

Література:

1. Панасюк В. Концепція декогезивного впливу водню на метали // *Фізико-Хімічна Механіка Матеріалів*, no. 50, № 2, pp. 7–15, 2014.
2. van Duin A. C. T., Dasgupta S., Lorant F., Goddard W. A. ReaxFF: A Reactive Force Field for Hydrocarbons // *J. Phys. Chem. A*, vol. 105, no. 41, pp. 9396–9409, 2001, doi: 10.1021/jp004368u.
3. Wang Z., Shi X., Yang X.-S., Liu Z., Shi S.-Q., Ma X. The Effects of Hydrogen Distribution on the Elastic Properties and Hydrogen-Induced Hardening and Softening of  $\alpha$ -Fe // *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 24, 8958, 2020, doi: 10.3390/app10248958.

**Псярнецька Т. О.<sup>1</sup>, Цисар М. О.<sup>1</sup>, Бабак А. М.<sup>2</sup>**

**(<sup>1</sup>ІНМ ім. Бакуля НАН України; <sup>2</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)**

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК БАЗА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНЖЕКЦІЙНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК  
З ПЛАСТИФІКОВАНИХ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ФОРМІ КУЛІ**

E-mail: ps\_tetiana@ukr.net

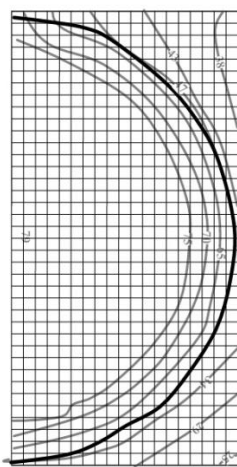
Важливою частиною виготовлення якісних заготовок з пластифікованих керамічних матеріалів методом інжекційного формування є підтримка стабільного температурного градієнту [1]. Оскільки процес заповнення форми і остигання відбувається в закритому середовищі, то дослідити його можливо лише за рахунок комп'ютерного моделювання. Так задача моделювання при розрахунку температурних полів розглядає лише половину кулі і вважається вісесиметричною, відповідно достатньо провести розрахунок для сегменту і симетрично його відобразити [2]. Експериментальне підтвердження комп'ютерних розрахунків пов'язано з випробовуваними на перерізах зразків у вигляді кулі, що проходять крізь вісь обертання. Дослідження проводились методом мікроіндентування, як непрямим, оскільки він є достатньо чутливим для визначення ущільнення матеріалу в результаті процесу заповнення форми [3].

При постановці експериментальної задачі було зроблено ряд припущень:

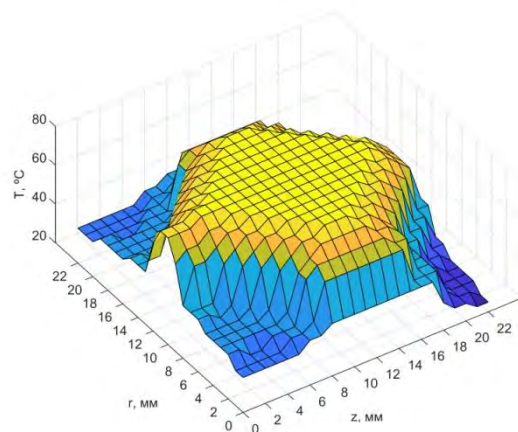
– максимальне ущільнення є в центральній зоні осевого перерізу сформованої заготовки в формі кулі, де мають місце максимальне значення температури (див. рис. 1, б, з) і, відповідно, найповільніше остигання;

– заповнення є рівномірним без можливого відриву застиглих частинок термопластичної маси біля стінок прес-форми в результаті дії гідравлічного удару;

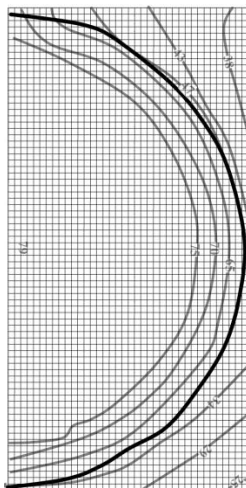
– при отриманні полів твердості треба чітко враховувати вісь кулі, що проходить крізь точку інжектування, для врахування впливу гравітації на однорідність пластифікованих керамічних матеріалів.



