

**В.П. ШВЕЦЬ**, канд. техн. наук, доц., НУХТ, Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ СТРУКТУРИ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті проведено оцінку однорідності структури керамічних матеріалів шляхом оцінки стану їх структури за параметрами розсіяння характеристик глибини проникнення індентора.

**Ключові слова:** однорідність, коефіцієнт гомогенності, розсіяння властивостей, гомогенність структури, індентор.

**Вступ.** Останнім часом все більшого застосування в різних галузях господарства знаходять вироби із керамічних матеріалів, оскільки сировина з якої вони виготовляються займає перше місце серед всіх мінералів. Вироби з кераміки використовуються в широкому діапазоні температур при значних механічних навантаженнях.

Структура і властивості керамічних матеріалів визначається їх хімічним складом, вмістом легуючих елементів і домішок, а також режимами термічної обробки, в результаті якої на окремих об'ємах виробів можуть виникати неоднакові структури. Найважливіший принцип керамічного матеріалознавства це застосування технологічних процесів, які забезпечують необхідну ступінь однорідності структури матеріалу готової продукції. При виробництві високоякісної кераміки з високою однорідністю структури використовують порошки вихідних матеріалів з розміром частинок до 1 мкм. Технологія виготовлення виробів із кераміки передбачає такі основні етапи: отримання вихідних порошків, консолідацію порошків, їх обробку і контроль виробів. Обробка кераміки і контроль якості є основними складовими в балансі вартості керамічних виробів. За деякими даними, вартість вихідних матеріалів і консолідації складає всього лише 11 % (для металів 43 %), в той час як на обробку припадає 38 % (для металів 43 %), а на контроль 51 % (для металів 14 %).

**Методика.** Для контролю якості керамічних деталей найчастіше використовують оптичні методи, рентгенівську та ультразвукову дефектоскопію, метод акустичної емісії та ін. [1 – 3 та ін.]. Однак застосування цих методів пов'язане з використанням порівняно дорогого лабораторного обладнання.

Методи індентування (вдавлювання) є найбільш простими швидкими, чутливими та універсальними методами дослідження механічних властивос-

тей різноманітних матеріалів, які не потребують виготовлення спеціальних зразків та еталонів [4]. Провести контроль однорідності можна за допомогою методу LM-твердості [5], згідно з яким в якості інформаційних ознак стану металу приймаються не абсолютні значення будь якої механічної характеристики, а параметри розсіювання її значень при масових вимірах [6, 7].

Експериментальні результати, котрі обговорюються нижче, отримані при вивченні однорідності структури керамічних матеріалів методом LM-твердості. Вимірювання  $h$  (глибини) проникнення індентора в матеріал (аналог твердості) проводили портативним твердоміром виробництва фірми ERNST (Швейцарія). Навантаження на алмазний індентор, виконаний у вигляді конуса з кутом при вершині  $100^\circ$ , становило 49 Н. Оскільки величина  $h$  слабо корелює з гомогенністю структури, методика проведення експериментів базувалась на масових вимірах глибини проникнення індентора в матеріал, степінь розсіювання якої суттєво залежить від однорідності структури: чим більше неоднорідність структури, тим більше розсіювання вимірюваних характеристик. Якщо прийняти до уваги статистичний характер вимірюваних величин, то про степінь їх розсіювання можна судити по характеру параметрів закону розподілу, котрий описує це розсіювання, зокрема, розподілом Вейбулла. Параметр Вейбулла  $m_h$ , котрий характеризує степінь розсіювання значень глибини проникнення індентора в матеріал визначали за формулою Гумбелля:

$$m_h = \frac{d(n)}{2,30259} \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lg h_i - \overline{\lg h}) \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $d(n)$  визначають виходячи з кількості  $n$  вимірів,  $h_i$  – значення глибини проникнення індентора по  $i$ -му виміру,  $\overline{\lg h}$  – середнє значення логарифма глибини проникнення індентора за результатами  $n$  вимірів.

Враховуючи специфіку задачі, особливу увагу в дослідженнях приділяли забезпеченню повторюваності умов та режиму випробувань з метою зведення до мінімуму впливу на результати вимірювань суб'єктивних і інструментальних помилок.

**Експериментальні результати.** Оцінку степені однорідності проводили на шести керамічних матеріалах: оксиді скандію ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ), карбіді бору ( $\text{B}_4\text{C}$ ), оксиді алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), нітриді кремнію ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), діоксиді цирконію (MEL-MS) та діоксиді цирконію стабілізованого ітрієм (Y-TZP). Метою да-

ного дослідження було встановлення серед перелічених зразків найбільш однорідного матеріалу.

