

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

Подрібнення металу в млинах в більшості випадків здійснюють ударом або статичним навантаженням, які супроводжуються також стиранням. Однак основним недоліком при цьому є широка варіація гранулометричного складу металевих порошків, що характеризує його фізичні властивості.

**Мета дослідження.** Експериментальне дослідження технологічних параметрів обкочування-подрібнення на гранулометричний склад металевих порошків.

**Результати дослідження.** В роботі проводилося дослідження закономірності формозміни порошкових матеріалів під час подрібнення в барабанному млині періодичної дії, суть якого полягає в тому, що обертальний рух робочого барабана з розмельними тілами поєднаний з його вібрацією. Дослідження проводили з використанням порошку, сталі ШХ15, який отриманий за технологічною схемою розробленою в Луцькому НТУ [5]. Для вивчення механізму руйнування і визначення закономірностей процесу подрібнення елементів металевих порошків запропонованим методом була розроблена експериментальна лабораторна установка періодичної дії (рис. 1).



Рис. 1 – Загальний вигляд експериментальної установки для вібраційного подрібнення металічних порошків

У запропонованому пристрої кінетична енергія передається тілам, що розмелюють, через корпус барабана з використанням сил тяжіння під час обертання та інерційних сил вібрації віброплощини, на яку встановлений барабан, що обертається.

Процес подрібнення зводиться до того, що під час спільної роботи приводів обертання і вібрації розмельних тіл здійснюється складний віброобертальний рух, тобто створюється псевдозріджений шар куль.

При цьому відбувається інтенсивне його перемішування разом з подрібнюваним матеріалом, останній рівномірно перерозподіляється між кулями і вірогідність руйнування частинок різко зростає.

При цьому усуваються застійні зони в апараті, що властиво вібраційному розмелу, при якому подрібнюваний матеріал осідає в нижню частину барабана і утрудняє віброколивальний рух нижніх куль, що подрібнюють, а верхні їх шари не здійснюють корисної роботи.

У запропонованому подрібнювачі реалізуються більшою чи меншою мірою практично всі способи руйнування, але основним є ударно-стираючий.

В якості розмельних тіл використовувались сталеві кулі  $\varnothing 23$  мм та  $\varnothing 32$  мм. Масове співвідношення порошку і кульок 1 : 0,75. Коефіцієнт заповнення барабана – 0,5. Частота обертання млина  $(0,75...0,8)n_{кр}$ .

Маса порошку сталі ШХ 15, отриманого із шліфошламу – 2,65 кг, а маса кульок – 1,99 кг. Частота обертання 90 об/хв., амплітуда вібрації 1,5 мм, частота вібрації –  $2840 \text{ хв}^{-1}$  [6].

На новій лабораторній установці проведені порівнювальні дослідження двох методів подрібнення–обкочування металічних порошоків: обертальний метод і віброобертальний з прямою та з похилою віссю обертання. Кожен дослід проводили 8 год з проміжним визначенням гранулометричного складу через кожні 2 год.

За критерій ступеня подрібнення взято гранулометричний склад порошку у фракціях по відношенню до їх загальної кількості, який проводили методом ситового аналізу, з використанням вібросита моделі 029 № 124-85, відповідно до ГОСТ 18318-94.

