

УДК 620.178.152.341.4:621.744: 666.798.2

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-302-311

Т. О. Псярнецька¹; М. О. Цисар¹, А.М. Бабак², кандидати технічних наук; **О. О. Лещук¹**, д-р техн. наук; **Т. О. Косенчук¹; В. В. Івженко¹**, канд. техн. наук; **В. І. Щидловський¹**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074 м. Київ, e-mail: t_tsysar@ism.kiev.ua

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», пр. Перемоги 37, 03056 м. Київ, e-mail: sopromat_dpm@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЧАСТОК КЕРАМІКИ SiC, WC, AlN МІКРОІНДЕНТУВАННЯМ В НАПІВФАБРИКАТАХ У ФОРМІ КУЛІ З ОТВОРОМ, ОТРИМАНИХ ІНЖЕКЦІЙНИМ ЛИТТЯМ

Комп'ютерне моделювання стало невід'ємною складовою роботи інженера-конструктора, що значно прискорило та знизило собівартість процесу переходу від проектування до виробництва за рахунок зменшення кількості промислових випробувань.

Мета досліджень: доповнення результатів моделювання відомостями про остаточне ущільнення матеріалу в зоні найповільнішого остигання за рахунок додаткового пресування.

Методи дослідження: інформаційно-аналітичні дослідження, комп'ютерне моделювання, механічні випробування.

Результати досліджень: для поперечного зрізу дослідного зразка було побудовано тривимірну мапу мікротвердості, що підтвердило факт ущільнення часток кераміки та утворення крупних агломератів в центральній зоні найповільнішого остигання.

Практичне значення: отримані відомості дозволять оптимізувати процес підготовки пластичних керамічних мас та формування напівфабрикатів на етапі лиття у прес-форму.

Ключові слова: інжекційне формування, комп'ютерне моделювання, індентування, мікротвердість, карбід кремнію, карбід вольфраму, нітрид алюмінію.

Вступ

Поняття «кераміка» та «вироби з кераміки» за останню половину сторіччя суттєво розширились. Саме визначення походить від давньогрецького *keramos* – глина, та відповідно «кераміка» – гончарне мистецтво. Серійне виробництво наклало на це поняття свій відбиток, і мистецтво перетворилось на технологічний процес. Також суттєво розширилась сфера застосування: з'явилося таке поняття як технічна кераміка, де на зміну водного розчину глини прийшли розчини на основі карбідів, оксидів, нітридів металів. Кераміку на основі тугоплавких сполук та керметів почали використовувати не лише як кухонне приладдя, а і в таких галузях як: медицина, електроніка, авіація та космонавтика, машино- та станкобудування, хімічна промисловість [1].

В зв'язку з цим до якості керамічних виробів почали висувати нові вимоги, під якими згідно з міжнародним стандартом ISO 8402:1994 і державним стандартом України ДСТУ ISO 9002-95 розуміють сукупність характеристик [2,3]. Однією з обов'язкових характеристик виробу є взаємозамінність, під якою розуміють властивість конструкції виробу забезпечувати можливість установки чи заміни кожної з її незалежно виготовлених деталей чи складаних одиниць. Через це було створено нові методи виробництва більш схожих на виготовлення серійних деталей в металургії, такі як: прокат, шлікерне лиття, інжекційне формування [4].

За останні роки метод інжекційного формування еволюціонував та відокремився від методу шлікерного лиття [5]. Сутність методу полягає у тому, що для виготовлення виробів готується термопластична маса на основі керамічного порошку та зв'язуючого [6]. В подальшому вона інжектується за рахунок пластичної течії під дією тиску в прес-формі. Відносне переміщення частинок і їх щільне укладання можливі тільки за наявності між ними прошарку пластифікатору – зв'язуючого. Пластифікатор, разом із полегшенням ковзання частинок порошку одна відносно одної і стінок прес-форми, додає заготівкам деяку додаткову адгезійну міцність за рахунок клеючої здатності.

На даний час існує достатня кількість публікацій, в яких висвітлені питання підбору зв'язуючого [1], характеристик керамічних порошків та їх сумішей [4, 5], процесу попередньої грануляції [6, 7] аналізу властивостей спечених матеріалів [8]. Проте дослідженнями на проміжних етапах методу інжекційного формування, як другорядних, нехтують, оскільки вважається, що зміни властивостей пластичних керамічних мас не мають суттєвого впливу на якість кінцевого продукту, а саме спеченого керамічного виробу. Одним з таких етапів є інжекційне лиття у прес-форму, для якого фактично відсутні методи оцінки якості відлитих напівфабрикатів. Однак є розрахункові моделі, що дозволяють провести моделювання процесу заповнення форми.