За результатами 30 вимірів значень глибини проникнення індентора  $h$  розраховували коефіцієнти гомогенності  $m_h$  для всіх матеріалів. Результати вимірів показали, що для кожного матеріалу  $h$  не перевищує 0,5 %, в той час як  $m_h$  для різних зразків сягає 6 %, а різниця по матеріалам складає 35 %.

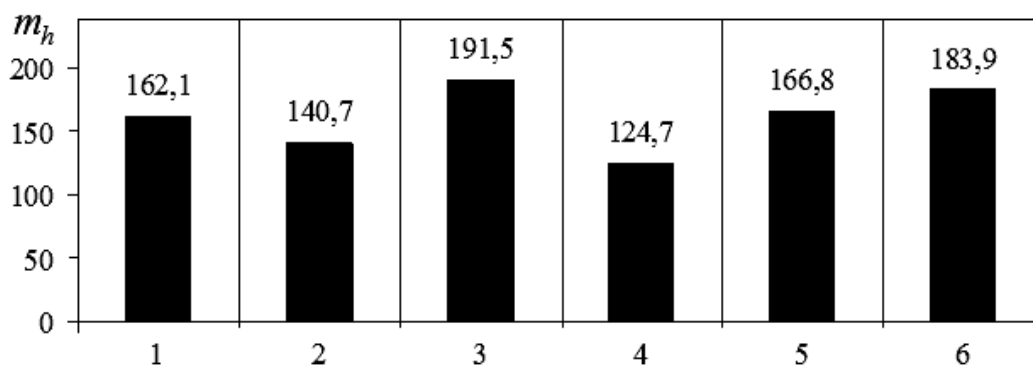


Рис. 1 – Однорідність керамічних матеріалів в оцінці коефіцієнтом гомогенності  $m_h$ : 1 –  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ , 2 –  $\text{B}_4\text{C}$ , 3 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4 –  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 5 – MEL–MS, 6 – Y–TZP.

На рис. 1. приведено значення коефіцієнтів гомогенності  $m_h$  для різних матеріалів. Із наведених даних видно, що для даних зразків матеріалів найменша однорідність характерна для нітриду кремнію  $m_h = 124,7$ , а найвища для оксиду алюмінію  $m_h = 191,5$ . Оскільки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  має найвищу однорідність структури, то цьому матеріалу було приділено більшу увагу.

Пластину з оксиду алюмінію розмірами 250 мм × 150 мм × 10 мм досліджено на 15 різних ділянках по поверхні зразка (рис. 2).

Результати досліджень показали, що степінь однорідності в оцінці параметром  $m_h$  змінюється в межах 4 %, як в повздовжньому, так і в поперечному напрямках пластини.

В даному випадку оксид алюмінію має достатньо велику однорідність по всій площині дослідженого зразка.

По проведеному дослідженню не можна, звичайно, робити остаточні висновки, однак для досліджуваних матеріалів метод має широкі можливості, його простота, практичність свідчить про подальше вдосконалення як у відношенні розвитку алгоритмів статистичної обробки результатів вимірів, так і в створенні нових ефективних засобів технічного забезпечення, а також у розширенні області технічного використання як простого неруйнівного способу оцінки якості керамічних матеріалів.

