності і довговічності ГКА можна використати такі основні заходи:

- вдосконалити конструкцію;
- змінити умови експлуатації обладнання або його окремих вузлів;
- поверхнево зміцнити швидкозношувані робочі органи або вибрати нові конструкційні матеріали для їх виготовлення.

На нашу думку, найбільш перспективним способом підвищення надійності та довговічності робочих органів ГКА, є використання для їх виготовлення перспективних конструкційних матеріалів, зокрема, керамічних. Вони мають комплекс таких фізико-хімічних і механічних властивостей, які дають можливість розглянути їх як перспективний конструкційний матеріал для робочих вузлів ГКА.

При дослідженнях та з досвіду промислового застосування керамічних матеріалів накопичено певні дані про їх властивості за певних умов експлуатації. Зокрема встановлено, що в керамічних



матеріалах, як і в металах, внаслідок ударно-хвильової дії колапсуючих бульбашок виникають пружні деформації, які спричиняють виникнення поверхневих тріщин на поверхні та поступове руйнування [4].

Експериментальні дослідження кавітаційного зношування зразків з керамічних матеріалів під дією ультразвукової кавітації показують, що за зносостійкістю вони не поступаються традиційним конструкційним матеріалам [5]. Відомо, що кращу зносостійкість мають керамічні матеріали на основі оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  [4].

Залежно від вмісту  $Al_2O_3$  в керамічній композиції та співвідношення її складових компонентів розрізняють мулітову, муліто-корундову та корундову кераміку, які мають різні фізико-механічні властивості.

Так, основним компонентом мулітової та муліто-корундової кераміки є муліт з вмістом  $Al_2O_3$  до 71,8% і корунд, причому оксид алюмінію знаходиться як у сировині, так і додається з глиноземом та електрокорундом.

Муліто-корундова кераміка містить понад 70%  $Al_2O_3$  і є найбільш поширеним типом технічної кераміки.

Кераміка з вмістом оксиду алюмінію понад 95% є корундовою з практично повною відсутністю муліту. В матеріалах такого типу фазовий склад містить корунд і склоподібні включення, які утворюються при охолодженні суміші. Основною кристалічною фазою такої кераміки є корунд [4].

Отже, вивчення можливості застосування керамічних матеріалів для виготовлення робочих вузлів ГКА є актуальним науково-прикладним завданням. Відповідно до програми досліджень способом гарячого пресування підготовлені зразки з керамічних матеріалів і визначені їх основні технічні характеристики, які наведено у таблиці.

	Матеріал зразка			
	Техн. фарфор	$Al_2O_3$ (92%)	$Al_2O_3$ (96%)	$Al_2O_3$ + $SiO_2$
№ зразка	3	5	2	7
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,5	3,4	3,5	3,9
Міцність на згинання, МПа	160	250	280	380
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	2,5	4,0	4,0	4,0
Модуль пружності, ГПа	100	220	240	390
Швидкість поширення звуку, м/с	6300	8050	8280	8990

В наведених в таблиці даних зразок №5 – мулітова кераміка, №3 – муліто-корундова кераміка, №2 – корундова кераміка, №7 – кераміка з модифікуючими добавками.

Зразки для досліджень одержували з попередньо подрібненого технічного глинозему з сумішшю оксиду алюмінію різних модифікацій з розмірами основної фази 5 мкм. Суміш просіювали, змішували з пластифікатором, пресували та піддавали випалюванню при температурі до 1500 °С. За таких умов відбувається усадка зразка та збільшується вміст дисперсних складових, що підвищує фізико-механічні властивості досліджуваних зразків.

Дослідження кавітаційної стійкості керамічних конструкційних матеріалів проводили на установці УЗДН – 2Т з магнітострикційним вібратором (МСВ) при частотах його коливань 22 і 44 кГц та амплітуді 20 мкм. Зразки встановлювали на відстані 0,5 мм від торця концентратора у водопровідній воді при температурі 20± °С. Досліджувані поверхні зразків попередньо шліфували.

Інтенсивність зношування визначали за втратою маси зразків через фіксовані проміжки часу за допомогою лабораторних електронних вагів Radwag 210 з точністю до 0,0001 г. Перед зважуванням зразки попередньо послідовно промивали у дистильованій воді та спирті, просушували при температурі 70...80 °С протягом 90 хв. в сушильній шафі, охолоджували та зберігали в ексікаторі.

Одержані результати наведено на рисунках 1 – 4. Їх аналіз дає змогу встановити загальні закономірності та особливості кавітаційно-ерозійного зношування керамічних матеріалів різних типів.

