

УДК 629.5

СФЕРИЧНІ ОБОЛОНКИ ІЗ КЕРАМІКИ ЯК ЕЛЕМЕНТИ ПЛАВУЧОСТІ ПІДВОДНОЇ ТЕХНІКИ

Бурдун Є.Т.¹, Гейко С. П.², Юреско Т.А.³

¹кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри проектування та виробництва конструкцій із композиційних матеріалів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
evgeniy.burdun@nuos.edu.ua

²кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування та виробництва конструкцій із композиційних матеріалів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
geykosp@gmail.com

³кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування та виробництва конструкцій із композиційних матеріалів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
tyuresko@gmail.com

Анотація. Представлені результати експериментального дослідження несучої здатності безшовних сферичних оболонок із оксидної кераміки в умовах короткочасного гідростатичного навантаження.

Ключові слова: безшовні сферичні оболонки, гідростатичний тиск, оксидна кераміка.

Досвід освоєння океанських глибин показав, що найефективнішою геометричною формою для створення додаткової плавучості є порожниста замкнена сферична оболонка із високоміцних і високомодульних матеріалів з низькою відносною густиною при відсутності концентраторів напружень. Перспективною для таких оболонок є кераміка, однак існує серйозна проблема - низька ударна в'язкість кераміки при динамічних навантаженнях. Відносна густина макрооболонок для створення плавучості знаходиться в межах 100 – 450 кг/м³, діаметр 30 – 300 мм.

Мета роботи – експериментально визначити несучу здатність сферичних оболонок із оксидної кераміки в умовах короткочасного гідростатичного навантаження.

Для проведення випробувань використовувались безшовні оболонки з оксидної кераміки, що виготовлялись за технологією шлікерного лиття у водопоглинаючу форму, розроблену співавторами [1].

Досліджувались керамічні оболонки трьох типів складів: порцеляна технічна; високоглиноземиста порцеляна; корунд (99,5% Al₂O₃).

Випробування виконувались за методиками [2] з використанням відповідно обладнаних гідростатичних стендів високого тиску. Робоча рідина – вода. Залежність несучої здатності оболонок – границі міцності або стійкості оболонок P_r , МПа при гідростатичному стисканні у воді від відносної густини оболонки ρ_0 (кг/м³) наведено на рис. 1.

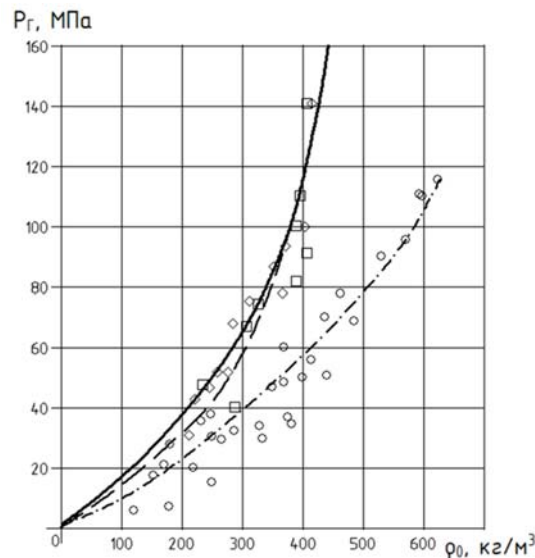


Рисунок 1 - Залежність міцності при гідростатичному стисканні P_r від відносної густини ρ_0

Розбіжність результатів експериментів зростає із зменшенням відносної густини оболонки. Особливо суттєво ця закономірність проявляється на графіку (рис. 2) залежності розрахункового руйнівного напруження:

$$\sigma_p = \frac{P_r R_0}{2\delta},$$

від відносної густини ρ_0 (R_0 – радіус оболонки, δ – товщина стінки оболонки).