Рис. 1. Розподіл ліній спаю в кулі з отвором, отриманий комп'ютерним моделюванням

В статті представлено результати розрахунків за двома моделями, призначеними для оптимізації параметрів формування виробів з пластичних керамічних мас. Вихідними даними для першої моделі є параметри технологічного процесу: температура, тиск, точка вприску, геометрія форми, на основі яких будується тривимірна візуалізація напівфабрикату з можливими дефектами [9], а саме: лінії спаю, повітряні пустоти тощо (рис. 1). Вихідними даними для другої моделі є: теплопровідність компонентів пластичних керамічних мас і матеріалів форми та її конструкція, на основі яких розрахунковим шляхом отримують розподіл температурних полів у залежності від часу остигання для плоского перерізу (рис. 2, а).

Проте, жодна з цих моделей не враховує можливе ущільнення вихідної органо-керамічної суміші в процесі інжекційного формування. При вприску температура пластичних керамічних мас миттєво падає до температури твердого стану біля стінок форми, однак в центральній частині вона залишається близькою до температури плавлення воску протягом 5–10 с. Враховуючи технологічний параметр – час витримки під тиском, – можна зробити припущення про нерівномірність (анізотропію) розподілу часток кераміки по об'єму напівфабрикату.

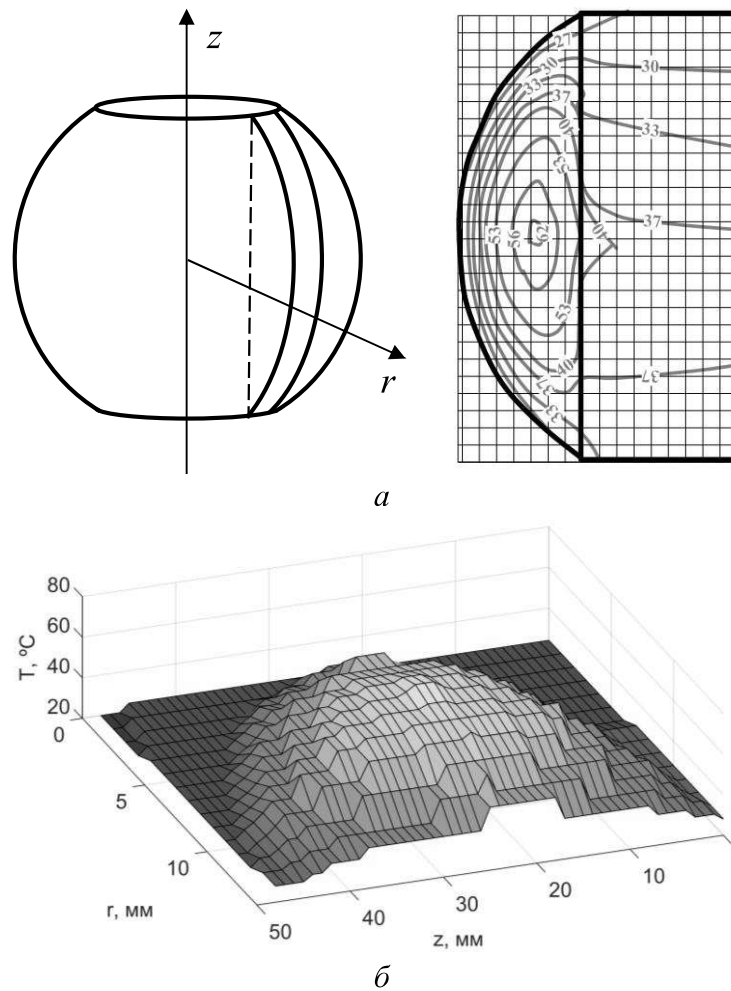


Рис. 2. Розподіл температурних полів 7 с: а – 2D зображення, яке відповідає зрізу кулі з циліндричним отвором, б – 3D зображення

Одним із методів дослідження анізотропії є метод мікроіндентування. В ряді публікацій [10] показано, що він дуже чутливий до фазових переходів, розміру зерен, ширині міжзеренних прошарків, структурного складу спеченої кераміки. В цій роботі ми пропонуємо дослідження напівфабрикату з пластичних керамічних мас методом мікроіндентування і побудову поля твердості по площині зрізу, що дасть змогу оцінити нерівномірність ущільнення пластичних керамічних мас. Згідно з розподілом температурних ізолій в площині зрізу через 7 с з початку повного заповнення форми, ми будемо тривимірне зображення температурних полів з накладеною сіткою, що має мінімально допустимий крок комірки в вузлах, в яких необхідно проводити індентування (рис. 2, б), що складає 500 мкм.