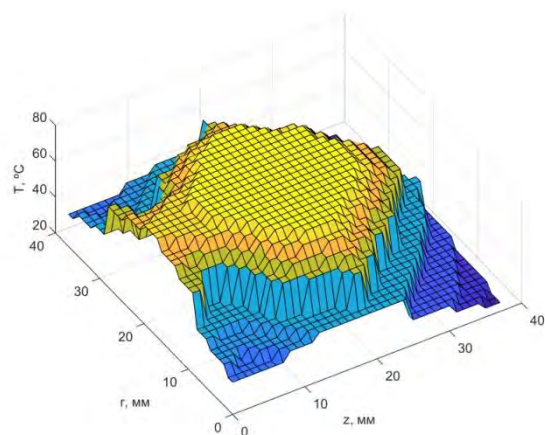
а



б



в



г

Рис. 1. Поле температури через 7 с після інжектування: 2D-зображення Ø22 (а), 3D-зображення Ø22 (б), 2D-зображення Ø36 (в), 3D-зображення Ø36 (г)

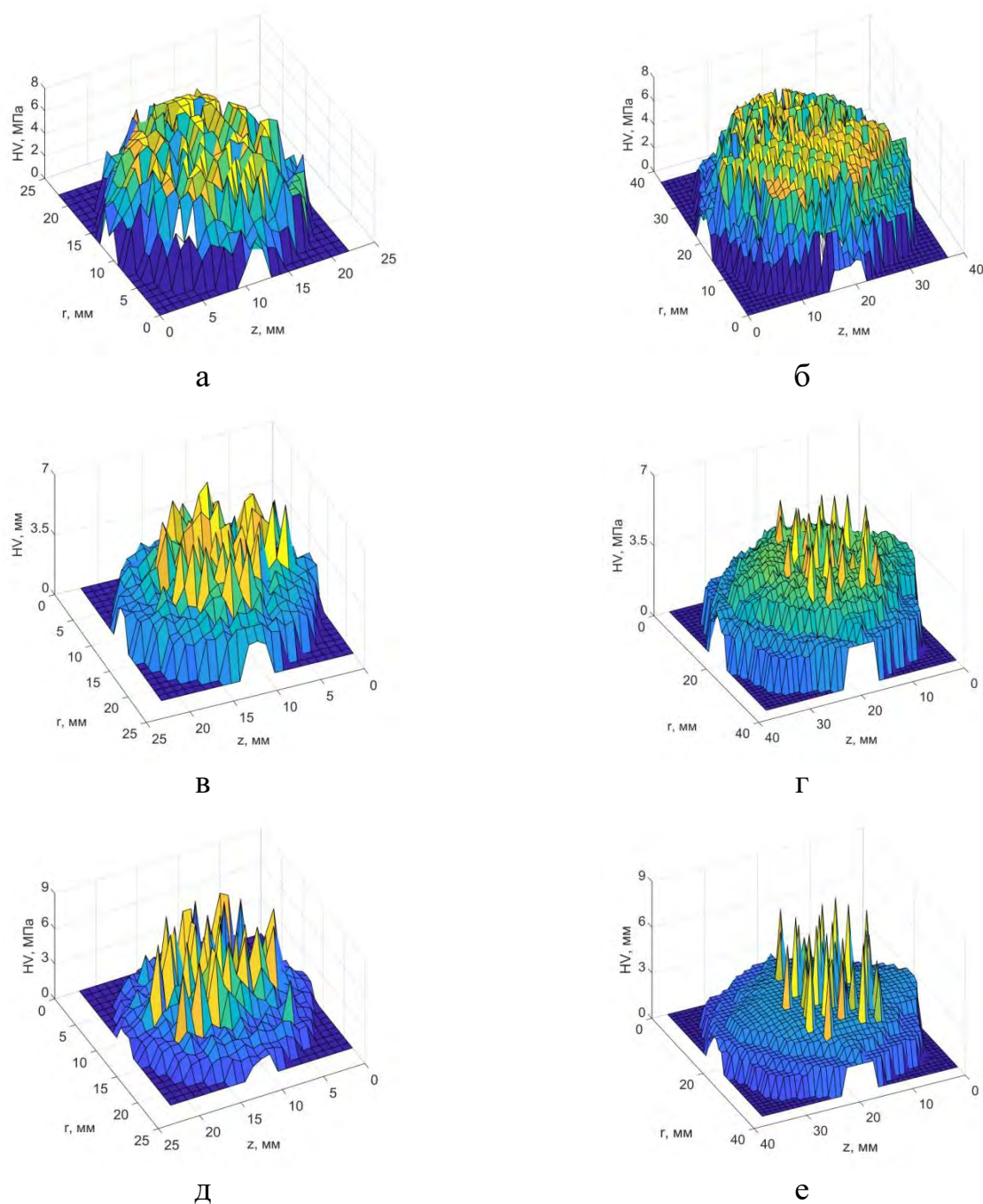


Рис. 2. 3D-зображення поля мікротвердості в площині осевого перерізу заготовки в формі кулі: а – пластифіковані керамічні матеріали на основі SiC Ø22; б – пластифіковані керамічні матеріали на основі SiC Ø36; в – пластифіковані керамічні матеріали на основі AlN Ø22; г – пластифіковані керамічні матеріали на основі AlN Ø36; д – пластифіковані керамічні матеріали на основі WC Ø22; е – пластифіковані керамічні матеріали на основі WC Ø36

