

*Ю. А. Онасенко, канд. техн. наук Л. Д. Пилипчатін, І. Д. Рябов¹
(Національна металургійна академія України,
м. Дніпропетровськ, Україна;
¹ПАТ «Великоанадольський вогнетривкий комбінат»,
смт Володимирівка, Волновахський р-н, Донецька обл., Україна)*

Енергозберігаюча технологія виготовлення шамотних легковагих вогнетривів

Вступ

Ефективним напрямком реалізації принципів енерготехнологічного комбінунання, які передбачають вирішення комплексу задач щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів і сировинних матеріалів, зниження втрат теплової енергії при експлуатації високотемпературних агрегатів різного призначення, є удосконалення технології виготовлення теплоізоляційних вогнетривів і матеріалів з покращеними функціональними властивостями. Поряд із розвитком технологій вогнетривких теплоізоляційних матеріалів і покриттів нового покоління з використанням саморозповсюджуючогося високотемпературного синтезу, технологій «холодного» спучування, волокнистих матеріалів тощо актуальним є удосконалення технології виготовлення теплоізоляційних вогнетривів масового виробництва, до яких відносяться шамотні легковагі виробу марок ШЛ-1,3 і ШЛ-1,0 з граничною температурою застосування 1300 °С [1—5].

Основним завданням у технології виготовлення шамотних легковагих за методом вигоряючих добавок є забезпечення збалансованого співвідношення між границею міцності при стисненні виробів та їх пористістю, яка забезпечує необхідні теплопровідні властивості вогнетривів. Зміцнення структури виробів та покращення їх теплоізоляційних властивостей досягається шляхом використання ефективних видів сировини та вигоряючих добавок (топазвміщуючих матеріалів, напівкоксу і т. ін.), раціонального вибору зернового складу шихтових матеріалів та їх співвідношення [6—9].

Зважаючи на те, що границя міцності при стисненні і теплопровідність легковагих виробів значною мірою визначаються їх структурними характеристиками (розміром і формою пор, розподілом пор за розмірами, міцністю міжпорового матеріалу),

досягнення низької щільності і теплопровідності, високої границі міцності при стисненні може бути реалізовано шляхом використання у складі шамотних мас низькоспівливих глин, оптимізації зернового і речовинного складу шихтових матеріалів та режиму випалу виробів.

Метою даної роботи є розробка параметрів енергозберігаючої технології виготовлення шамотних легковагих вогнетривів із підвищеною границею міцності при стисненні.

Експериментальна частина

Для проведення досліджень використовували шамот марки ШКВ-2 виробництва ПАТ «Великоанадольський вогнетривкий комбінат» фр. 3—0 мм, глину Новорайського родовища марки ДН-2; каолін Володимирівського родовища марки КВ-2 фр. 2—0 мм, коксовий горішок фр. 3—0 мм.

Визначення температури спікання глинистих матеріалів за ГОСТ 5499—92 показали, що більш низький температурний інтервал спікання глини ДН-2 (1150—1200 °С) порівняно з каоліном КВ-2 (1420—1440 °С) сприятиме спіканню шамотної маси при більш низьких температурах випалу виробів.

За даними петрографічного аналізу, який виконано із використанням поляризаційного мікроскопу «МИН-8», мінералогічний склад глини представлено каолінітом 60—70 %, монотермітом 10—20 %, β -кварцем 10—15 %, гідрослюдами 10—15 % та оксидами заліза і кальциту (менше 2 %). За мінералогічним складом каолін відрізняється відсутністю монотерміту, меншим вмістом оксидів заліза та більш високим вмістом гідрослюду (12—17 %) і каолініту (67—78 %).

Виконаний на дериватографі «Q-1500D» (атмосфера — повітря) диференційно-термічний аналіз висушених за 100 °С проб каоліну і глини (рис. 1) показав більш низьку температуру початку процесу мулітоутворення у глині, ніж у каоліні.