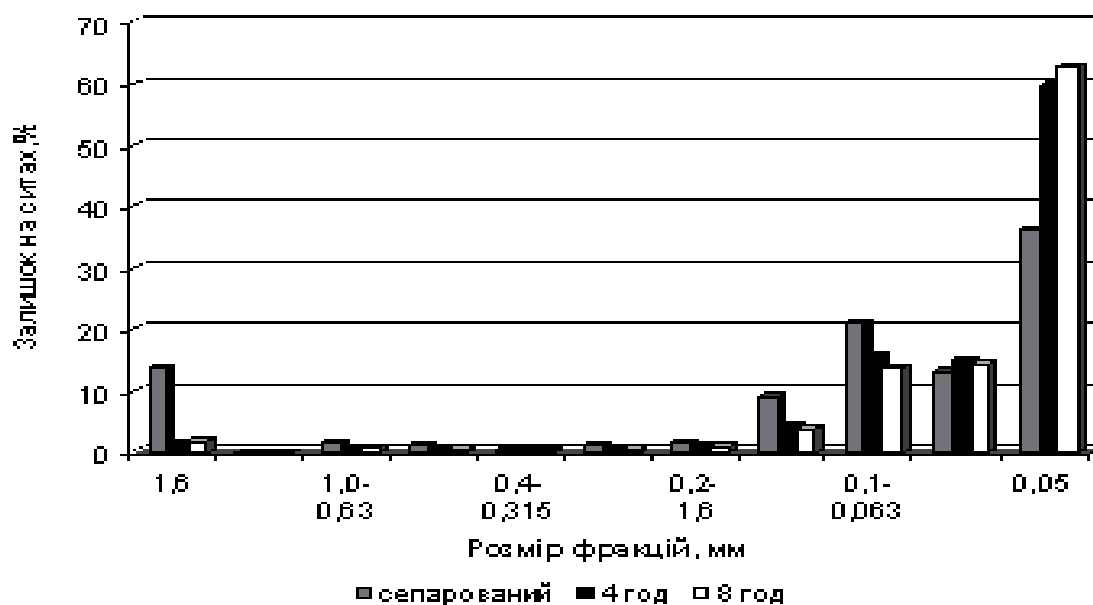
В процесі розмелу в млині з похилою віссю більша частина порошку, майже завжди під час просіювання через сита, залишалася на однакових номерах сит і маса залишку майже завжди була подібною. Основна маса порошку залишалась в межах трьох сусідніх за номером сит.

Як видно із діаграм, порошок рівномірно розміщений по фракціях і при різних параметрах обкатування–подрібнення результати подібні і близькі один до одного (рис. 2, а).

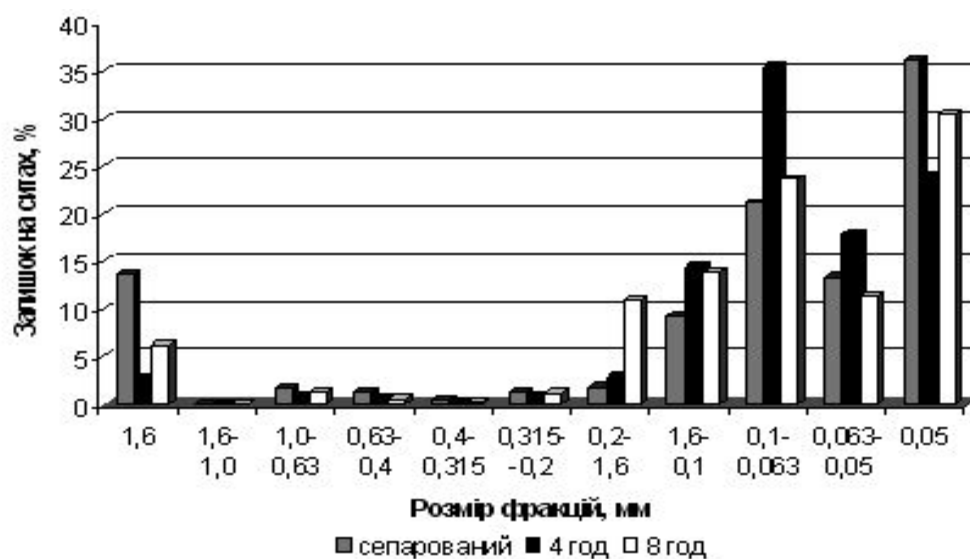
Під час дослідження подрібнення порошку у млині з горизонтальною віссю обертання результати були не передбачуваними, відбувалася різка зміна гранулометричного складу порошку сталі ШХ15, порошок розподілявся за фракціями нерівномірно (рис. 2, б).