Згідно з вищевикладеним, у постановці задачі на експеримент ми робимо ряд припущень:

- максимальне ущільнення відбувається в середині сформованої заготовки з пластичних керамічних мас, ця ділянка відповідає розподіленню температурних полів (рис. 2 б) і знаходиться в зоні найповільнішого остигання;
- заповнення є рівномірним без можливого відриву частин, вже застиглих біля стінок форми, заготовки з пластичних керамічних мас за рахунок гідравлічного удару (рис. 1);

- для отримання максимально достовірних результатів при постановці задачі на дослідження необхідно вибрати оптимальні: навантаження та крок між уколами.

Мінімальне значення відстані між уколами нами вже було обмежено відстанню між температурними ізолініями (рис. 2. *a*); максимальне значення відстані між уколами визначається згідно ДСТУ ISO 6507-1:2007, воно складатиме 2–2,5 від довжини діагоналі уколу [11].

Підготовка зразків

Процес підготовки дослідних зразків стандартами не регламентований і складається з декількох етапів: розпил, попереднє шліфування, остаточне полірування.

Розкрій кулі з циліндричним отвором на сегменти здійснюється ручним пильним інструментом марки *Sparta 240245*, оснащеним полотном марки *KL-0002* зі стандартними зубцями (ширина полотна – 0,5 мм, товщина – 0,25 мм) [11–13]. Слід зазначити, що зубці полотна будуть суттєво зношуватись, оскільки частки кераміки, які входять в склад напівфабрикату, мають високу абразивну здатність. Відсутність контролю зносу полотна може призвести до сколів та тріщин зразка. Швидкість різання не повинна бути великою, оскільки воскова стружка з частками кераміки буде налипати на полотно, а частки кераміки (вихідного порошку) формуватимуть неконтрольовано глибокі борозни.

Згідно ДСТУ ISO 6507-1:2007 для визначення мікротвердості, є відповідні вимоги до плоскопаралельності опорної поверхні та поверхні, на якій проводиться індентування. Цю плоскопаралельність досягають попередньою обробкою шліфувальним папером PS30 [14], за допомогою мініатюрних тисків (рис. 3, *в*). Зазначимо, що зразок у формі відрізаного сегменту кулі з циліндричним отвором є крихким, і надмірне натискання на неї може призвести до часткового або повного його руйнування.

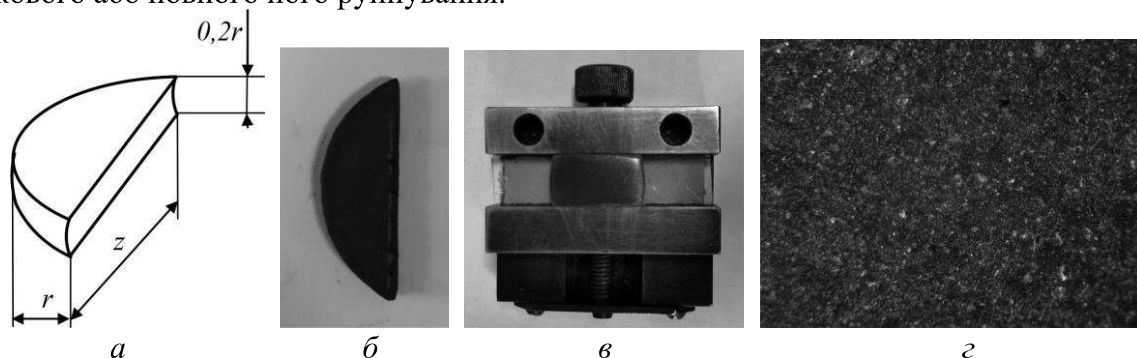


Рис. 3. Зображення зразку: *a* – схематичне; *б* – із збільшенням $\times 2$; *в* – в тисках із збільшенням $\times 2$; *г* – із збільшенням $\times 9$

Фінішна обробка здійснюється за допомогою технічного бархату ХБ (з фабричною вогнетривкою обробкою) щільністю 460 г/м^2 , склад 97% поліестер, 3% еластан згідно з ГОСТ 20566-75 [15]. Обробка здійснюється рівномірними повздовжніми рухами. Швидкість повздовжньої подачі при обробці не повинна бути високою, оскільки це може призвести до розтоплення воску та опущенню часток кераміки в більш низькі шари зразку, а також до нанесу шарів зв'язуючого на поверхню, що в свою чергу призведе до викривлення експериментальних даних. Так саме слід уникати надмірного натискання, оскільки це може призвести до часткового або повного руйнування зразка.