Дослідження впливу речовинного і зернового складу шамотних мас на властивості зразків проводили з використанням симплекс-ґратчастого методу математичного планування експерименту [10]. Як

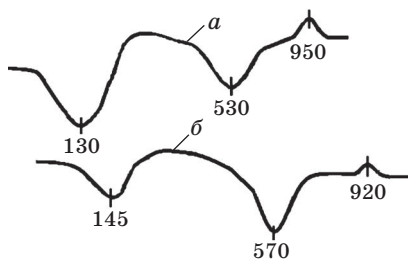


Рис. 1. Диференційно-термічні криві каоліну (а) і глини (б)

фактори обрано вміст компонентів у складі шамотної маси, %: дисперсна складова — суміш глини і каоліну у співвідношенні 1 : 1 — X_1 ; тонкодисперсна складова — суміш сумісного помелу шамоту і глини у співвідношенні 3 : 1 (ССП) фр. < 0,088 мм — X_2 ; зерниста складова — коксовий горішок фр. 3—0 мм — X_3 . Інтервал варіювання значень факторів змінювався у межах: X_1 — 12—18 %, X_2 — 36—42 %, X_3 — 40—52 %. За параметри оптимізації прийнято показники властивостей експериментальних зразків після випалу за 1240 °С із витримкою 3 год: границя міцності при стисненні (σ) та уявна щільність (ρ). Матрицю планування експерименту та результати дослідів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту і результати дослідів

№	Фактори			Параметри*	
	X_1	X_2	X_3	ρ , г/см ³	σ , Н/мм ²
1	1	0	0	1,30	8,7
2	0	1	0	1,15	9,8
3	0	0	1	1,02	4,5
4	1/2	1/2	0	1,10	9,3
5	1/2	0	1/2	1,08	8,7
6	0	1/2	1/2	1,03	4,5
7	1/3	1/3	1/3	1,03	7,4

* Середні значення 5 паралельних визначень.

Експериментальні зразки-куби з розміром ребра 50 мм формували з мас вологістю 8,5—9 % за тиску пресування 55 Н/мм², сушили та випалювали в інтервалі температур 1200—1260 °С з витримкою 6—10 год. Визначення показників властивостей експериментальних зразків і дослідних виробів проводили за стандартними методиками: уявної щільності — ГОСТ 2409—95; границі міцності при стисненні — ГОСТ 4071.1-1—99; теплопровідності — ГОСТ 12170—85. Петрографічний та рентгенофазовий аналізи дослідних виробів проведено із використанням поляризаційного мікроскопу «МИН-8» та установки «ДРОН-3».

Результати та їх обговорення

За результатами математичної обробки експериментальних даних отримані рівняння регресії — поліноми другого порядку:

— уявна щільність

$$\rho = 1,30X_1 + 1,15X_2 + 1,023X_3 - 0,50X_1X_2 - 0,34X_1X_3 - 0,34X_2X_3; \quad (1)$$

— границя міцності при стисненні

$$\sigma = 18,733X_1 + 9,80X_2 + 4,467X_3 + 0,267X_1X_2 + 8,267X_1X_3 - 10,4X_2X_3. \quad (2)$$

На основі отриманих моделей було розраховано значення показників властивостей та побудовано ізолінії в системі «склад — властивість» (рис. 2). Аналіз графічних інтерпретацій рівнянь регресії дозволив встановити область речовинних складів вогнетривких мас, які забезпечують одночасне досягнення високої границі міцності при стисненні (8,5—9,3 Н/мм²) і достатньої щільності зразків (1,08—1,10 г/см³): суміш глини і каоліну — 12—16 %; суміш сумісного помелу шамоту і глини — 38—42 %; коксовий горішок — 43—47 % [11].

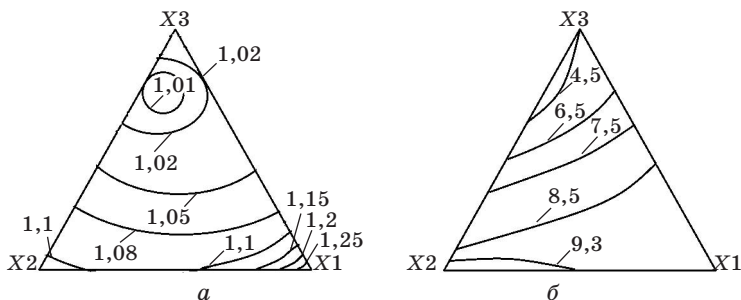


Рис. 2. Ізолінії показників властивостей шамотних легковагих зразків на симплексі:

a — уявна щільність; *б* — границя міцності при стисненні

З метою оптимізації параметрів високотемпературного випалу шамотних легковагих вогнетривів з мас оптимального складу: ССП — 40 %, суміш глини і каоліну — 15 %, коксовий горішок — 45 % формували експериментальні зразки, які випалювали в інтервалі температур 1200—1260 °С з витримкою 6—10 год. Результати визначення показників властивостей випалених зразків (рис. 3) показують, що підвищення температури випалу понад 1220 °С призводить до зростання уявної щільності зразків і зниження їх границі міцності при стисненні.

