

tration distribution: variance, correlation time, standard deviation. The mean square fit of the experimental and calculated model values of the variance components of the mixture does not exceed 15 %.

**Keywords:** vibration grinding, mixing, optimal parameters.

УДК 666.972.112: 97.056

**В.В. ПІСЧАНСЬКА**, канд. техн. наук., доц., НМетАУ, Дніпропетровськ  
**І.А. АЛЕКСЕЄНКО**, ас., НМетАУ, Дніпропетровськ

## **ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ МАТРИЧНОГО КОМПОНЕНТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ПЕРИКЛАЗОВОГО БЕТОНУ**

Проведено експериментальні дослідження щодо вивчення впливу тривалості механічної активації спеченого периклазу і суміші, що містить периклаз і кальцій-алюмінатний цемент, на характеристики процесу механічної обробки. Досліджено вплив тривалості механічної активації матричних компонентів на показники властивостей периклазового бетону при твердінні і після термічної обробки в інтервалі температур 110 – 1650 °С. Встановлено, що механічна активація суміші периклазу і кальцій-алюмінатного цементу протягом 15 хвилин, забезпечує отримання бетону с комплексом заданих показників властивостей.

**Ключові слова:** периклазових бетон, спечений периклаз, кальцій-алюмінатний цемент, матричний компонент, механічна активація, показники властивостей.

**Вступ.** Вогнетривкі бетони на гідравлічних в'язучих містять тонкодисперсну складову – матричний компонент, характеристики якого суттєво впливають на комплекс взаємопов'язаних реотехнологічних, фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей бетонів [1].

До ефективних способів підвищення реакційної здатності вогнетривких та фазових перетворень [2, 3]. Основним завданням щодо використання позитивних ефектів механоактивації є встановлення взаємозв'язку між параметрами механічної обробки матеріалів та їх специфічними властивостями, якісними і експлуатаційними характеристиками композитів, що містять термо-

© В.В. Пісчанська, І.А. Алексеєнко, 2014

термодинамічно-активну складову [3].

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Розвиток теоретичних і практичних аспектів подрібнення і механоактивації в технології тугоплавких матеріалів пов'язано з дослідженнями процесів прискорення модифікаційних перетворень та спікання інертних матеріалів – глинозему та корунду [4 – 7], твердофазного синтезу матеріалів функціонального призначення: кордієриту [8], тетрафториду кремнію [9], алюмомагнезійальної шпінелі [10, 11] і т.п.

Підготовка матричних компонентів бетонних сумішей передбачає механічну обробку матеріалів і отримання часток з розміром менше 45 мкм. У разі використання у складі бетонних сумішей дисперсного периклазу внаслідок його високої гідралічної активності утворюється брусит, що призводить до утворення тріщин та механічного руйнування структури композиту, як в умовах твердіння та і при термічному нагріванні [11, 12]. Для блокування активних центрів на зернах периклазу до складу матричного компоненту вводять кальцинований глинозем та гідрати алюмінію, які при приготування бетонних мас сприяють утворенню на поверхні часток периклазу гідрокальциту  $Mg_6Al_3(OH)_{16} \cdot (CO_3 \cdot 4H_2O)$ , що запобігає дифузії води і уповільнює гідратацію периклазу [12, 13].

**Мета статті, постановка задачі.** Проведення досліджень щодо впливу тривалості подрібнення периклазу і композиції, що містить периклаз і кальцій-алюмінатний цемент, на змінення характеристик матеріалів та властивості бетону в умовах твердіння та після термічної обробки. Встановлення впливу механоактивації матричних компонентів бетонних сумішей на показники властивостей периклазового бетону та вибір технологічних параметрів приготування матричного компоненту, які забезпечують пасивацію зерен периклазового порошку та отримання бетону з низькою пористістю та високою механічною міцністю.