Попередньо для даних матеріалів було проведено процедуру калібрування, згідно якої було встановлено оптимальне навантаження на індентор, а також крок між уколами. Оскільки переміщення зразку відносно індентора здійснювалось за допомогою мікрометричних гвинтів крок можна було варіювати в широких діапазонах із точністю до 5 мкм. Було прийнято рішення провести серію уколів по всій поверхні перерізів із кроком 500 мкм. Перерахунок параметрів відбитка при заданому зусиллі дозволив сформувати матрицю мікротвердості та побудувати 3D-мапу розподілу по площині осьового перерізу зразка (рис. 2).

Як видно, максимальні значення мікротвердості мають місце в зоні найповільнішого застигання (див. рис. 2), що відповідає максимальному ущільненню пластифікованого керамічного матеріалу заготовки при її застиганні в прес-формі. Таким чином, утримання тиску в прес-формі протягом декількох десятків секунд після інжектування є рекомендованим технологічним рішенням, що забезпечує допресовку термопластичної маси для заготовок в формі кулі. Також було показано, що у випадку куль більшого діаметру навіть для дрібнодисперсних порошків, як у випадку AlN, WC, агломерати знаходяться в більшості в нижній частині сформованого напівфабрикату, що пов'язано із гравітаційним впливом. Більш наглядним і очевидним є випадок для зразків в формі кулі діаметром 36 мм виготовлених з пластифікованих керамічних матеріалів на основі SiC, як можна побачити з рис. 2, б основна концентрація таких агломератів є саме в нижній частині дослідних зразків, що підтверджує гравітаційну теорію, та можливо пов'язано із більш повільним застиганням пластифікованих керамічних матеріалів ніж показано в розрахунках. Середнє значення мікротвердості по перерізу наведено у таблиці.

Таблиця 1 – Середнє значення мікротвердості\* по перерізу для пластифікованих керамічних матеріалів на основі SiC, SiC, WC

| Діаметр кулі, мм | SiC | AlN | WC  |
|------------------|-----|-----|-----|
| 22               | 2,4 | 2,5 | 1,9 |
| 36               | 2,5 | 2,4 | 1,7 |

\*– значення в таблиці наведено в МПа.

Література:

1. Визначення параметрів процесу інжекційного формування на основі комп'ютерного моделювання / Т.О. Цисар // Вісн. НТУУ «КПІ». Сер. Машинобудування. – 2010. – №58. – С.116-121.
2. Розробка технології інжекційного лиття керамічних виробів з використанням комп'ютерного моделювання / Т.О. Псярнецька, О.Г. Кіркова, О.О. Лещук, М.Б. Штерн, В.В. Івженко // Порошк. металургія, 2021. – №3/4. – С.28-44.
3. Мікротвердість кільцевих виробів з керамічного матеріалу на основі SiC після інжекційного лиття / Т.О. Псярнецька, М.О. Цисар, О.О. Лещук, Т.О. Косенчук, В.В. Івженко, В.І. Шидловський // Інструментальне матеріалознавство, 2021. – вип. 24. – С. 400-407.

**Руденький С.О.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

**ВПЛИВ  $TiO_2$  НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТУ  
 $Al_2O_3-SiO_2-MgO-TiO_2$  НА ОСНОВІ ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ**

E-mail: ruserg@ukr.net

Сучасний стан розвитку техніки і технологій пов'язаний з удосконаленням існуючих і створенням нових матеріалів [1]. Отримання таких матеріалів можливо при застосуванні сучасних технологій, що суттєво відрізняються від традиційних. Тому в роботі застосовувались методи порошкової металургії, що дозволяють отримувати матеріали з складним поєднанням властивостей, які іншими методами отримувати практично неможливо [2].

При наявності, в більшості випадків, переваг у властивостях кераміки на основі  $Al_2O_3$  і доступності вихідної сировини, одним з основних її недоліків залишається велика енергоємність виготовлення, зокрема висока температура спікання – 1650-1750 °С, що потребує значних енерго- і матеріальних затрат при її промисловому виробництві. Загальна тенденція по енергозбереженню зумовлює,