

*Н. В. Шебанова, канд. техн. наук О. С. Наумов  
(Національна металургійна академія України,  
м. Дніпропетровськ, Україна)*

## **Вплив добавок на властивості віброформованих динасових легковагих вогнетривів**

### **Вступ**

Діючи технологічні способи виготовлення динасових легковагих вогнетривів в умовах масового виробництва за методом вигоряючих добавок сприяють формуванню високопористої і низькощільної структури виробів із низькою теплопровідністю, але не забезпечують отримання вогнетривів з високою границею міцності при стисненні [1—5]. Удосконалення технології виробництва динасових легковагих вогнетривів з високою границею міцності при стисненні і низькою уявною щільністю, що є актуальною задачею, можливе шляхом застосування способу віброформування.

Спосіб віброформування супроводжується використанням кремнеземистих мас підвищеної вологості, що обумовлює низьку міцність свіжосформованого сирцю. Зниження вологості мас можливе при використанні пластифікуючих і водоредуруючих добавок органічного походження. Як такі добавки в роботі запропоновано використовувати пластифікатор, що являє собою суміш олігомерів і полімерів поліметилнафталінсульфонатів, нафталінові ядра яких сполучені метиленовими містками з регулярно розміщеними функціональними сульфогрупами — $\text{SO}_3\text{Na}$  (ПС), а також пластифікатора, що складається з натрієвих солей поліметилнафталінсульфокислот різної молекулярної маси з доданням комплексу, що прискорює набір міцності (ІР).

Для забезпечення достатньої відкритої пористості віброформованих зразків можливе використання повітрянозалучаючої добавки, що являє собою високомолекулярні моносульфонові кислоти, отримані сульфівуванням (обробкою сірчаною кислотою) нафтових дистилатів (відходів виробництва бензину, керосину і нафти), і використовується як піноутворювач (КП). За результатами досліджень авторів [6] для виготовлення

легковагих динасових вогнетривів методом вібраційного формування до складу кремнеземистої маси доцільно вводити спікаючу і пластифікуючу добавку мікрокремнезему (МК) специфічної тонкодисперсної структури.

Метою проведених досліджень було визначення впливу вище наведених добавок на показники властивостей віброформованих динасових легковагих вогнетривів.

## Експериментальна частина

Для проведення досліджень щодо впливу пластифікуючих і водоредуруючих добавок ПС і ПР, піноутворювача КП, мікрокремнезему МК експериментальні зразки у формі куба розміром  $30 \times 30 \times 30$  мм формували методом віброформування [7] за частоти 60 Гц з кремнеземистих мас вологістю 21—27,5 %, які містили кварцит фр.  $< 0,088$  мм — 70 %; коксовий дріб'язок фр. 0,5—0 мм — 30 %; добавки — понад 100 %. Зерновий склад вигоряючої добавки відповідав визначеному експериментально [8].

Добавки ПС і ПР вводили у кремнеземисту масу водним розчином у кількості 0,15—1 % разом з добавкою КП у співвідношенні 1 : 1; кількість МК була сталою і складала 5 %. Вапно у масу вводили за вмістом активного оксиду кальцію у перерахунок на кількість кварциту в масі. Зволоження кремнеземистих мас проводили рідинною композицією, яка вміщувала воду, вапно, добавки ПС або ПР і додатково КП.

Експериментальні зразки сушили і випалювали в діючій тунельній печі підприємства ПАТ «Красноармійський динасовий завод» за температури 1420—1440 °С. Визначення показників властивостей експериментальних зразків проводили за стандартними методиками: уявної щільності і відкритої пористості — ГОСТ 2409—95; границі міцності при стиску — ГОСТ 4071.2—94.

## Результати та їх обговорення

Відомості щодо вологості кремнеземистих мас ( $W$ , %) та результати визначення показників властивостей випалених зразків (уявної щільності  $\rho$ ; границі міцності при стиску  $\sigma_{ст}$ ; відкритої пористості  $\Pi_{відкр}$ ) залежно від виду і кількості добавок наведено у табл. 1 та на рис. 1.