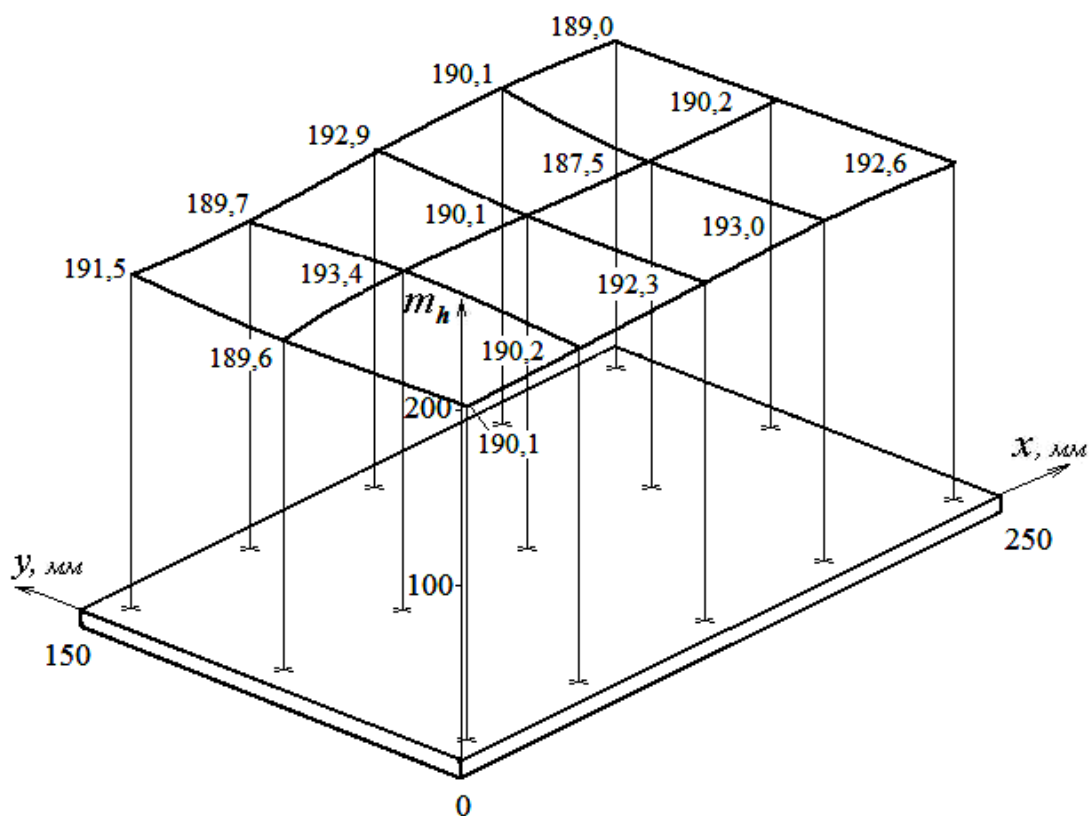


Рис. 2. – Розподіл коефіцієнтів гомогенності  $m_h$  по поверхні пластини виготовленої з оксиду алюмінію.

### Заключення.

Оцінено однорідність різних керамічних матеріалів.

Встановлено, що найбільшу гомогенність мають зразки виготовлені з оксиду алюмінію.

Подальші дослідження показали, що неоднорідність пластини з  $Al_2O_3$  в оцінці коефіцієнтом гомогенності  $m_h$  розрахованого по глибини проникнення індентора в матеріал, отриманих в однакових умовах, не перевищує 4 %.

Таким чином, метод ЛМ-твердості дозволяє проводити контроль однорідності керамічних виробів, шляхом оцінки ступені однородності структури матеріалу, котра визначається за параметрами розсіяння характеристик глибини проникнення індентора при масових вимірах.

**Список літератури:** 1. Гогоци Г.А. Эффективность метода акустической эмиссии для оценки прочностных свойств керамики и огнеупоров / Г.А. Гогоци, А.Н. Неговский // Огнеупоры. – 1983. – № 6. – С. 13 – 18. 2. Алимова И.А. Методы выявления дефектов керамики на основе полиалюминатов натрия / [И.А. Алимова, Л.А. Люцарева, Е.Д. Пивник и др.] // Стекло и керамика. – 1987. – № 5, – С. 22 – 23. 3. Milman Yu.V. New Methods of Micromechanical Testing of Materials by Local Loading with Rigid Indenter / Yu.V. Milman // Advanced Matertrials Science: 21st Century. – Cambridge International Science Publishing, 1998. – P. 638 – 659. 4. Левашов Е.А. Обеспечение единства изме-

рений физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей [Электронный ресурс] / *Левашов Е.А.* // Мир гальванотехники. Российское издание по мировой гальванотехнике. – С. 1 – 9. – Режим доступа: [www.GalvanicWorld.com](http://www.GalvanicWorld.com). 5. Пат. 52107 А Україна, МКИ 7 G 01 N 3/00, G01 N 3/40. Спосіб оцінки деградації матеріалу внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напрацювання, «LM-метод твердості» / *Лебедев А.О., Музыка М.Р., Волчек Н.Л.*; заявник і патентовласник Інститут Проблем Міцності Національної академії наук України. – № 20002021434; заявл. 20.02.02; опубл. 16.12.02, Бюл. № 12. 6. *Лебедев А.А.* Оценка поврежденности материала по рассеянию характеристик упругости и статической прочности / [А.А. Лебедев, И.В. Маковецкий, Н.Р. Музыка и др.] // Проблемы прочности. – 2006. – № 2. – С. 5 – 14. 7. *Швец В.П.* Контроль поточного стану металу стрілкового переводу в процесі напрацювання / [В.П. Швец, М.Р. Музыка, І.В. Маковецький і др.] // Проблемы прочности – 2011. – № 1. – С. 104 – 108.