Апроксимація результатів експериментів методом найменших квадратів для несучої здатності оболонок (рис.1) дає такі залежності:

- для хімічно-стійкої порцеляни $P_r = (62,6\rho_0 + 0,189\rho_0^2) \cdot 10^{-3}$, МПа
- для високоглиноземистої порцеляни $P_r = (110\rho_0 + 0,35\rho_0^2) \cdot 10^{-3}$, МПа
- для корунду $P_r = (50\rho_0 + 0,486\rho_0^2) \cdot 10^{-3}$, МПа

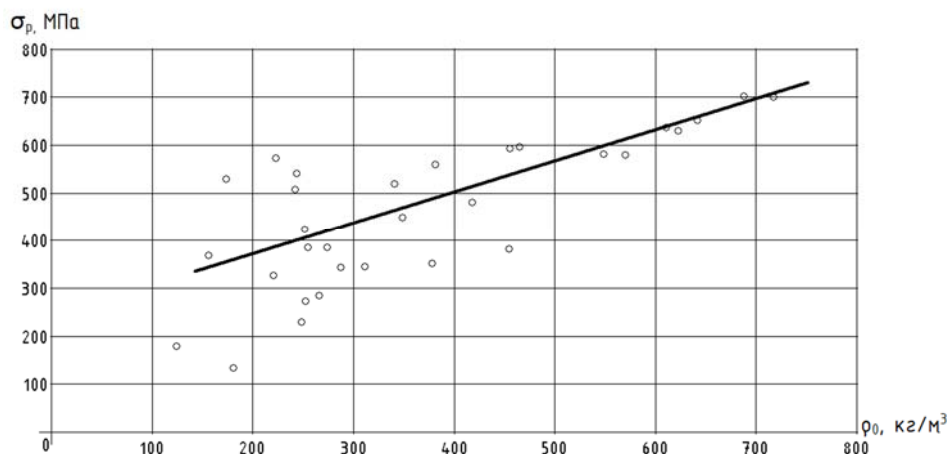


Рисунок 2 - Вплив відносної густини оболонки ρ_0 на руйнівне напруження σ_p

Порівняння несучої здатності оболонок, що виготовлені з трьох досліджених складів показало, що найбільшу міцність мають оболонки з високоглиноземистої порцеляни, хоч руйнівні напруження оболонок з корунда вище приблизно у два рази, їх несуча здатність дещо нижча за рахунок більшої питомої густини матеріалу, та як результат - меншої

товщини оболонки при тій же питомій масі. Проявляється масштабний фактор, суть якого полягає в більшій чутливості тонких виробів до невідповідності геометрії оболонок і мікроскопічним дефектам стінки виробу (нерівномірність товщини, пори, сторонні включення). При значних товщинах ($\rho \geq 400 \text{ кг/м}^3$), несуча здатність оболонок із обох типів матеріалів вирівнюється, а з подальшим збільшенням питомої маси оболонки із корунда стають міцнішими (вплив мікродефектів слабшає, тому що товщина стінки суттєво збільшується).

Реалізація безшовного варіанту оболонки дозволяє в значній мірі реалізувати міцність кераміки, особливо що до дешевої порцеляни. Руйнування оболонки із порцеляни під тиском P_T , що відбувається при стискаючих напруженнях σ_r в оболонці, що досягають 80% від границі міцності на стискання порцеляни.

Більш висока несуча здібність оболонок з високоглиноземистої порцеляни в порівнянні з оболонками із хімічно стійкої порцеляни, що пов'язане з більшим вмістом каоліну, який при випалюванні утворює високоміцний муллітокорундовий склад.

Якщо прийняти до розрахунку показники вартості, то переваги також треба віддати порцеляні, тому що корунд є на порядок дорожчий. Це пов'язано з високою вартістю корундового порошку та великих енергетичних витрат при випалюванні. Температура спікання корунду сягає 1750°C , а порцеляни $1200-1300^\circ\text{C}$.

Розбіжність результатів випробувань оболонок тиском P_T потребує тестування їх перед використанням. При цьому неминуче руйнування частини оболонок. Тому слід використовувати ймовірнісну залежність - функцію Лапласа, що дозволяє визначити відсоткову кількість зруйнованих сфер P , як функцію P_T/P_T (рис. 3).