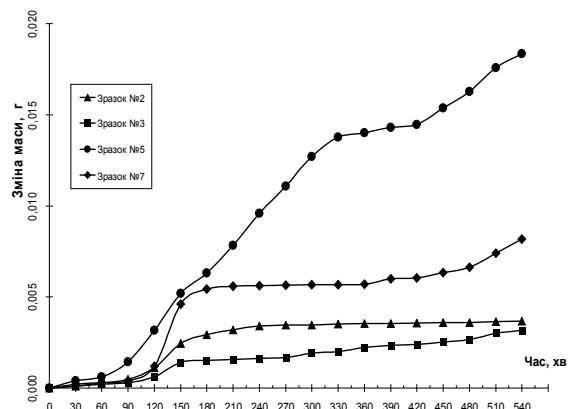
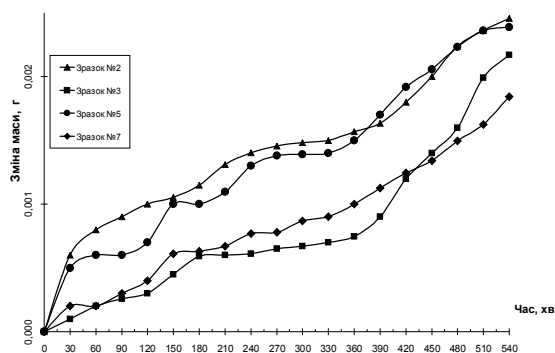
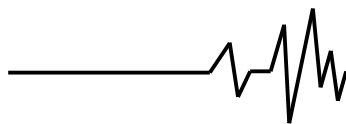
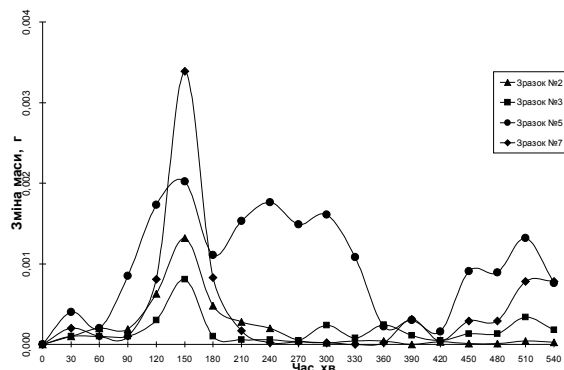


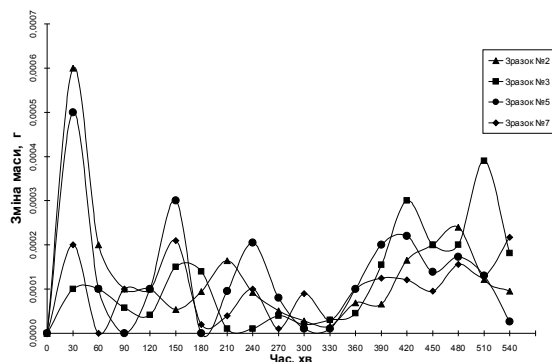
Рис. 1. Втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 22 кГц



**Рис. 2. Втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 44 кГц**



**Рис. 3. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 22 кГц**



**Рис. 4. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 44 кГц**

При частоті коливань концентратора МСВ 22 кГц спостерігається значна втрата маси зразків №3 та №7, яка суттєво проявляється після 120 хв. досліджень. Зразки №2 та №5 руйнуються менш інтенсивно і після 120 хв. досліджень прискорення втрати маси стабілізувалось і залишалось незмінним протягом всього часу досліджень. Графічні залежності на рис. 1 показують, що швидкість кавітаційного руйнування зразків 2 та 5 майже на порядок нижче, ніж зразка 3 та в 4-5 разів менше порівняно зі зразком 2. Аналіз фазових складових матеріалів зразків дає можливість зробити висновок, що збільшення вмісту

зв'язуючої складової сприяє інтенсифікації кавітаційної ерозії.

При збільшенні частоти коливань до 44 кГц динаміка втрати маси всіх досліджуваних зразків рівномірна (рис.2) і має однакову тенденцію до зростання протягом всього часу досліджень. Суттєвої різниці у втраті маси зразків не спостерігається. В інтервалі досліджень 180...360 хв. втрати маси зразком 3, а зразком 5 в інтервалі 240...360 хв. постійні та стрибкоподібно збільшуються при подальшій кавітаційній дії. Очевидно, що в цей час відбувається накопичення дефектів в поверхневому шарі зразків, що призводить до подальшого прискореного руйнування.

Більш розгорнуту картину динаміки руйнувань дають рисунки 3, 4, на яких зображено графіки швидкості втрати маси зразками при частотах коливань концентратора МСВ відповідно 22 та 44 кГц. При частоті коливань 22 кГц руйнування всіх зразків має переважно циклічний характер, який особливо наочно проявляється для зразків 7 та 5. На початковому етапі досліджень (до 90 хв.) в поверхневих шарах матеріалів накопичується мікротріщини втомлювального характеру, що призводить до подальшого раптового поверхневого руйнування зразка.

При частоті коливань 44 кГц вже на початковому етапі досліджень спостерігається значна втрата маси всіх досліджуваних зразків, яка циклічно повторюється після нетривалого періоду накопичення кавітаційних ушкоджень.

Аналіз одержаних результатів дозволяє зробити висновок, що досліджені конструкційні матеріали можуть бути рекомендовані для виготовлення ГКА при роботі в хімічно-активних середовищах.

### Література

1. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация: кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч.1. — Л.: Полиграфкнига, 1987. — 839 с.
2. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості / О.А.Литвиненко, О.І.Некоз, П.М. Немирович, З. Кондрат, — К.:РВЦ УДУХТ, 1999. — 87 с.
3. Козюк О.В., Некоз О.І.. Взаимосвязь эрозионной и технологической активности гидродинамической кавитации // Пробл. трения и изнашивания. — Вып. 38. — С. 17–20.
4. Балкевич В.Л. Техническая керамика. — М.: Стройиздат, 1984. — 250 с.
5. Литвиненко О.А., Некоз О.І., Кавун В.П. Кавітаційна стійкість керамічних матеріалів // Вісник національного технічного університету «ХПІ», 2009. — Вип. 25. — С. 18–23.