**Referens:** 1. *Gogoci G.A.* Jeffektivnost' metoda akusticheskoy jemissii dlja ocenki prochnostnyh svojstv keramiki i ogneuporov / *G.A. Gogoci, A.N. Negovskij* // Ogneupory. – 1983. – № 6. – S.13 – 18. 2. *Alimova I.A.* Metody vyjavlenija: defektov keramiki na osnove polialjuminatov natrija / [I.A. Alimova, L.A. Ljucareva, E.D. Pivnik i dr.] // Steklo i keramika. – 1987. – № 5, – S. 22 – 23. 3. *Milman Yu.V.* New Methods of Micromechanical Testing of Materials by Local Loading with Rigid Indenter / *Yu.V. Milman* // Advanced Materrials Science: 21st Century. – Cambridge International Science Publishing, 1998. – P. 638 – 659. 4. *Levashov E.A.* Obespechenie edinstva izmerenij fiziko-mehaničeskikh i tribologičeskikh svojstv nanostrukturirovannyh poverhnoŝej [Jelektronnyj resurs] / *Levashov E.A.* // Mir gal'vanotehniki. Rossijskoe izdanie po mirovoj gal'vanotehnike. – S. 1 – 9. – Rezhim dostupu: [www.GalvanicWorld.com](http://www.GalvanicWorld.com). 5. Пат. 52107 А Украйна, МКУ 7 G 01 N 3/00, G01 N 3/40. Sposib otsinky dehradatsiyi materialu vnaslidok nakopyčennya poškodzhen' v protsesi napratsyuvannya, «LM-metod tverdosti» / *Lebedev A.O., Muzyka M.R., Volchek N.L.*; zayavnyk i patentovlasnyk Istitut Problem Mitsnosti Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny. – № 20002021434; zayavl. 20.02.02; opubl. 16.12.02, Byul. № 12. 6. *Lebedev A.A.* Assessment of damage level in materials by the scatter of elastic characteristics and static strength / [A.A. Lebedev, I.V. Makovetskii, N.R. Muzyka et al.] // Strength of Materials. – 2006. – Vol. 38, No. 2. – P. 109 – 116. 7. *Shvets V.P.* In-service monitoring of the current state of railroad pointwork metal / [V.P. Shvets, N.R. Muzyka, I.V. Makovetskii et all.] // Strength of Materials. – 2011. – Vol. 43, №. 1. – P. 73 – 77.

*Надійшла до редколегії (Received by the editorial board) 10.07.14.*

УДК 620.178.15/179; 539.4

**Дослідження однорідності структури керамічних матеріалів / В.П. ШВЕЦЬ** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 155 – 160. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

В статті проведена оцінка однородності структури керамічних матеріалів шляхом оцінки стану їх структури за параметрами розсіяння характеристик глибини проникнення індентора.

**Ключевые слова:** однородність, коефіцієнт гомогенності, розсіяння властивостей, гомогенність структури, індентор.

**Investigation of structural homogeneity of ceramic materials / V.P. SHVETS // Visnyk NTU «KhPI».** – 2014. – № XX (XXXX). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. XXX – XXX. – Bibliogr.: 7 names. – ISSN 2079-0821.

The paper presents the evaluation of structural homogeneity of ceramic materials from the assessment of their structural state by the parameters of scatter in characteristics of indenter penetration depth.

**Keywords:** homogeneity, homogeneity coefficient, scatter in properties, structural homogeneity, indenter.

УДК 622.73

*А.М. ШЕВЕЛЁВА*, асп., ИТМ НАНУ и ГКАУ, Днепропетровск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ И ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ, ИСТЕКАЮЩИХ В ПЛОСКИЙ КАНАЛ МОДЕЛИ ГАЗОСТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ**

В статье исследованы закономерности изменения скорости энергоносителя и твердых частиц, истекающих в плоский канал модели газоструйного измельчителя. Выявлены зависимости скорости рабочих тел от давления на входе в разгонную трубку измельчителя, плотности подаваемого твердого материала и площади сечения бункера подачи. Определены условия, при которых достигается равномерное распределение частиц по сечению канала.

**Ключевые слова:** двухфазный поток, скорость энергоносителя, частицы сыпучего материала, плоский канал, бункера подачи материала, разгонная трубка.

**Постановка задачи.** Особый интерес в технологии процесса измельчения представляют исследования течения газа с твердыми частицами в каналах измельчителя. Интенсивное развитие производственных процессов, необходимость модернизации оборудования, стремительные темпы развития научных и технических достижений обуславливают потребность исследования газодинамических характеристик двухфазных дисперсных потоков. Можно отметить большое количество обобщающих работ, касающихся изучения данной темы, некоторые из которых представлены в списке литературы [1 – 7]. Благодаря простоте конструкции, надежности, относительно низкой стоимости изготовления и высокой дисперсности готового продукта все большее распространение для тонкого и сверхтонкого измельчения приобретают газоструйные измельчители [4]. Вместе с тем газоструйные измельчители

© А.М. Шевелёва, 2014