**Матеріали та методи досліджень.** Для проведення досліджень використовували спечений периклаз ( $MgO - 96,7 \%$ ,  $CaO - 1,4 \%$ ,  $SiO_2 - 0,9 \%$ ,  $Al_2O_3 - 0,4 \%$ ,  $Fe_2O_3 - 0,6 \%$ ) з вихідним розміром зерен менше 0,5 мм, брак периклазових виробів марки П-96, кальцій-алюмінатний цемент «Gorkal-70». В якості матричних компонентів бетонних сумішей використовували цемент «Gorkal-70» і механоактивований периклаз (матриця № 1), механоактивовану суміш цементу «Gorkal-70» і периклазу (матриця № 2). Периклаз, суміш цементу «Gorkal-70» (16,3 %) і периклазу (83,7 %) подрібнювали і активували у вібраційному млині протягом 5, 10, 15 і 20 хв. при співвідношенні маси матеріалу і помельних тіл 1 : 20. Визначення питомої щільності ( $\gamma$ ) периклазу та матриць проводили з використанням приладу Ле-Шательє, питомої площі поверхні – методом повітропроникності на приладі Т-3. Процес механічної обробки матеріалів оцінювали за показником швидкості змінення питомої площі поверхні від тривалості подрібнення за формулою [4]:

$$\Delta S = \frac{S_{\tau} - S_{\tau=0}}{\tau},$$

де  $\Delta S$  – швидкість змінення питомої площі поверхні,  $(\text{см}^2/\text{г})/\text{хв.}$ ;  $S_\tau$  – питома площа поверхні при певному часі подрібнення,  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  $S_{\tau=0}$  – вихідна питома площа поверхні при  $\tau = 0$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$ ;  $\tau$  – тривалість механічної обробки матеріалу, хв.

Бетонні суміші готували із 75 % зернистого заповнювача (подрібнений брак виробів фр. 6 – 2 мм – 39 %, периклаз фр. 2 – 0,088 мм – 36 %) і 25 % матричного компоненту (матриця №1: 20,8 % механічно оброблений периклаз і 4,2 % цемент «Gorkal-70», або матриця №2). Комплексну дефлокуючу добавку (триполіфосфат натрію і суперпластифікатор «Термопласт-5») вводили в суміші у кількості 0,34 – 0,32 % (понад 100 %) водним розчином.

Експериментальні зразки-куби з розміром ребра 50 мм формували у розбірні металеві форми методом вібраційного пресування з мас вологістю 6,5 – 6,8 %. Після витримки на повітрі при температурі 20 °С зразки термообробляли при 110 °С (витримка 24 год.) та випалювали в інтервалі температур 1100 – 1650 °С (витримка 5 год.). Визначення показників властивостей бетонних зразків: відкритої пористості і границі міцності при стиску проводили згідно до вимог стандартів України.

**Експериментальна частина.** Порівняльний аналіз визначення швидкості змінення питомої площі поверхні периклазу (рис. 1, а, крива 1) і матриці № 2 (рис. 1, а, крива 3) свідчить про зростання швидкості диспергування периклазу у присутності хімічно не однорідного кальцій-алюмінатного цементу. Тенденція змінення питомої площі поверхні матриці № 1 (рис. 1, а, крива 2) відповідає характеру кривій периклазового порошку (рис. 1, а, крива 1), а питома щільність матриці № 1 практично однакова зі значенням цього показнику для матриці № 2 (рис. 1, б, крива 2 і 3). Відмічено зниження питомої щільності периклазу і матриці № 2 (рис. 1, б, крива 1 і 3) при зростанні тривалості механічної обробки матеріалів понад 10 хв., що обумовлено аморфізацією поверхневого шару часток і відповідає стану механоактивованого матеріалу, який визначається дефектністю зерен. За результатами визначення змінення механічної міцності бетону на ранніх стадіях твердіння (рис. 2) встановлено більш високі значення границі міцності при стиску бетону, який містить матрицю № 2 (рис. 2, б), що свідчить про виявлення ефекту пасивації часток периклазу при механічній обробці та зниження його гідравлічної активності до утворення бруситу. Характер змінення міцності периклазового

бетону вказує на негативний вплив тривалості механічної обробки периклазу і матриці № 2 понад 15 хв. (рис. 2) на ущільнення мас в умовах віброформування, що певною мірою визначає міцність кристалічного зростку новоутворень кристалогідратів.

