

ся в чугунном кокиле. Расчёт, помимо предсказания характера изменения размера зерна по сечению отливки, позволил оценить особенности формы функции распределения зёрен по размерам в локальных участках отливки.

4. На основании расчётов установлено, что для алюминиевых отливок для достижения эффекта измельчения структуры требуется создание порядка  $10^{10}$  гетерогенных центров кристаллизации на 1 кг металла, что обеспечивается при вводе нерастворимого инокулятора в количестве  $\sim 0,10\%$  при размере частиц не превышающем 5 мкм.

#### Библиографический список

1. Уббелодде А.Р. Расплавленное состояние вещества. - М.: Металлургия, 1982. - 375 с.
2. Теория литейных процессов / Б.С. Чуркин, Э.Б. Гофман. - Екатеринбург, 2006. - 454 с.
3. Неймарк В.Е. Модифицированный стальной слиток. - М.: Металлургия, 1977. - 200 с.
4. Баландин Н.Б. Теория формирования отливки. - М.: Изд-во Московского ГТУ, 1998. - 359 с.
5. Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлаждённых жидкостей и аморфных сред. - Донецк: Донбасс, 2011. - 591 с.
6. Методы моделирования роста кристаллов в расплавах / В.В. Карабчевский, А.В. Пашина // Наук. пр. Донецького НТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка» (ІКОТ-2010).

Випуск 11(164). - Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. - С. 165-171.

7. Grujicic M. Computer simulations of the evolution of solidification microstructure in the LENS<sup>TM</sup> rapid fabrication process / M. Grujicic, G. Cao, R.S. Figliola // Applied Surface Science. - 2001. - V. 183. - P. 43-57.

8. Учёт ненулевой объёмной доли новой фазы в кинетике кристаллизации расплавов / А.В. Коропов, В.А. Кукушкин, Д.А. Григорьев // Журнал технической физики. - 1999. - № 7. - С. 53-58.

9. Гаврилин В.И. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. - Владимир: ВГУ, 2000. - 260 с.

10. Казанцев Е.И. Промышленные печи. - М.: Металлургия, 1975. - 368 с.

11. Влияние изменение плотности твёрдого тела на диффузионную подвижность атомов при облучении мощными наносекундными пучками заряженных частиц / Г.А. Блейхер, В.П. Кривоногов, О.В. Пащенко, С.Н. Янин // Письма в ЖТФ. - 1998. - № 3. - С. 75-79.

12. Механизмы объёмной диффузии при «высоких» и «низких» температурах / В.Н. Чувильдеев, Е.С. Смирнова // Физика твёрдого тела. - 2011. - № 4. - С. 727-732.

13. Модифицирующая обработка литейных сплавов дисперсными композициями / Н.Е. Калинина, А.О. Кавац, В.Т. Калинин // Авиационно-космическая техника и технология. - 2008. - № 7. - С. 16-19.

Поступила 05.02.2013

УДК 666.76

Шебанова Н.В. /к.т.н./, Наумов О.С. /к.т.н./  
НМетАУ

Наука

## Дослідження властивостей віброформованих динасових легковагих вогнетривів з використанням техногенних видів сировини для вогнетривкого і ливарного виробництва

*Досліджено вплив добавок поліфункціональної дії на показники властивостей динасових легковагих вогнетривів, виготовлених за методом вигоряючих добавок з використанням способу віброформування з кремнеземистих мас, що містять у своєму складі техногенні продукти: шламові відходи виробництва феросплавів та як мінералізатор шлак доменного виробництва. Визначено оптимальне сполучення добавок органо-мінерального походження, що дозволяє отримати підвищені показники властивостей легковагого динасу з метою використання його в конструктивних елементах футеровок теплових агрегатів та у ливарному виробництві. Іл. 2. Табл. 3. Бібліогр.: 8 назв.*

**Ключевые слова:** динасовий легковагий вогнетрив, пластифікуюча добавка, водоредуруюча добавка, віброформування, доменний шлак

*The effect of additives polyfunctional on the properties of lightweight silica refractory's, made by the method of burnable additives using the method of vibroforming siliceous masses, containing in the structure technogenic products: waste sludge production of ferroalloys and mineralize as blast furnace slag. The optimal combination of organo-mineral additives that provides higher performance properties of lightweight silica refractory's in order to use it in a constructive elements lining of heat units in foundry.*

**Keywords:** silica lightweight refractory, plasticizer additive, water-reducing additive, vibroforming, blast furnace slag

#### Вступ

Застосування динасових легковагих вогнетривів у

конструктивних елементах футеровок теплових агрегатів та у ливарному виробництві обмежене у зв'язку з недостатньо високою механічною міцністю цих ви-

робів. Аналіз науково-технічної літератури щодо виробництва динасових легковагів [1-4] свідчить про необхідність удосконалення технології їх виготовлення за методом вигоряючих добавок з метою підвищення механічної міцності, зниження уявної щільності і покращення теплоізоляційних властивостей виробів. Досягнення зазначених показників можливо шляхом оптимізації зернового складу та кількості вигоряючої добавки, а також підбором і регулюванням співвідношення різних видів мінералізаторів у масі [2].