Дослідження та результати

Експериментальна частина складається з двох етапів: попередні дослідження масштабного фактору, згідно з законом механічної подібності, та оптимального навантаження; результатом остаточних досліджень є побудова тривимірних полів мікротвердості в площині перерізу.

Попередні дослідження необхідні в зв'язку з тим, що пластичні керамічні маси методом індентування раніше не досліджувались; таким чином, потрібно впевнитись, що ми отримуємо відомості про характеристику матеріалу, а не параметр, що залежить від зусилля [16].

При дуже малих навантаженнях ми отримуємо низьке значення твердості, близьке до твердості зв'язуючого. Це неприпустимо, оскільки нам потрібно експериментально отримати відомості про ущільнення часток кераміки в суміші, як інтегральну характеристику матеріалу.



Рис. 4. Зображення уколів при навантаженні на індентор 20 та 50 г

Проте, метод повинен бути достатньо чутливим для виявлення відповідної зональної будови, що обмежує максимальне навантаження на індентор. Таким чином, дослідження при дуже малих навантаженнях нас не влаштовують, як і при дуже великих. На рис. 4 видно дві лінії уколів, отриманих при різному навантаженні: 20 та 50 г.

Дослідним шляхом було додатково виявлено, що при малих розмірах відбитку індентора окремі зерна або їх агломерати можуть перекривати діагональ відбитку, викривляючи експериментальні данні.

Похибка від такого роду викривлень

може сягати від 10 до 25 %, що є неприпустимим [16]. Було проведено серію уколів, по десять з різним навантаженням, та побудовано залежність усередненого значення мікротвердості від зусилля навантаження (рис. 5).

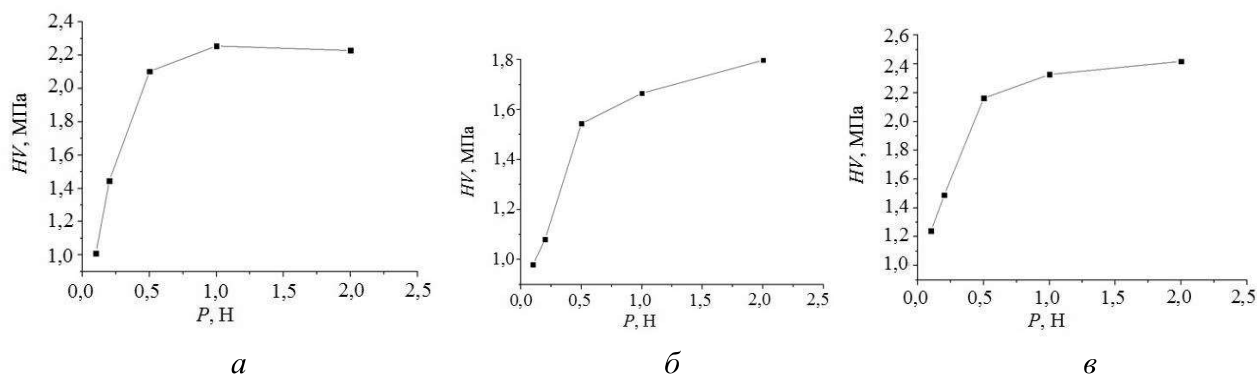


Рис. 5. Залежність мікротвердості від зусилля індентування пластичних керамічних мас: а – на основі SiC; б – на основі AlN; в – на основі WC

Як можна побачити, при зусиллі індентування в 10 та 20 г значення ще міняються, а після зусилля в 50 г ми виходимо на майже однакові значення твердості. Тобто, оптимальним для нашого ПКМ є зусилля від 50 г і більше. Оскільки при уколі з зусиллям 100 г ми отримуємо впевнений відбиток із чіткими краями, було прийнято рішення подальше дослідження проводити саме з цим зусиллям. Середнє значення діагоналі відбитку за 10 уколами склало

250 мкм; таким чином, згідно з ДСТУ ISO 6507-1:2007 [11] ми можемо проводити уколи з максимальним кроком 500 мкм між центрами інденування.