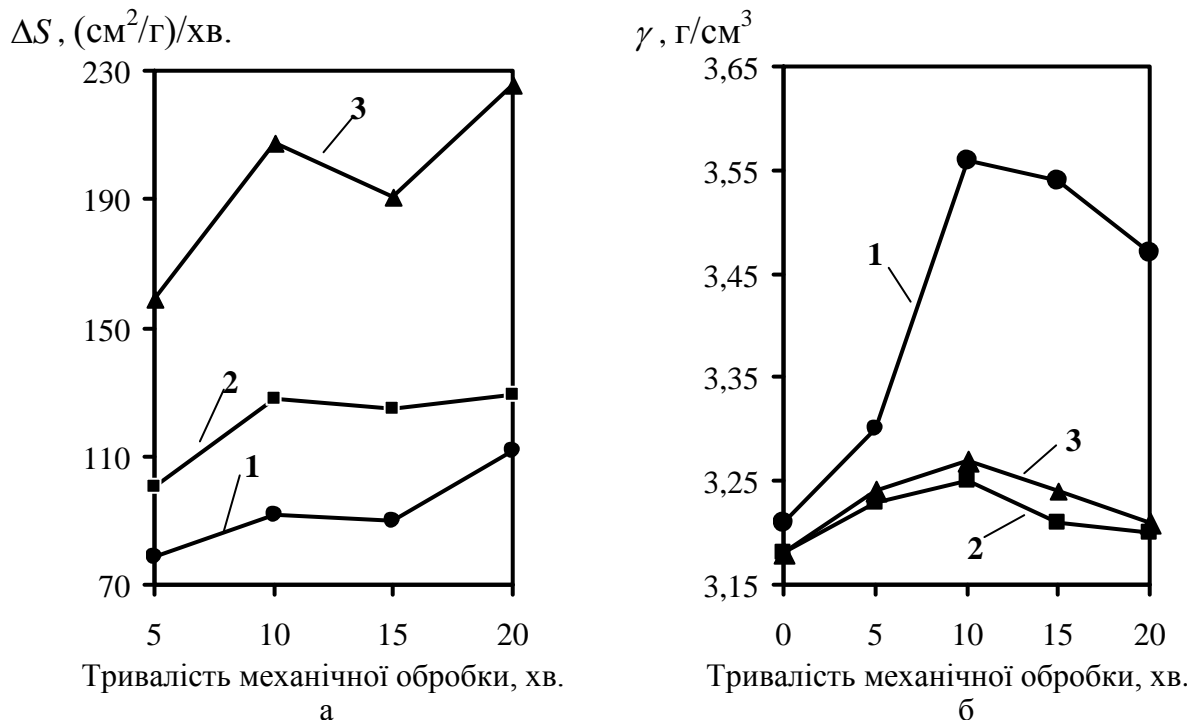


Рис. 1 – Характеристики процесу механічної обробки та щільність матеріалів: а – швидкість змінення питомої площі поверхні, б – питома щільність (1 – периклаз; 2 – матриця № 1; 3 – матриця № 2).

Для визначення показників властивостей термооброблених бетонних зразків, що містять матрицю № 1 і матрицю № 2 з тривалістю механоактивації периклазу і матриці № 2 – 15 хв., зразки після 5 діб твердіння піддавали нагріванню в інтервалі температур 110 – 1650 °С.

Як видно з отриманих даних (рис. 3), незалежно від температури термообробки пористість зразків бетону з матрицею № 2 на 1,71 – 3,65 % менша, а механічна міцність на 1,2 – 35,4  $\text{H}/\text{mm}^2$  вища, ніж зразків з матрицею № 1.