Традиційно в якості кальцієвмісного мінералізатора використовують негашене вапно, в якості залізовмісних мінералізаторів застосовують техногенні продукти – шлаки доменного і сталеплавильного виробництва, окалину прокатного виробництва, піритні недогарки, пил електрофільтрів маргєнівських печей [2, 4, 5]. Використання альтернативних видів сировини в якості мінералізуючих добавок в технології виготовлення динасу визначає доцільність проведення досліджень щодо встановлення можливості їх застосування при виробництві динасових вогнетривів методом віброформування.

У попередніх роботах [6] доведено, що підвищення міцності свіжосформованого сирцю, отриманого способом віброформування, забезпечується зниженням вологості кремнеземистих мас за рахунок використання пластифікуючих і водоредуруючих добавок органіч-

Таблиця 1. Хімічний склад матеріалів, %

Матеріал	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C
ДШ	40,34	44,27	2,32	4,05	8,52*	-	-	-
МК	88,63	1,21	1,69	1,29	3,25	0,52	0,62	2,79

\* – загальний вміст Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO у перерахунку на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Таблиця 2. Вплив виду і кількості добавок на вологість мас та відкрити пористість експериментальних зразків

		Номер маси											
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
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	$P_{відк}, \%$	52,0	51,3	52,0	51,8	52,3	52,2	51,1	51,3	51,8	51,3	52,1	51,1
	W, %	24	22,5	22	24,5	24	23	25	22,5	23,5	25,5	24	23,5

ного походження, які впливають на ущільнення сирцю та показники властивостей випалених вогнетривів. Добавки представляли собою суміш олігомерів і полімерів поліметилнафталінсульфонатів, нафталінові ядра яких сполучені метиленовими містками з регулярно розмішеними функціональними сульфогрупами (ПС) та натрієві солі поліметилнафталінсульфоокислот різної молекулярної маси (ПР). Крім того, для забезпечення достатньої відкритої пористості віброформованих зразків в роботі запропоновано використання повітрянозалежної добавки (КП), що представляла собою високомолекулярні моноссульфонові кислоти, отримані сульфурованню нафтових дистилатів. Авторами [7], а також в роботі [6] була доведена доцільність використання в складі кремнеземистої маси добавки шламових відходів виробництва феросплавів (МК), представлених аморфним кремнеземом з розміром частинок менше 1 мкм, які

за даними електронної мікроскопії мають сфероподібну та ізометричну форму. Мета роботи - дослідження впливу добавок поліфункціональної дії на показники властивостей віброформованих динасових легковагих зразків, в складі яких в якості мінералізатора використовувався доменний шлак (ДШ).

**Експериментальна частина**

Для проведення досліджень щодо впливу пластифікуючих і водоредууючих добавок, піноутворювача, шламових відходів виробництва феросплавів на властивості динасових легковагів з мінералізуючою добавкою ДШ експериментальні зразки формували за методом віброформування у формі куба розміром 3×3×3 см при частоті 60 Гц з кремнеземистих мас вологістю 21–27,5 %, які містили кварцит фр. < 0,088 мм (ТУУ 14.5–00191879–006–2001) – 70 %; коксовий дріб'язок фр. 0,5–0 мм (ТУУ 322-00190443-011-96) – 30 %; добавки понад 100 %. Зерновий склад вигоряючої добавки відповідав визначеному експериментально [8].

Добавки ПС і ПР вводили в кремнеземисту масу водним розчином в кількості 0,15–1 % разом з добавкою КП у співвідношенні 1:1; кількість МК була постійною і складала 5 %. З урахуванням результатів визначення хімічного складу ДШ і в перерахунку на вміст оксиду кальцію і заліза (III) кількість шлаку фр. < 0,088 мм в кремнеземистих масах у перерахунку на кількість кварциту складала 8,9 % (понад 100 %). Добавка шлаку вводилась при перемішуванні компонентів шихтових матеріалів. Вміст основних оксидів в хімічному складі техногенних продуктів наведено в табл. 1.