Температурний інтервал випалу зразків 1200—1220 °С при витримці 6—8 год забезпечує досягнення збалансованої границі

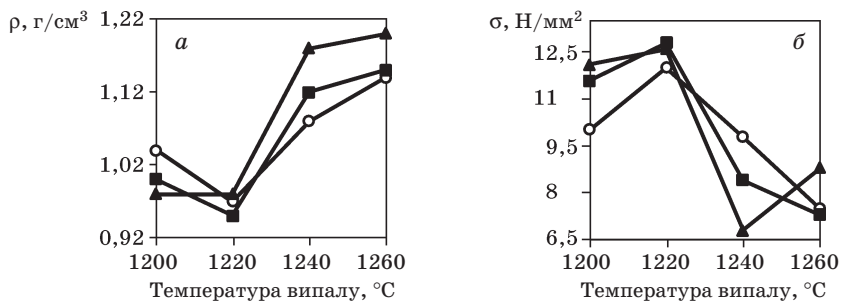


Рис. 3. Вплив температури випалу та часу витримки на змінення уявної щільності (а) і границі міцності при стисненні (б) зразків.

Час витримки: ○ — 6 год; ■ — 8 год; ▲ — 10 год

міцності при стисненні зразків у межах 10,02—13,8 Н/мм² і уявної щільності — 0,95—1,04 г/см³.

Відповідно до розроблених технологічних параметрів в умовах ПАТ «Великоанадольський вогнетривкий комбінат» було виготовлено дослідно-промислову партію шамотних теплоізоляційних вогнетривів. Вироби виготовляли з мас оптимального речовинного складу із використанням коксового горішку раціонального зернового складу [11; 12]. Результати визначення фізико-механічних показників властивостей виробів після випалу у тунельній печі за максимальної температури 1200—1220 °C із витримкою 8 год (табл. 2) свідчать про високі міцнісні властивості дослідних виробів.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості шамотних легковагіт марки ШЛ-1,0

Найменування показника	Дослідні вироби ДСТУ 2342
Границя міцності при стисненні, Н/мм ²	<u>10,0—12,2</u> не менше 3,5
Уявна щільність, г/см ³	<u>0,98—1,00</u> не більше 1,0
Теплопровідність: за 350 (± 25) °C, Вт/(м·К)	<u>0,40—0,43</u> не більше 0,5
за 650 (± 25) °C, Вт/(м·К)	<u>0,46—0,51</u> не більше 0,6

За результатами петрографічних досліджень (рис. 4) вироби поточного виробництва після випалу за 1300—1340 °C характеризуються нерівномірною зернистою структурою, яка

складається із зерен шамоту кутасто-окотаної ізометричної й неправильної форми розміром 0,2—3 мм, дрібнозернистої зв'язуючої маси та пор. Крупні пори характеризуються переважно розміром 0,1—2 мм (максимум 6 мм), дрібні пори мають розмір 4—20 мкм.