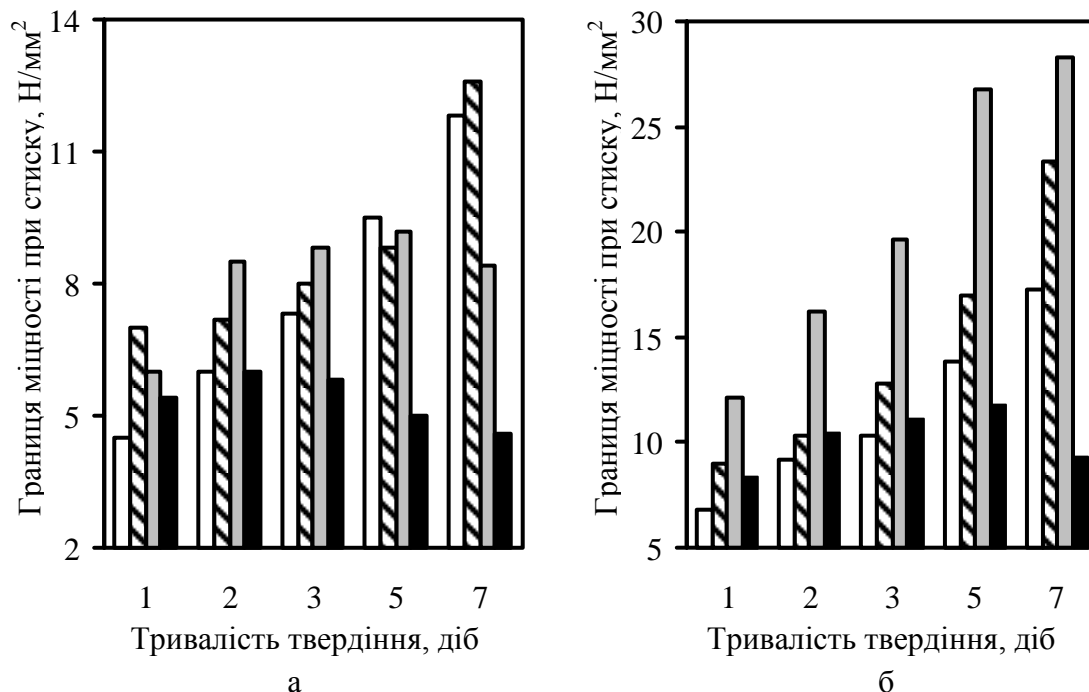


Рис. 2 – Механічна міцність периклазового бетону на ранніх стадіях твердіння: а – бетон з матрицею № 1, б – бетон з матрицею № 2. Тривалість подрібнення периклазу і матриці:  $\square$  – 5 хв.,  $\square$  (штрихуваний) – 10 хв.,  $\square$  (сірий) – 15 хв.,  $\blacksquare$  – 20 хв.