Таблиця 1

Вплив виду і кількості добавок на вологість мас та відкриту пористість зразків

Найменування		Номер маси											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добавки	ПС, %	0,15	0,5	1	—	—	—	0,15	0,5	1	—	—	—
	ПР, %	—	—	—	0,15	0,5	1	—	—	—	0,15	0,5	1
	МК, %	—	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5
Властивості	П <sub>відкр</sub> , %	53,9	51,7	52,9	53,5	51,2	52,0	54,0	54,0	51,4	53,8	50,8	51,9
	W, %	24,0	21,5	21,0	24,5	24,0	23,0	25,0	23,0	22,5	27,5	26,0	25,0

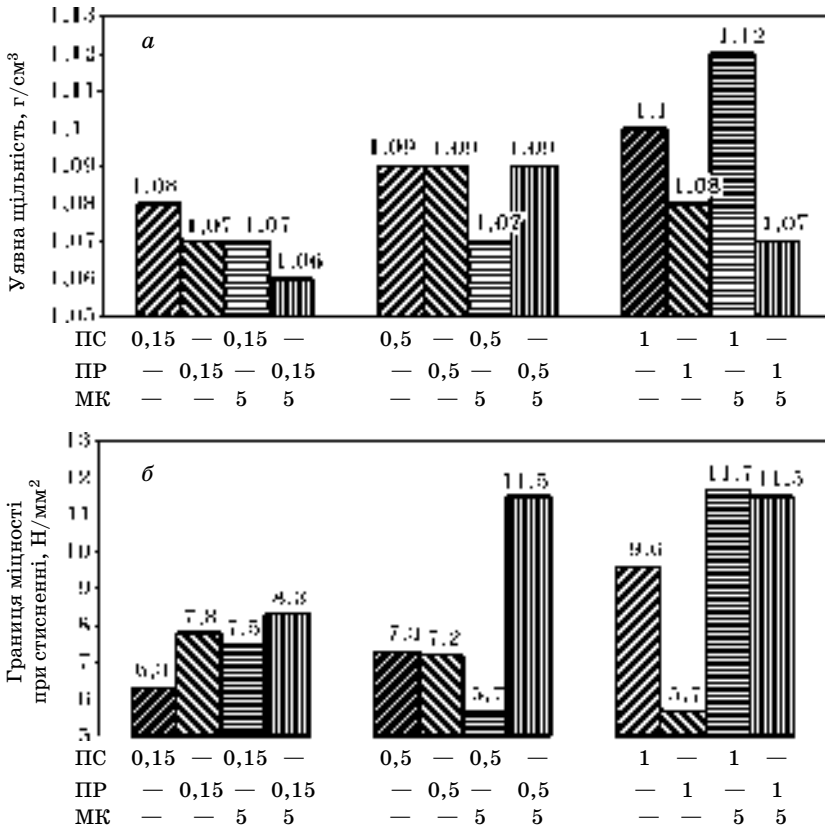


Рис. 1. Вплив виду і кількості добавок на показники властивостей випалених зразків:

а — уявна щільність; б — границя міцності при стисненні

Підвищення вмісту добавок ПС і ПР з 0,15 до 1 % сприяє зменшенню вологості кремнеземистих мас на 2,5—3,0 і 0,5—1,5 % і мас, що містять МК, на 2,0—2,5 і 1,5—2,5 % відповідно. Причому добавка ПС відрізняється більш ефективною водоредуючою дією, ніж ПР. Слід зазначити, що маси, які містять мікрокремнезем, потребують більшого зволоження внаслідок особливостей форми і розміру частинок МК.

Аналіз графічних залежностей впливу виду і кількості добавок на зміну уявної щільності та границі міцності при стисненні випалених зразків (див. рис. 1) показав, що величина цих показників змінюється в межах 1,06—1,12 г/см<sup>3</sup> та 5,7—11,7 Н/мм<sup>2</sup> відповідно.

Зростання кількості ПС з 0,15 до 1 % (без добавки МК) супроводжується зростанням уявної щільності з 1,08 до 1,1 г/см<sup>3</sup> і границі міцності при стисненні з 6,5 до 9,6 Н/мм<sup>2</sup>. При цьому пористість зразків змінюється неоднозначно. Мінімальна пористість — 51,7 % відповідає вмісту ПС 0,5 %, і при збільшенні або зменшенні кількості добавки величина відкритої пористості зразків зростає до 52,9 і 53,9 % відповідно.