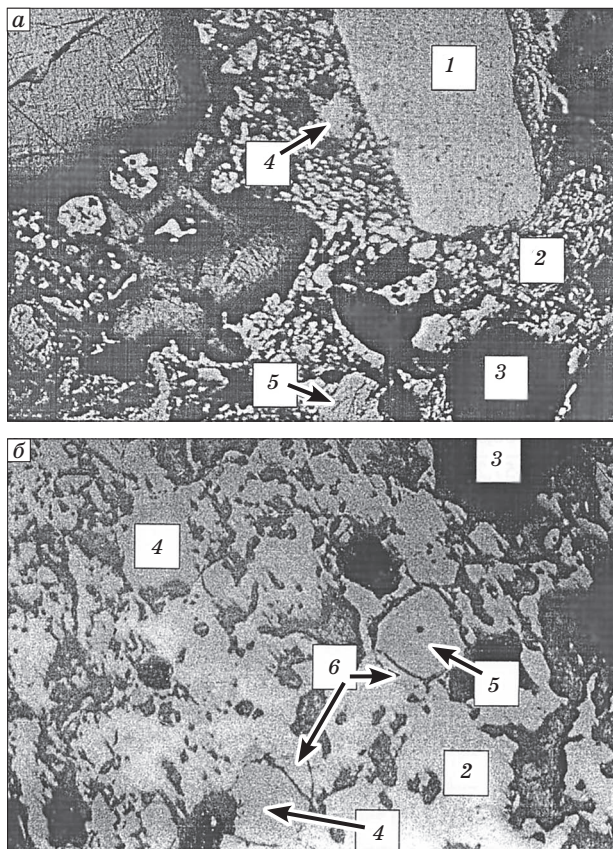


Рис. 4. Мікροструктура легковагих виробів поточного виробництва (*а*) і дослідного (*б*):
 1 — шамот; 2 — зв'язка (муліт + склофаза); 3 — пори (чорне);
 4 — кварц; 5 — кристобаліт; 6 — метакристаліт

Зв'язуюча маса (рис. 4, *а*) представлена кристобалітом, мулітом із розміром голчастих кристалів 4—6 мкм і склофазою. На деяких ділянках контакту зерен шамоту і зв'язки спостерігаються окотані зерна кварцу розміром 0,1—0,2 мм; по границях зерен кварцу розвиваються плівки метакристаліту. Структура

дослідного виробу (рис. 4, б) відрізняється наявністю пор меншого розміру (0,25—2 мм, максимум 3 мм), меншим розміром зерен кварцу та більшою кількістю кристобаліту, кристалізацією більш крупних кристалів муліту з розмірами від 4—8 до 20—40 мкм.

За даними рентгенофазового аналізу (рис. 5) мінералогічний склад шамотних легковагів представлено кристалічними фазами муліту та кристобаліту, і за характером дифракційної картини зразок дослідного вогнетриву (рис. 5, б) відрізняється більш крупною кристалізацією муліту та більш високим вмістом кристобаліту.

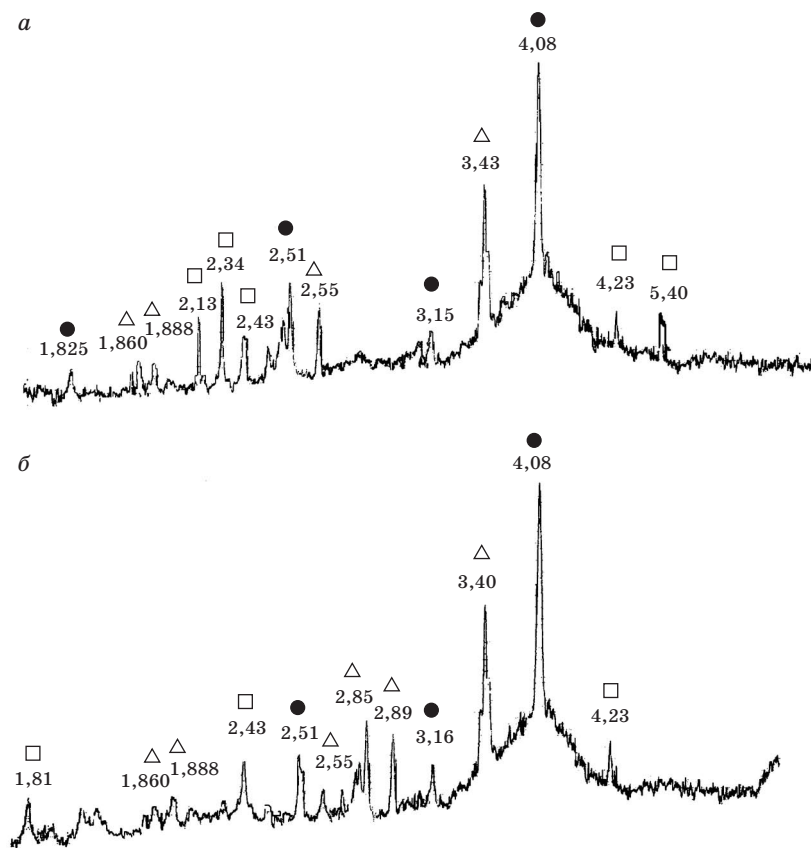


Рис. 5. Рентгенограма легковагів виробів поточного виробництва (а) і дослідного (б):
 △ — муліт; ● — кристобаліт; □ — кварц