В процесі вібраційного обкатування-подрібнення проходить пришвид-

шене інтенсивне перемішування порошку із розмелюючими тілами, порошок більш рівномірно перерозподіляється між кульками і ймовірність руйнування частинок порошку зростає, порошок більш рівномірно розподіляється по фракціях (рис. 3).



а



б

Рис. 2 – Гранулометричний склад порошку після обкатування-подрібнення без вібрацій: а – з похилою віссю обертання млина; б – з горизонтальною віссю обертання млина.

Таким чином обкатування-подрібнення з вібраціями має позитивний вплив на процес обкатування-подрібнення, результати стають більш передбачуваними і стабільнішими.

Отже, із всіх досліджених методів подрібнення порошку найоптималь-

нішим є подрібнення у барабані із зміщеною віссю обертання у разі накладання вібрації.

Зміщена вісь дозволяє зробити результат більш передбачуваним і рівномірним, а вібрація призводить до пришвидшення процесу розмелювання, тобто в результаті обкочування із вібрацією за 4 – 6 годин можна досягти результату восьмигодинного обкочування-подрібнення без накладання на процес вібрації.

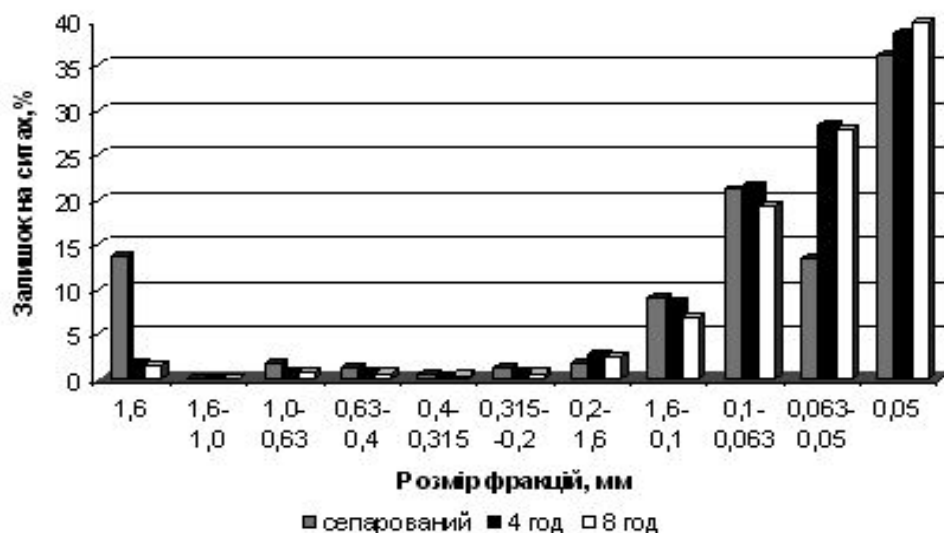


Рис. 3 – Гранулометричний склад порошку після обкочування-подрібнення з вібрацією з похилою віссю обертання млина

**Висновки.** Експериментально перевірено, що найоптимальнішим для металічного порошку сталі ШХ15 є подрібнення у млині із зміщеною віссю обертання у разі накладання вібрації. При цьому відбувається інтенсивне перемішування розмелених тіл разом з подрібнюваним матеріалом, який рівномірно перерозподіляється між кулями і вірогідність руйнування частинок різко зростає. Це пришвидшує процес подрібнення в 1,5 – 2 рази за рахунок стираючої та ударної сили розмельних тіл. В результаті порошок рівномірно розподіляється за фракціями. В подальшому становить інтерес дослідити зміну фракційного складу порошку за різних параметрів вібрації з використанням датчика кутових переміщень ВЕ-178А.