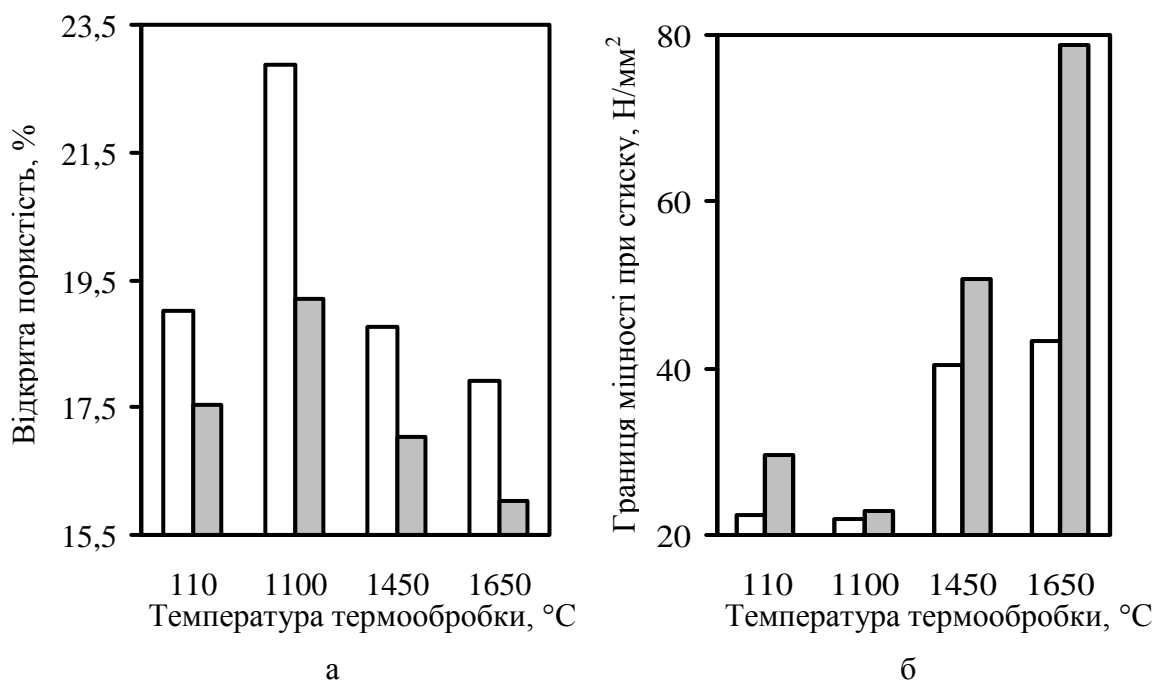


Рис. 3 – Показники властивостей периклазового бетону після термічної обробки: твердіння: а – відкрита пористість, б – границя міцності при стиску. ( $\square$  – бетон з матрицею № 1,  $\square$  (сірий) – бетон з матрицею № 2).

## Висновки.

На підставі проведених досліджень встановлено, що механічна обробка

матричного компоненту, який містить периклаз і кальцій-алюмінатний цемент, сприяє підвищенню ефективності подрібнення матеріалу, зменшенню схильності периклазу до гідратації за рахунок блокування активних центрів часток периклазу мінералами кальцій-алюмінатного цементу, що забезпечує зміцнення композиту в умовах твердіння і термічного нагрівання. Таким чином визначено, що механоактивація матричного компоненту тривалістю 15 хв. позитивно впливає на формування щільної та міцної структури бетону, який при високих температурах термообробки характеризується низькою пористістю та високою механічною міцністю.

**Список літератури:** 1. *Пивинский Ю.Е.* Неформованные огнеупоры: справоч. изд. / *Ю.Е. Пивинский.* – М.: Теплоэнергетик, 2005. – Т. 1: Общие вопросы технологи. – 2005. – 448 с. 2. *Болдырев В.В.* Механохимия и механическая активация твердых веществ / *В.В. Болдырев* // *Успехи химии.* – 2006. – № 75. – С. 203 – 216. 3. *Хееги Х.* Изменение свойств твердых тел при механической активации и тонком измельчении / *Х. Хееги* // *Известия Сибирского отделения академии наук СССР.* – 1988. – № 2, Вып. 1. – (Серия: Химические науки). – С. 3 – 9. 4. *Прокофьев В.Ю.* Процессы измельчения и механохимической активации в технологии оксидной керамики (обзор) / *В.Ю. Прокофьев, Н.Е. Гордина* // *Стекло и керамика.* – 2012. – № 2. – С. 29 – 34. 5. *Косенко Н.Ф.* Фазовые превращения оксида алюминия при механической обработке истирающего типа / *Н.Ф. Косенко, М.А. Смирнова* // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2011. – № 3. – С. 10 – 13. 6. *Филатова Н.В.* Кинетика спекания активированного корунда на алюмоборфосфатном связующем / *Н.В. Филатова, Н.Ф. Косенко, А.Ю. Грехнев* // *Химия и химическая технология.* – 2006. – Т. 49, Вып. 4. – С. 56 – 58. 7. *Косенко Н.Ф.* Кинетика активированного изотермического спекания корунда в присутствии алюминатных добавок / *Н.Ф. Косенко, Н.В. Филатова, А.А. Шуганов* // *Неорганические материалы.* – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 193 – 196. 8. *Аввакумов Е.Г.* Влияние механической активации на синтез кордиерита из талька и минералов группы силлиманита / [*Е.Г. Аввакумов, Г.Г. Лепезин, Д.В. Горбачов и др.*] // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2013. – № 1-2. – С. 57 – 61. 9. *Магомедбеков Э.П.* Влияние механо-активации на процесс твердофазного взаимодействия  $UF_4$  с кварцем / [*Э.П. Магомедбеков, С.В. Чижевская, О.М. Клименко и др.*] // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2011. – № 11-12. – С. 18 – 22. 10. *Косенко Н.Ф.* Синтез магнезиальноалюминатной шпинели из оксидов с различной предисторией / *Н.Ф. Косенко, М.А. Смирнова* // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2011. – № 9. – С. 3 – 11. 11. *Хорошавин Л.Б.* Магнезиальные огнеупоры: справ. изд. / *Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Кононов.* – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 576 с. 12. *Salomao R.* A novel approach for magnesia hydration asseement in refractori castable / *R. Salomao, L.R.M. Bittencourt, V.C. Pandolfelli* // *Ceramics International.* – 2007. – № 33. – P. 803 – 810. 13. *Саломео Р.* Влияние гидравлических вяжущих на гидратацию спеченного магнезита в огнеупорных бетонах / *Р. Саломео, В.К. Пандолфелли, Л.Р. Биттенкурт* // *Огнеупоры и техническая керамика.* – 2011. – № 4-5. – С. 59 – 63.