На рис. 6 можна побачити серію уколів, які були зроблені при зусиллі інденування 100 г. Переміщення зразку відносно вістря здійснювалось за рахунок мікрометричних гвинтів з кроком 500 мкм. Зображення відбитків було отримано за допомогою біологічного мікроскопу фірми Skydust модель XSP-1406 із максимальним збільшенням 1200, оснащеного цифровою приставкою 5МП.

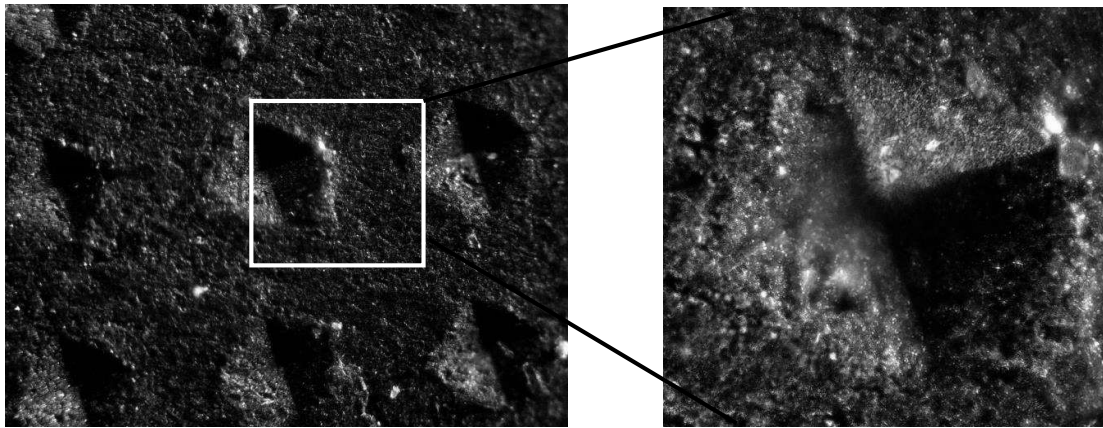


Рис. 6. Зображення уколів на поверхні зразка з пластичних керамічних мас на основі SiC