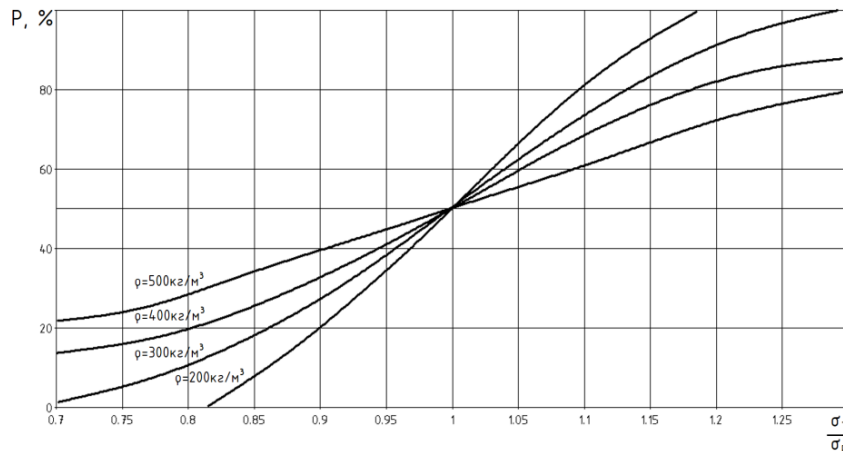


Рисунок 3 – Відсоток зруйнованих оболонок різної густини на різних рівнях тиску

Розбіжність результатів випробувань викликана різною геометрією оболонок – їх відхилення від сферичності. Оцінка несферичності виконувалася на партії із 243 оболонок, що виготовлені з корунду. На рис. 4 представлена залежність щільності ймовірності ω (%) розподілення оболонок за несферичністю:

$$\Delta = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{cp}} 100\%,$$

де D_{max} , D_{min} , D_{cp} – максимальний, мінімальний та середній діаметр оболонки.

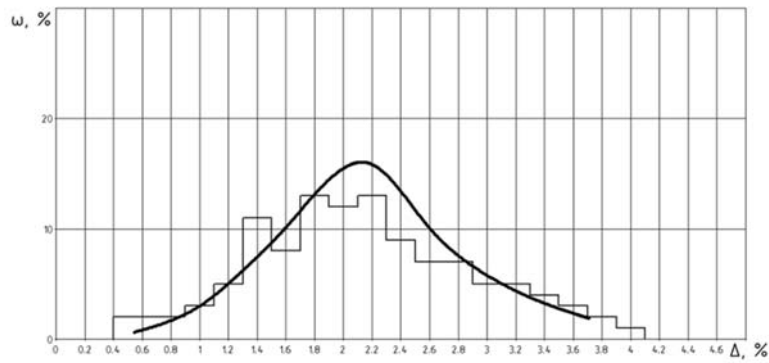


Рисунок 4 – Розподіл оболонок за несферичністю
Середнє значення $\Delta_{\text{ср}}=2,02\%$;
Середньоквадратичне відхилення $\Delta=0,69\%$

На рис. 5 представлена залежність параметра міцності корундової оболонки P_T/ρ_0 від несферичності Δ . Простежується зниження міцності оболонки при збільшенні несферичності.

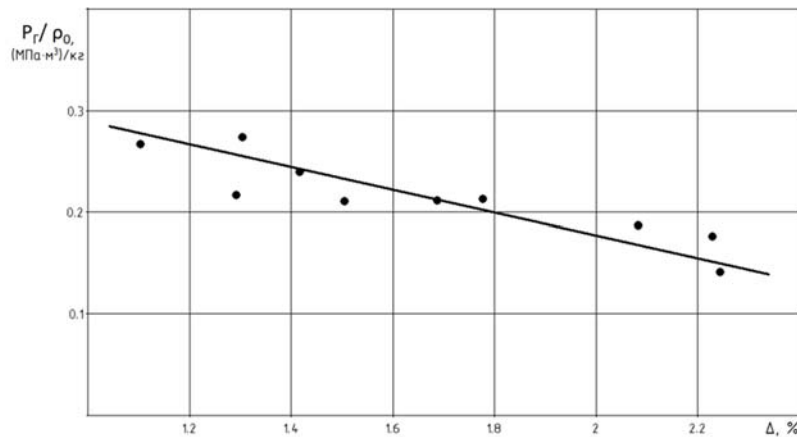


Рисунок 5 - Вплив несферичності оболонок на параметр несучої здатності

На деформування поверхні оболонок впливає значна кількість факторів:

- нерівномірність сушіння виробу в формі;
- просідання пластичного черепка при усадці та відшаруванні від форми;
- просідання під час вид випалу (явище високотемпературної повзучості);
- нерівномірність температурного поля в середині печі.