**Referens:** 1. *Pivinskij Ju.E.* Neformovannye огнеупоры: справоч. изд. / *Ju.E. Pivinskij.* – Moscow: Теплоэнергетик, 2005. – Т. 1: Obshhie voprosy tehnologii. – 2005. – 448 s. 2. *Boldyrev V.V.* Mechanochemistry and mechanical activation of solids / *V.V. Boldyrev* // *Russian Chemical Reviews.* – 2006. – № 75. – P. 203 – 216. 3. *Heegi H.* Izmenenie svojstv tverdyh tel pri mehanicheskoy aktivacii i tonkom izmel'chenii / *H. Heegi* // *Izvestija Sibirskogo otdelenija akademii nauk SSSR.* – 1988. – № 2, Vyp. 1. – (Seriya: Himicheskie nauk). – S. 3 – 9. 4. *Prokof'ev V.Yu.* Comminution and mechanochemical activation in oxide ceramics technology (review) / *V.Yu. Prokof'ev, N.E. Gordina* // *Glass and ceramics.* – 2012.

– Vol. 69, № 1-2. – P. 65. – 70. **5. Kosenko N.F.** Phase transformations of oxide of aluminium at tooling of wearing down type / *N.F. Kosenko, M.A. Smirnova* // *Refractories & technical ceramics*. – 2011. – № 3. – P. 10 – 13. **6. Filatova N.V.** Kinetika spekanija aktivirovannogo korunda na aljumborfosfatnom svjazujushhem / *N.V. Filatova, N.F. Kosenko, A.Ju. Grehnev* // *Himija i himicheskaja tehnologija*. – 2006. – Vol. 49, Iss. 4. – S. 4 – 10. **7. Kosenko N.F.** Kinetics of the activated isothermal sintering of corundum in presence aluminate additions / *N.F. Kosenko, N.V. Filatova, A.A. Shiganov* // *Inorganic Materials*. – 2007. – Vol. 43. – Iss. 2. – P. 193 – 196. **8. Avvakumov E.G.** Effect of mechanical activation on the synthesis of cordierite and talc group minerals sillimanite / [*E.G. Avvakumov, G.G. Lepezin, D.V. Gorbachov et all.*] // *Refractories & technical ceramics*. – 2013. – № 1-2. – P. 57 – 61. **9. Magomedbekov Je.P.** The influence of mechanical activation on the interaction process in the solid phase with UF<sub>4</sub> and quartz / [*Je.P. Magomedbekov, S.V. Chizhevskaja, O.M. Klimenko et all.*] // *Refractories & technical ceramics*. – 2011. – № 11-12. – P. 18 – 22. **10. Kosenko N.F.** Synthesis magnezialnoalyuminatnoy spinel from oxides with different prehistory / *N.F. Kosenko, M.A. Smirnova* // *Refractories & technical ceramics*. – 2011. – № 9. – P. 3 – 11. **11. Horoshavin L.B.** Magnezial'nye ognepory: sprav. izd. / *L.B. Horoshavin, V.A. Perepelicyan, V.A. Kononov*. – Moscow: Intermet Inzhiniring, 2001. – 576 s. **12. Salomao R.** A novel approach for magnesia hydration asseement in refractori castable / *R. Salomao, L.R.M. Bittencourt, V.C. Pandolfelli* // *Ceramics International*. – 2007. – № 33. – P. 803 – 810. **13. Salomao R.** Effect of hydration on hydraulic binders sintered magnesite refractory concrete / *R. Salomao, V.K. Pandolfelli, L.R. Bittenkurt* // *Refractories & technical ceramics*. – 2011. – № 4-5. – P. 59 – 63.