**Список літератури:** 1. Ревнивец В.И. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов / [В.И. Ревнивец, Г.А. Денисов, Л.П. Зарогатский, В.Я. Туркин]. – М.: Недра, 1992. – 430 с. 2. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М.: Химия, 1987. – 496 с. 3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под ред. Б.С. Митина. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с. 4. Биленко Л.Ф. Закономерности измельчения в бара-

банных мельниках / Л.Ф. Биленко. – М.: Недра, 1984. – 200 с. **5.** Рудь В.Д. Использование отходов подшипникового производства в порошковой металлургии / В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук, О.Ю. Повстяной // Порошковая металлургия. – 2005. – Вып. 44. – № 1-2. – С. 88 – 92. **6.** Рудь В.Д. Апаратна реалізація технології утилізації відходів підшипникового виробництва / В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук // Технологічні комплекси. – 2011. – № 2(4). – С. 75 – 80.

**Referens:** **1.** Revnivcev V.I. Vibracionnaja dezintegracija tverdyh materialov / [V.I. Revnivcev, G.A. Denisov, L.P. Zarogatskij, V.Ja. Turkin]. – Moscow: Nedra, 1992. – 430 s. **2.** Planovskij A.N. Processy i apparaty himicheskoj i neftehimicheskoj tehnologii / A.N. Planovskij, P.I. Nikolaev. – Moscow: Himija, 1987. – 496 s. **3.** Poroshkovaja metallurgija i napilennye pokrytija / Pod red. B.S. Mitina. – Moscow: Metallurgija, 1987. – 792 s. **4.** Bilenko L.F. Zakonomernosti izmel'čeniya v barabannyh mel'nikah / L.F. Bilenko. – Moscow: Nedra, 1984. – 200 s. **5.** Rud' V.D. Powder metallurgy use of waste from bearing production / V.D. Rud', T.N. Gal'chuk, O.Ju. Povstyanoi // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2005. – Vol. 44. – № 1-2. – P. 88 – 92. **6.** Rud' V.D. Апаратна реалізація технології утилізації відходів підшипникового виробництва / V.D. Rud', T.N. Gal'chuk // Tehnologichni kompleksi. – 2011. – № 2 (4). – S. 75 – 80.

*Надійшла до редколегії (Received by the editorial board) 15.06.14.*

УДК 621.762

**Експериментальне дослідження технології вібраційного подрібнення / В.Д. РУДЬ, Т.Н. ГАЛЬЧУК, Т. Є. БОЖКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – С. 92 – 97. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.**

Експериментально перевірено, що оптимальним для металічного порошка являється измельчение в мельнице со смещенною осью вращения при наложении вибраций. В результате чего ускоряется процесс измельчения в 1,5 – 2 раза за счет стирающей и ударной силы размольных тел. Измельчение проводили в лабораторной мельнице специальной конструкции. В качестве исследуемого материала использованы металіческие порошки, стали ШХ15.

**Ключевые слова:** металіческий порошок, измельчение, вибрация, мельница, гранулометрический состав.

UDC 621.762

**Experimental study of vibrating grinding of technology / V.D. RUD', T.N. GAL'CHUK, T. E. BOZHKO // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 92 – 97. – Bibliogr.: 6 names. – ISSN 2079-0821.**

Grinding was carried out in a laboratory mill special design. The new laboratory setup, a comparative study of two methods of grinding metal powders: rotational method and vibroobertalnyy with direct and oblique axis of rotation. The proposed grinders sold almost all methods of destruction, but there is a major shock-oblitative It was verified experimentally that the most optimal conditions for metal powder is grinding in a mill with offset axis of rotation upon application of vibration. As a result, the process of grinding accelerates in 1,5–2 times due to erasing and a strike force of grinding bodies. As a result, the powder is evenly distributed by fractions. As the investigated material used metal powders steel SHH15. As an grinding of bodies been used made of steel the balls with a diameter of 23 mm and 32 mm. The mass ratio of of powder and balls of 1:0,75.

**Keywords:** metal powder, grinding, vibration, mill, particle size distribution the composition.