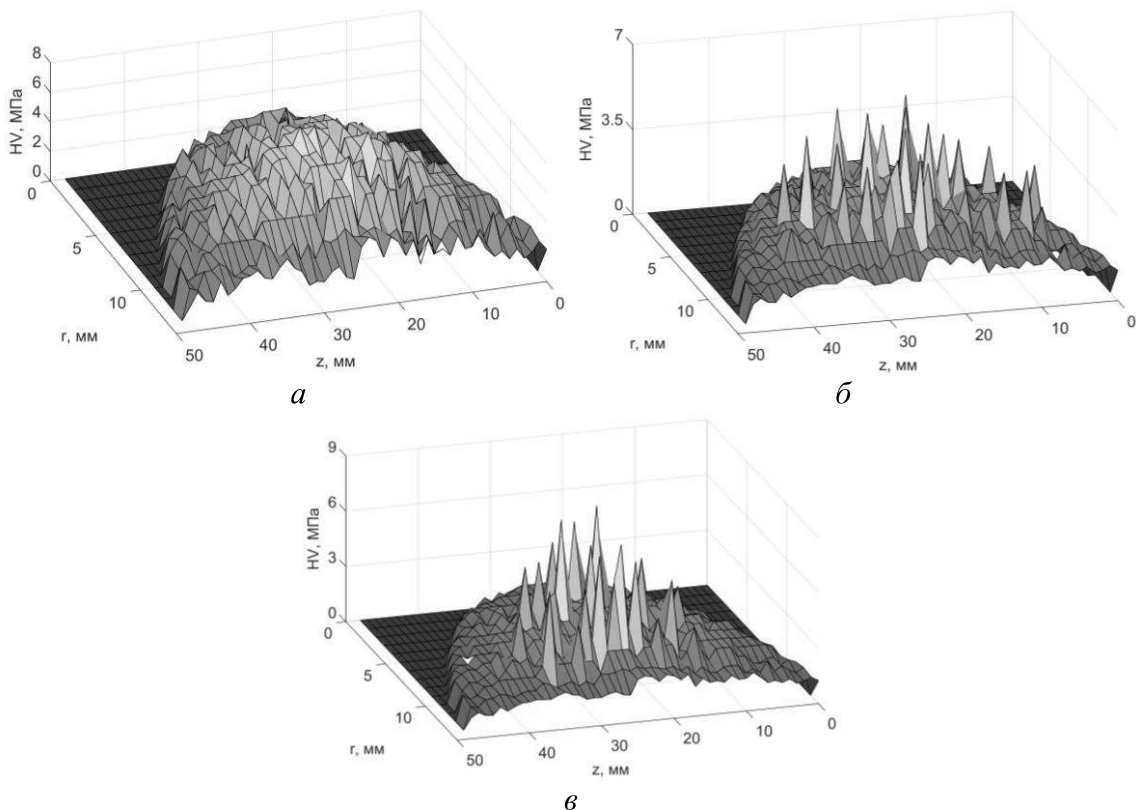


Рис. 7. 3D-зображення поля мікротвердості в площині осьового переріза заготовки в формі кулі з циліндричним отвором з пластичних керамічних мас: а – на основі SiC; б – на основі AlN; в – на основі WC

Перерахунок параметрів відбитків при заданому зусиллі дозволило нам сформувати матрицю та побудувати 3D мапу розподілу твердості по поверхні зрізу (рис. 7). Чутливість методу дослідження до неоднорідності матеріалу на мікрорівні дозволяє з великою точністю визначати ущільнення матеріалу вздовж поверхні зрізу. Як видно, максимальні значення мікротвердості мають місце в зоні найповільнішого застигання, що відповідає максимальному ущільненню пластичного керамічного матеріалу заготовки в прес-формі.

Найбільш однорідними є зразки з ПКМ на основі карбїду кремнію, а найменш однорідними – зразки на основі карбїду вольфраму, що пов'язано із великим відсотковим вмістом за об'ємом зв'язуючого; таким чином, мінімальна твердість буде близькою до твердості чистого парафіну, а максимальна буде залежати від розміру агломератів. Твердість майже 9 МПа показує, що процес попередньої грануляції з використанням бджолиного воску хоч і сприяє, але не дозволяє повністю уникнути формування агломератів. Середнє значення мікротвердості по перерізу наведено в таблиці.

Середнє значення мікротвердості по перерізу для пластичних керамічних мас на основі SiC, AlN, WC

Розміри виробу D/d , мм	SiC	AlN	WC
55/28	2,3	2,1	1,9

Висновки

Метод інжекційного формування – це сучасна, інноваційна та досить молода технологія в галузі порошкової металургії. Незважаючи на те, що метод досить розвинений і має в своєму арсеналі інженерно-розрахунковий апарат, комп'ютерне моделювання, промислові випробування та ряд експериментальних методик, є ще досить велика кількість невисвітлених аспектів, здатних його покращити на різних етапах виробництва. Так, наприклад, в комп'ютерних моделях не враховується гранулометричний склад порошків, оскільки це суттєво ускладнює математичний апарат. На проміжних етапах від замішування пластичних мас, інжектування, і до процесу відгонки зв'язуючого фактично відсутні експериментальні методи оцінки якості напівфабрикатів, відомості про яку отримують виключно за допомогою комп'ютерних моделей, що покладено в основу проектування прес-форм та оптимізації параметрів процесу інжекційного формування. Доповнення результатів комп'ютерного моделювання новими експериментальними даними дає можливість вдосконалення моделі за рахунок доповнення новими частинами математичного апарату. Представлений у статті комплексний підхід до вивчення матеріалу напівфабрикату, отриманого методом інжекційного формування, дає можливість у подальшому використовувати отримані результати в проектуванні найбільш ефективних прес-форм та підборі оптимальних параметрів процесу інжекційного формування.

**T. O. Psiarnetska¹, M. O. Tsysar¹, A. M. Babak², O. O. Lyeshchuk¹, T. O. Kosenchuk¹,
V. V. Ivzhenko¹, V. I. Shchydlovskiy¹**

¹*Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine*

²*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**RESEARCHING MICROINDENTATION OF SiC, WC, AlN CERAMIC PARTICLES
COMPACTION IN SEMI-FINISHED PRODUCTS IN THE SHAPE OF A SPHERE WITH A HOLE
OBTAINED BY INJECTION MOLDING**

Computer modeling has become an integral part of the work of a design engineer, significantly accelerating and reducing the cost of the transition from design to production by reducing the number of industrial tests.

The purpose of the research: supplementing the simulation results with information about the final compaction of the material in the slowest cooling zone due to additional pressing.

Research methods: information and analytical research, computer modeling, mechanical tests.