Добавка 0,15 % ПР (без добавки МК) забезпечує мінімальну щільність зразків — 1,07 г/см<sup>3</sup> і максимальну міцність — 7,8 Н/мм<sup>2</sup>, і при збільшенні кількості добавки до 1 % спостерігається незначне підвищення щільності — до 1,08 г/см<sup>3</sup> і значне зменшення міцності — на 2,1 Н/мм<sup>2</sup>. Тенденція змінення пористості зразків з добавкою ПР і ПС аналогічна, але при підвищенні вмісту добавки на 0,4—0,9 % значення пористості нижче у зразків з ПС.

Суттєве зростання границі міцності при стисненні спостерігається при введенні в маси мікрокремнезему. Так, при підвищенні кількості добавки ПС і ПР границя міцності при стисненні зразків збільшується з 7,5 до 11,7 Н/мм<sup>2</sup> і з 8,3 до 11,5 Н/мм<sup>2</sup> відповідно. Але максимальна міцність зразків (11,7 Н/мм<sup>2</sup>) з 1 % ПС відповідає щільності 1,12 г/см<sup>3</sup>, а більш низькі значення уявної щільності зразків — 1,07 г/см<sup>3</sup> — не забезпечують високої границі міцності при стисненні, значення якої знаходяться у межах 5,7—7,5 Н/мм<sup>2</sup>, що відповідає вмісту ПС 0,15 і 0,5 %. Використання 1 % ПР дозволяє досягти високої міцності зразків (11,5 Н/мм<sup>2</sup>) і низької уявної щільності (1,07 г/см<sup>3</sup>). Слід зазначити, що зниження кількості добавки ПР до 0,5 % обумовлює підвищення уявної щільності до 1,09 г/см<sup>3</sup> при збереженні максимальної границі міцності при стисненні — 11,5 Н/мм<sup>2</sup>. Введення МК у маси, що містять добавку ПР, практично не впливає

на змінення пористості (див. табл. 1). У той же час сумісна дія мікрокремнезему і добавки ПС у кількості 0,15 і 0,5 % сприяє не тільки зниженню щільності і підвищенню границі міцності при стисненні зразків, а й забезпечує досягнення максимальної пористості — 54 %. Таким чином, ефективне поєднання високої міцності і низької уявної щільності легковагих зразків забезпечується введенням в масу мікрокремнезему і 1 % добавки ПР.

Введення повітрозалучаючої добавки КП сприяє посиленню водоредуруючої дії добавок (табл. 2) і зберігає тенденцію до зменшення формувальної вологості. Так, при зростанні загальної кількості комплексної добавки, що містить КП і ПС або ПР, з 0,3 до 2 % вологість мас без добавки МК знижується на 3—4 і на 1—3 %, а з добавкою МК — на 3—3,5 і 1—4 % відповідно.

Результати аналізу змінення пористості динасових зразків показують, що максимальне значення пористості — 55,0 % забезпечується при введенні 0,3 % комплексної добавки ПС і КП, при цьому уявна щільність складає 1,05 г/см<sup>3</sup> і границя міцності при стисненні — 7,3 Н/мм<sup>2</sup> (рис. 2). Порівняно зі зразками, які містять 0,15 % ПС (див. табл. 1, рис. 1), введення у склад маси 0,15 % КП сприяє зменшенню щільності на 0,03 г/см<sup>3</sup>, підвищенню пористості на 1,13 % і границі міцності при стисненні на 1,2 Н/мм<sup>2</sup>.

Таблиця 2

Вплив комплексної добавки на вологість мас та відкриту пористість зразків

Найменування		Номер маси											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Добавки	ПС, %	0,15	0,5	1	—	—	—	0,15	0,5	1	—	—	—
	ПР, %	—	—	—	0,15	0,5	1	—	—	—	0,15	0,5	1
	КП, %	0,15	0,5	1	0,15	0,5	1	0,15	0,5	1	0,15	0,5	1
	Загальний вміст добавок, %	0,3	1	2	0,3	1	2	0,3	1	2	0,3	1	2
	МК, %	—	—	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5
Властивості	П <sub>відкр</sub> , %	55,0	52,7	58,7	53,5	53,2	56,4	54,7	52,2	53,4	55,0	53,4	59,7
	W, %	24	21	20	24	23	21	25	22	21,5	27	26	23

Подані на рис. 2 графічні залежності показують, що величина уявної щільності змінюється у межах 0,93—1,11 г/см<sup>3</sup>;