*Надійшла до редколегії (Received by the editorial board) 15.06.2014.*

УДК 666.972.112: 97.056

**Вплив механоактивації матричного компоненту на властивості периклазового бетону / V.V. ПИЩАНСЬКА, І.А. АЛЕКСЄЄНКО** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 85 – 92. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0821.

Проведены экспериментальные исследования по определению влияния длительности механической активации спеченного периклаза, смеси периклаза и кальций-алюминатного цемента на характеристики процесса механической обработки. Исследовано влияние длительности механической активации на показатели свойств периклазового бетона при твердении и в интервале температур термообработки 110 – 1650 °С. Установлено, что механическая активация смеси периклаза и кальций-алюминатного цемента в течение 15 минут обеспечивает получение бетона с комплексом заданных показателей свойств.

**Ключевые слова:** периклазовый бетон, спеченный периклаз, кальций-алюминатный цемент, матричный компонент, механическая активация, показатели свойств.

UDC 666.972.112: 97.056

**Effect of mechanical activation of matrix component on properties of periclase low-cement concrete / V.V. PESCHANSKA, I.A. ALEKSEENKO** // *Visnyk NTU «KhPI»*. – 2014. – № 52 (1094). – (Series: *Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya*). – P. 85 – 92. – Bibliogr.: 13 names. – ISSN 2079-0821.

Experimental studies to determine the influence of the duration of mechanical activation sintered periclase, periclase mixture and calcium aluminate cement on the characteristics of the mechanically process. The influence of the duration of mechanical activation on the performance properties of periclase

concrete, concrete hardening and heat treatment in the temperature range 110 – 1650 °C. It has been established that the mechanical activation of mixtures of periclase and calcium aluminate cement for 15 minutes provides a predetermined set of concrete performance properties.

**Keywords:** periclase concrete, sintered periclase, calcium aluminates cement, matrix component, mechanical activation, properties.

УДК 621.762

*В.Д. РУДЬ*, д-р техн. наук, проф., Луцький НТУ, Луцьк,

*Т. Н. ГАЛЬЧУК*, канд. техн. наук, доц., Луцький НТУ, Луцьк,

*Т. Є. БОЖКО*, канд. техн. наук, доц., Луцький НТУ, Луцьк

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЕННЯ**

Експериментально перевірено, що найоптимальнішим для металічного порошку є подрібнення у млині із зміщеною віссю обертання у разі накладання вібрації. В результаті пришвидшується процес подрібнення в 1,5 – 2 рази за рахунок стираючої та ударної сили розмельних тіл. Подрібнення проводили в лабораторному млині спеціальної конструкції. В якості досліджуваного матеріалу використані металеві порошки сталі ШХ15.

**Ключові слова:** металічний порошок, подрібнення, вібрація, млин, гранулометричний склад.

**Вступ.** З розвитком металообробної промисловості збільшується об'єм матеріалу, що переробляється, а відповідно, зростає потреба в процесах переробки та необхідного для цього обладнання. На практиці подрібнюють природні матеріали, сировину, в тому числі стружкові та шламові відходи виробництва [1].

Для переробки шламових відходів металообробних підприємств доцільним є використовувати процес подрібнення металевого порошку, отриманого з них [2]. Використання подрібнення значно скорочує відпал порошоків, який протікає скоріше при збільшенні поверхні частинок, що приймають в ньому участь. Характер початкової сировини та необхідний степінь подрібнення визначають число ступенів подрібнення і тип обладнання. Існують різноманітні типи і конструкції обладнання для подрібнення [3], кожен з яких має свою галузь застосування. Аналіз літератури показав, що найбільш використовуються барабанні млини, що обертаються і вібраційні млини [4].

© В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук, Т.Є. Божко, 2014