Research results: a three-dimensional microhardness map was constructed for the cross-section of the test sample, which confirmed the fact of compaction of ceramic particles and the formation of large agglomerates in the central zone of the slowest cooling.

Practical significance: the obtained information will allow to optimize the process of preparation of plastic ceramic masses and formation of semi-finished products at the stage of casting into a press mold.

Key words: *injection molding, computer modeling, indentation, microhardness, silicon carbide, tungsten carbide, aluminum nitride.*

Література

1. Lashway K. W., Storm R. S. Progress in ceramic component fabrication technology // AIAA Pap. – 1982. – Vol. 211. – P. 5.
2. ISO 8402-94. Управління якістю і забезпечення якості. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 1994. – 39 с.
3. ДСТУ ISO 9002-95. Системи якості модель забезпечення якості в процесі виробництва, монтажу та обслуговування. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 1996. – 49 с.
4. Третьяков Ю. Д. Керамика – материал будущего. – М.: Знание, 1987. – 48 с.
5. Heany D.F., Greene C. G. Effect of moulding parameters on final sintered component dimensions // Euro PM2004, Vienna, Austria, 17–21 October 2004. – Vol. 4. – P. 433–438.
6. Cerman R. M., Bose A. Injection Molding of Metals and Ceramics. – Princeton, PA, 1997. – 413 p.
7. Инжекционное формование порошков металлических и керамических материалов // Нихон киндзоку гаккай кайхо. Bull. Jap. Inst. Metals. – 1987. – Vol. 26, N 3. – С. 473–480.
8. Исследование керамики // Mol. Research Dev. Report. – 1986. – № 2. – С. 41–57.
9. Цисар Т. О., Лещук О. О. Комп'ютерне моделювання інжекційного лиття керамічних виробів різного функціонального призначення // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер.: Машинобудування. – 2012. – № 66. – С. 151–157.
10. Хохлова Ю. А., Ищенко Д. А., Хохлов М. А. Индентирование от макро- до нанометрового уровня и примеры исследования свойств материалов с особой структурой // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2017. – № 1. – С. 30–36.
11. ДСТУ ISO 6507-1:2007. Матеріали металеві. Визначення твердості за Віккерсом. Метод випробування. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 21 с.

12. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований із спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні вимоги. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 25 с.
13. ДСТУ 8429:2015. Прокат із ресорно-пружинної вуглецевої та легованої сталі. Технічні умови. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.
14. ГОСТ 10054-82. Шкурка шліфувальна паперова водостійка. Технічні умови. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 1983. – 34 с.
15. ГОСТ 20566-75. Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 1976. – 63 с.
16. Григорьев В.К. Твердость и микротвердость металлов. – М.: Наука, 1976. – 230 с.

Надійшла 10.08.22

References

1. Lashway, K. W., & Storm R. S. (1982). Progress in ceramic component fabrication technology. *AIAA Rar.*, 211, 5.
2. Upravlinnia yakistiu i zabezpechennia yakosti [Quality management and quality assurance]. (1994). *ISO 8402-94*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Ukrainian].
3. Systemy yakosti model zabezpechennia yakosti v protsesi vyrobnytstva, montazhu ta obsluhovuvannia [Quality systems are a model of quality assurance in the process of production, installation and maintenance]. (1996). . *DSTU ISO 9002-95*. – Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Ukrainian].
4. Tretyakov, Yu.D. (1987). *Keramika material budushchogo [Ceramics material of the future]*. Moscow: Znanie [in Russian].
5. Heany, D.F., & Greene C. G. (2004). Effect of moulding parameters on final sintered component dimensions. *Euro PM2004, Vienna, Austria*, 4, 433–438.
6. Cerman, R. M., & Bose A. (1997). *Injection molding of metals and ceramics*. – Princeton, PA.
7. (1987). Inzheksionnoe formovanie poroshkov metallicheskih i keramicheskikh materialov [Injection molding of powders of metal and ceramic materials]. *Nikhon kindzoku gakkay kaykho. Bull. Jap. Inst. Metals*, 26, 3, 473–480 [in Russian].
8. (1986). Issledovanie keramiki [Study of ceramics]. *Mol. Research Dev. Report*, 2, 41–57.
9. Tysyar, T. O., & Lyeshchuk, O. O. (2012). Kompyuterne modelyuvannia inzheksiinoho lyttia keramichnykh vyrobiv riznoho funktsionalnoho pryznachennia [Computer modeling of injection molding of ceramic products of various functional purposes] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser.: *Mashynobuduvannya – Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. Ser.: *Mechanical engineering*, 66, 151–157 [in Ukrainian].
10. Khokhlova, Yu. A., Ishchenko, D. A., & Khokhlov, M. A. (2017). Indentirovanie ot makro- do nanometrovoho urovnia i primery issledovaniia svoistv materialov s osoboi strukturoi [Indentation from macro- to nanometer level and examples of studying the properties of materials with a special structure] *Tekhnicheskaiia diahnostika i nerazrushayushchii kontrol – Technical diagnostics and non-destructive testing*, 1, 30–36. [in Russian].
11. Materialy metalevi. Vyznachennia tverdosti za Vikkersom. Metod vyprobuvannia [Metal materials. Degree of hardness for Vickers. Sample method]. (2008). *DSTU ISO 6507-1:2007*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Ukrainian].
12. Prokat sortovyi, kalibrovanyi iz spetsialnym obroblyenniam poverkhni z vuhletsevoi yakisnoi konstruktsiinoi stali. Zahalni tekhnichni vymohy [High-quality rolled products,