а границі міцності при стисненні — у межах 3,9—11,2 Н/мм<sup>2</sup>. Підвищення кількості комплексної добавки ПС і КП з 0,3 до 1 % (без добавки МК) супроводжується незначним зростанням уявної щільності з 1,05 до 1,1 г/см<sup>3</sup>, і при подальшому збільшенні вмісту комплексної добавки до 2 % уявна щільність знижується до 0,97 г/см<sup>3</sup>. Причому максимальна кількість комплексної добавки (2 %) негативно впливає на границю міцності при стисненні, величина якої знижується у 2 рази і складає 3,9 Н/мм<sup>2</sup>. Заміна у складі комплексної добавки ПС на ПР супроводжується зниженням щільності з 1,06 до 0,98 г/см<sup>3</sup> і міцності з 6,6 до 5,1 Н/мм<sup>2</sup>.

При введенні мікрокремнезему в маси, що містять добавку ПР, ця тенденція зберігається і значення щільності та міцності знаходяться у межах 1,03—0,93 г/см<sup>3</sup> і 6,7—4,6 Н/мм<sup>2</sup>. Більш ефективна дія комплексної добавки ПС і КП відмічена у зразках, що містять МК. Так, при загальному вмісті добавок 1 і 2 % щільність зразків знижується з 1,11 до 1,08 г/см<sup>3</sup> відповідно при зберіганні високої міцності — 11,2 Н/мм<sup>2</sup>.

Слід зазначити, що дія МК в масах, що містять комплексну добавку ПС і КП та ПР і КП, прямо протилежна. Так, відкрита пористість зразків, сформованих з мас з МК і комплексною добавкою, яка містить ПС, нижче на 0,3—4,8 % від пористості зразків без МК. Зразки з МК і комплексною добавкою з ПР характеризуються пористістю на 0,2—3,3 % вищою, ніж без МК.

Введення у склад кремнеземистих мас добавки КП сприяє зниженню уявної щільності і підвищенню пористості зразків з різними добавками поліфункціональної дії і МК. Так, щільність зразків досягає мінімальних значень 0,93—0,94 г/см<sup>3</sup>, а максимальна пористість складає 59,4—59,7 %. КП здійснює негативний вплив на границю міцності при стисненні динасових зразків, величина якої знижується з 5,7—11,5 до 3,9—11,1 Н/мм<sup>2</sup>.

Вибір оптимального складу комплексних добавок поліфункціональної дії здійснювали на підставі аналізу взаємозв'язаних показників властивостей динасових легковагих зразків, які відповідали наступним граничним умовам: уявна щільність — 1,05—1,07 г/см<sup>3</sup>; відкрита пористість — не менше 53,0 %; границя міцності при стисненні — не менше 7,5 Н/мм<sup>2</sup>. Наведеним вимогам відповідають зразки, сформовані з кремнеземистих мас № 4, 8, 10. Представлені дані показують, що добавка ПР або МК у сполученні з добавкою ПС чи ПР забезпечують практично однаковий рівень властивостей динасових легковагих вогнетривів: уявна щільність — 1,06—1,07 г/см<sup>3</sup>; відкрита