Висновки

Розроблено основні параметри енергозберігаючої технології виробництва шамотних легковагих вогнетривів із підвищеною границею міцністю при стисненні. Використання глини з низькою температурою спікання, раціональний речовинний і зерновий склад шамотних мас дозволили знизити температуру випалу виробів з 1300—1340 до 1200—1220 °С і отримати легковагі вогнетриви з підвищеною границею міцності при стисненні.

Бібліографічний список

1. *Владимиров В. С.* Использование новых высокоэффективных огнеупорных СВС-материалов и покрытий для металлургических производств / В. С. Владимиров, А. П. Галаган, М. А. Илюхин [и др.] // Новые огнеупоры. — 2002. — №7. — С. 8—12.

2. *Владимиров В. С.* Новые огнеупорные и теплоизоляционные материалы и технологии их производства / В. С. Владимиров, А. П. Галаган, М. А. Илюхин [и др.] // Новые огнеупоры. — 2002. — № 1. — С. 81—89.

3. *Кащеев И. Д.* Эффективная теплоизоляция печных агрегатов / И. Д. Кащеев, Е. А. Никифоров // Строительные материалы. — 2006. — № 9. — С. 70—72.

4. *Петровский Э. А.* Современные эффективные высокотемпературные теплоизоляционные изделия для промышленного оборудования / Э. А. Петровский // Сталь. — 2007. — № 5. — С. 19—22.

5. *Попова В. С.* Алюмосиликатные теплоизоляционно-конструкционные огнеупоры с повышенной прочностью и широким спектром содержания Al_2O_3 / В. С. Попова // Новые огнеупоры. — 2005. — № 4. — С. 35—36.

6. *Вакалов Т. В.* Новые сырьевые материалы для алюмосиликатной керамики огнеупорного и технического назначения / Т. В. Вакалов, В. М. Погрбенков, О. А. Черноусова // Огнеупоры и техн. керамика. — 2002. — № 3. — С. 27—29.

7. *Байдюков И. П.* Топазосодержащие породы в технологии производства алюмосиликатных огнеупоров / И. П. Байдюков // Новые огнеупоры. — 2003. — № 5. — С. 12—14.

8. Пат. № 67495 Україна, МПК (2006) C04B 35/00, C04B 38/06, C04B 33/22. Шамотний легковагий вогнетрив / Ю. А. Онасенко, Л. Д. Пилипчатін, Р. М. Шевцов, І. Д. Рябов; заявник та патентовласник Нац. металургійна академія України. — № u2011 08970; заявл. 18.07.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

9. *Беломеря Н. И.* Разработка технологии получения пористых керамических материалов с использованием отходов переработки бурых углей / Н. И. Беломеря, В. В. Мнускина // Тр. ДонГТУ: «Химия и химическая технология». — Донецк: ДонГТУ, 2000. — № 13. — С. 143—146.

10. *Пинчук С. И.* Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем / С. И. Пинчук. — Днепропетровск: Дива, 2008. — 248 с.

11. Пат. № 63203 Україна, МПК (2006) C04B 35/14, C04B 38/06. Шамотний легковагий вогнетрив / Ю. А. Онасенко, Л. Д. Пилипчатін, Р. М. Шевцов, І. Д. Рябов; заявник та патентовласник Нац. металургійна академія України. — № u2011 07434; заявл. 14.06.2011; опубл. 26.09.2011, Бюл. № 18.

12. *Онасенко Ю. А.* Влияние зернового состава выгорающей добавки на свойства легковесных изделий / Ю. А. Онасенко // Вісник Нац техн. ун-ту «ХП». — Х. : НТУ «ХП», 2009. — № 25. — С. 93—98.

Рецензент к. т. н. Костирко І. Ю.