Більшістю з цих факторів дуже важко керувати в умовах промислового виробництва. Тому підвищення якості оболонок в частині вдосконалення їх геометрії пов'язано з вдосконаленням оснащення, в особливості виплавних печей для випалювання та засобів контролю температурного поля в середині печі.

Висновок.

1. Дослідження несучої здатності несучих оболонок при короткочасному гідростатичному навантаженні підтвердили, що запропонована технологія дозованого безшовного шлікерного лиття в двовісному обертаючому пристрої, забезпечує більш високий ступінь сферичності і рівностінності оболонок та дозволяє реалізувати високий потенціал міцності кераміки, ніж існуючі виливні шлікерні технології.

2. Для оболонок, як окремих елементів плавучості перспективними є оболонки з високоглиноземистої порцеляни, бо при однаковій щільності вони істотно дешевші за корунд.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Способ отливки полых замкнутых сферических оболочек и устройство для его осуществления. А.с. СССР, № 1766053 от 1.06.92. (приоритет № 4238234 от 02.04.1987 г.)

[2] Методика визначення зміни механічних характеристик сферопластиків під впливом дії гідростатичного тиску УКФА 730107.009 М, Миколаїв НУК, 2019 р.

Yevgen Burdun¹, Sergiy Geyko², Tetyana Yuresko³

¹⁻³ Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The results of an experimental study of the bearing capacity of seamless spherical shells made of oxide ceramics under conditions of short-term hydrostatic loading are presented.

Keywords: seamless spherical shells, hydrostatic pressure, oxide ceramics.

УДК 629.5.015.4: 629.5.023.463

**ОСОБЛИВОСТІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРО ЗГИН ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ
ЯК КОНСТРУКТИВНО ОРТОТРОПНОЇ ПЛАСТИНИ
ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Клименков С.Ю.¹, Худяєв О.В.²

¹старший викладач кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
sergij.klymenkov@nuos.edu.ua;

²студент групи 511бм Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
khudyaev@ukr.net

Анотація. Запропоновано визначення модуля пружності в поперечному для гофрів напрямку для подальшого розрахунку перегородки як конструктивно-ортотропної пластини. Виконано розрахунки переміщень в поперечному до гофрів напрямку на прикладі гофрованої перегородки танкеру проекту 15966.

Ключові слова: гофровані перегородки; конструктивно-ортотропні пластини; напружено-деформований стан; модуль пружності, закон Гука.

Вступна частина. Основним недоліком розрахунків напружено-деформованого стану конструкцій в програмних комплексах САЕ є необхідність створення геометричних моделей, що мають конкретні розміри і параметри, тобто проектувальні розрахунки можливі тільки з використанням методу послідовних наближень. Отже аналітичні рішення є найбільш переважними на стадії проектування конструкцій, а перевірочні розрахунки за допомогою МСЕ-комплексів доцільні, коли основні розміри і параметри конструкції вже визначені. Розвиток сучасних математичних пакетів символьних розрахунків (Mathcad, Maple) поновлює інтерес до теоретичних рішень задач, які завдяки складності математичної частини представлялись громіздкими і незручними для практичного використання. До такої категорії задач можна віднести визначення напружено деформованого стану гофрованої перегородки під дією поперечного навантаження. На сьогоднішній час існує декілька методик теоретичного розрахунку напружено-деформованого стану гофрованих пластин. Найбільш простий викладено в [1, с. 49] коли в повздовжньому напрямку грані гофрів розглядаються як окремі призматичні балки що згинаються у площині своєї найбільшої жорсткості. Згин у площині мінімальної жорсткості не враховується. У поперечному напрямку грані розглядаються як жорсткі пластини, що вигинаються по дузі кола і можуть бути розраховані як ламана балка-смузка з жорсткими