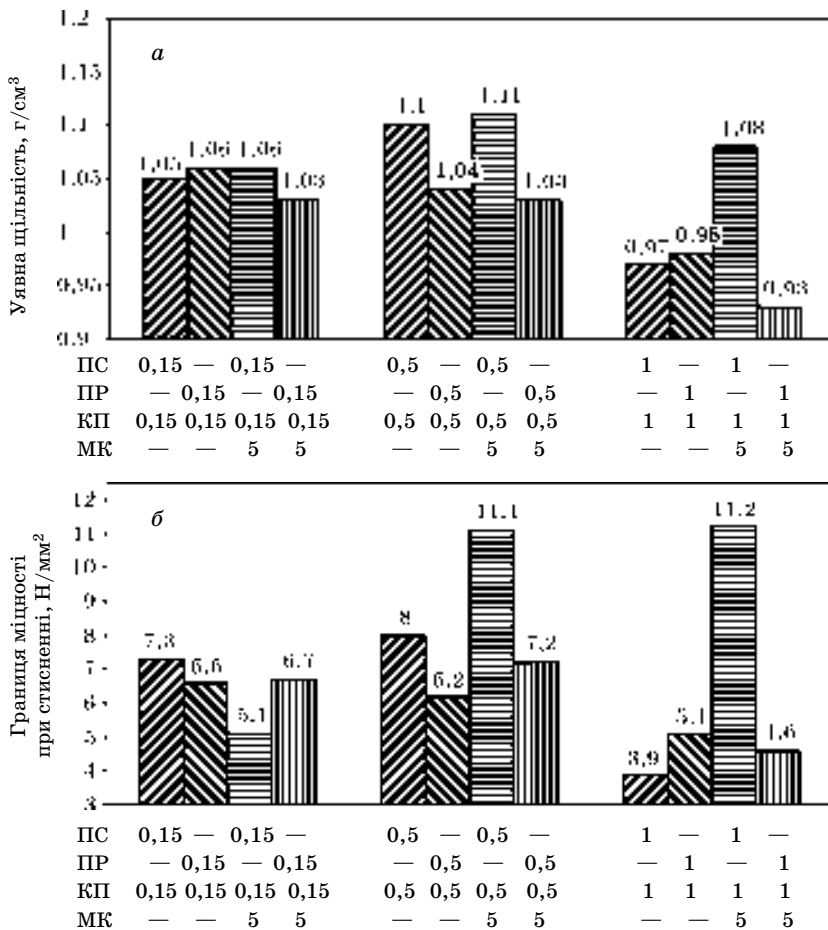


Рис. 2. Вплив комплексних добавок на показники властивостей випалених зразків  
 а — уявна щільність; б — границя міцності при стисненні

пористість — 53,5—54,0%; границя міцності при стисненні — 7,7—8,3 Н/мм<sup>2</sup>.

## Висновки

Досліджено вплив добавок поліфункціональної дії, які забезпечують регулювання властивостей динасових легковагих вогнетривів, виготовлених за методом вигоряючих добавок

із використанням способу вібраційного формування виробів, і сприяють формуванню дрібнопористої міцної структури вогнетриву. Встановлено можливість сумісного використання добавок органічного та мінерального походження з метою поліпшення якісних показників динасових легковагих вогнетривів. Визначено оптимальний вміст комплексних добавок у складі кремнеземистих мас, що дозволяє одержувати динасові легковагі вогнетриви з наступними показниками властивостей: уявна щільність — 1,06—1,07 г/см<sup>3</sup>; відкрита пористість — 53,5—54,0 %; границя міцності при стисненні — 7,7—8,3 Н/мм<sup>2</sup>.

### Бібліографічний список

1. *Гузман И. Я.* Высокоогнеупорная пористая керамика / Гузман И. Я. — М. : Металлургия, 1971. — 207 с.
2. *Лурье М. А.* Легковесные огнеупоры в промышленных печах / Лурье М. А., Гончаренко В. П. — М. : Металлургия, 1974. — 240 с.
3. *Кайнарский И. С.* Динас / Кайнарский И. С. — М. : Metallurgizdat, 1961. — 469 с.
4. *Горлов Ю. П.* Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / Ю. П. Горлов, Н. Ф. Еремин, Б. У. Седунов. — М. : Стройиздат, 1976. — 192 с.
5. *Стрелов К. К.* Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, И. Д. Кашеев, П. С. Мамыкин. — М. : Металлургия, 1988. — 528 с.
6. Пат. 2355663 Россия, МПК (2006) C04B 35/14, C04B 38/06. Динасовый легковесный огнеупор / Бахтина В. К., Гришпун Е. М., Гороховский А. М.; патентообладатель ОАО «Первоуральский динасовый завод» (ОАО «ДИНУР»). — № 2007130241/03; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.05.2009.
7. Отримання високопористих динасових легковагих методом віброформування / Бондар А. В., Шебанова Н. В. // Зб. тез доповідей Всеукр. наук.-техн. конф. [«Молода академія — 2011»]. — Дніпропетровськ, 2011. — С. 60—61.
8. *Шебанова Н. В.* Теплоізоляційні вогнетриви з підвищеною механічною міцністю / Шебанова Н. В., Голуб І. В., Наумов О. С. // *Новости науки Приднепровья*. — 2012. — № 1—2. — С. 41—44.

*Рецензент к. т. н. Хончик І. В.*