- sizing from special surface treatment from carbonaceous yak construction steel. Global technical support]. (2016). *DSTU 7809:2015*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Russian].
13. Prokat iz resorno-pruzhynnoi vuhletsevoi ta lehovanoi stali. Tekhnichni umovy [Rolled from spring-spring carbon and alloy steel. Specifications]. (2016). *DSTU 8429:2015*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Ukrainian].
 14. Shkurka shlifovalna paperova vodostiika. Tekhnichni umovy [The sanding paper skin is waterproof. Specifications]. (1983). *HOST 10054-82*. Kyiv: DP «UkrNDNTS» [in Ukrainian].
 15. Tkani i shtuchnye izdeliia tekstilnye. Pravila priemki i metod otbora prob [Textile fabrics and piece goods. Acceptance rules and sampling method]. (1976). *HOST 20566-75*. Kiev: DP «UkrNDNTS» [in Russian].
 16. Grigorev, V. K. (1976). *Tverdost i mikrotverdost metallov [Hardness and microhardness of metals]*. Moscow: Nauka [in Russian].

УДК 539.216:621.762

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-311-321

В.В. Івженко, канд. техн. наук, **В.М. Ткач**, д-р фіз.-мат. наук, **Т.О. Косенчук**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Київ, E-mail: ivv@ism.kiev.ua

ВПЛИВ СКЛАДУ ТА ТИСКУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СІАЛОНУ

Досліджені кінетика спікання під тиском 10 і 25 МПа β -сіалонів зі складом $Z=1,0; 2,0$, отриманих з порошків нітриду кремнію з 5% α -фази, 95% β -фази і 79% α -фази, 21% β -фази. Встановлено, що в матеріалах з використанням порошку Si_3N_4 з високим вмістом α -фази при тиску 10 МПа ущільнення проходить до відносної щільності 0,96 – 0,98, а кількість рідкої фази на швидкість ущільнення практично не впливає. Досліджені пористість, тріщиностійкість, твердість і зносостійкість β -сіалонів зі складом $Z=1,0; 2,0$, отриманих з порошків нітриду кремнію при тиску 25 і 10 МПа. Встановлено, що при використанні порошку нітриду кремнію з високим вмістом α -фази пористість матеріалів на 30-50% менша, ніж при використанні порошку з низьким вмістом. Це зменшення не залежить від тиску при спіканні, а тріщиностійкість, твердість, зносостійкість матеріалів збільшуються на 10-30%. Досліджені залежності тріщиностійкості, твердості і зносостійкості β -сіалонів від їх складу в інтервалі з $Z=1-3$, а також часу витримки при спіканні під тиском 10 МПа. Розроблено процес отримання виробів з сіалону методом гарячого пресування при тиску 10 МПа, який забезпечує зносостійкість матеріалу на рівні зносостійкості сіалону, спеченого при тиску 25 МПа.

Ключові слова: нітрид кремнію, нітрид алюмінію, сіалон, спікання під тиском, ущільнення, структура, тріщиностійкість, твердість, зносостійкість.

Нітрид кремнію має значний потенціал для виготовлення високотемпературних, зносостійких та корозійностійких матеріалів внаслідок високої твердості, міцності, високого опору повзучості та значної стійкості до окислення [1].

Технологія спікання під тиском (гарячого пресування) широко використовується в порошковій металургії тугоплавких сполук для отримання матеріалів з мінімальною