Зволоження кремнеземистих мас проводили рідиною композицією, яка вмішувала воду, добавки ПС або ПР і додатково КП. Експериментальні зразки сушили і випалювали в діючій тунельній печі підприємства ПАТ «Красноармійський динасовий завод» при температурі 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**

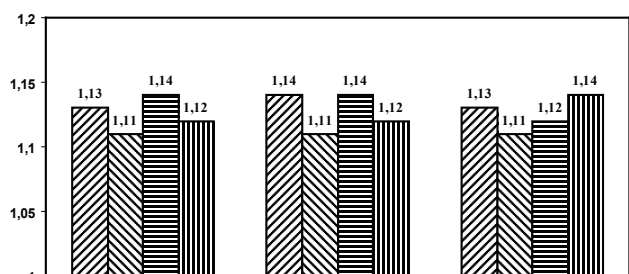
Відомості щодо вологості кремнеземистих мас (W, %) та результати визначення показників властивостей випалених зразків (уявної щільності ρ; границі міцності при стиску σ<sub>см</sub>; відкритої пористості P<sub>відк</sub>) в залежності від виду і кількості добавок наведено в табл. 2 та на рис. 1.

Аналіз змінення вологості кремнеземистих мас в залежності від виду і кількості пластифікуючих і водоредуруючих добавок ПС і ПР виявив більш ефективну дію суперпластифікатора ПС як поверхнево-активної речовини, яка знижує вологість мас, що підтверджується результатами роботи [6]. Так, підвищення кількості добавки ПС і добавки ПР від 0,15 до 1 % супроводжується зменшенням вологості на 2 % (від 24 до 22 %) і 1,5 % (від 24,5 до 23 %) відповідно. Причому, одночасне збільшення добавки ПС з 0,15 до 1 % при зменшенні вологості мас на 2 % сприяє ущільненню кремнеземистої маси в процесі віброформування, що підтверджується зростанням механічної міцності випалених зразків з 12,6 до 13,4 Н/мм<sup>2</sup> при їх щільності 1,13–1,14 г/см<sup>3</sup>.

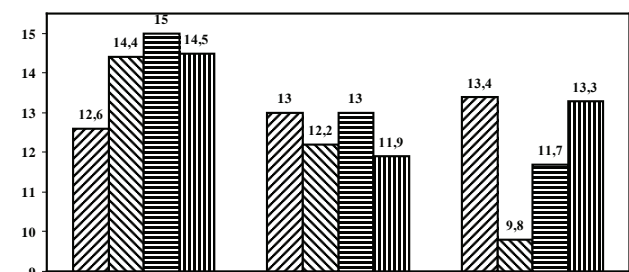
Зворотний ефект спостерігається при використанні добавки ПР, мінімальна кількість якої 0,15 % при максимальній вологості 24,5 % забезпечує високу міцність зразків 14,4 Н/мм<sup>2</sup>. Збільшення кількості добавки ПР з 0,15 до 1 % зменшує вологість мас з 24,5

до 23 %, але обумовлює зниження механічної міцності до 9,8 Н/мм<sup>2</sup> при незмінній уявній щільності зразків 1,11 г/см<sup>3</sup>.

Слід зазначити, що збільшення вмісту добавок ПС і ПР в кремнеземистих масах без МК і з добавкою ПС в масах з 5 % МК суттєво не впливає на змінення відкритої пористості зразків, значення якої коливається в межах 51,3–52,3 %. Вміст в масі добавки ПР до 0,5 % забезпечує досягнення максимальної пористості – 52,1 % і при його кількості 0,15 % і 1 % пористість зразків практично однакова – 51,3–51,5 %.

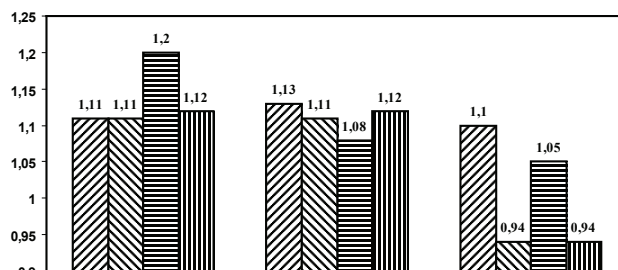


а) уявна щільність

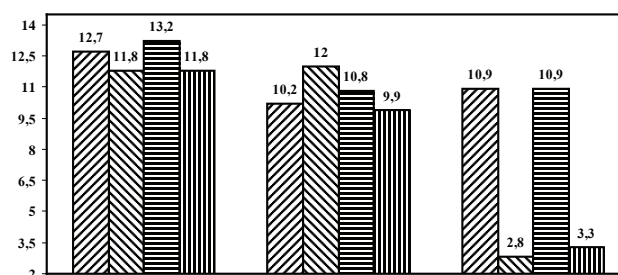


б) механічна міцність

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



а) уявна щільність



б) механічна міцність

Рис. 2. Вплив комплексних добавок на показники властивостей випалених зразків

Аналіз властивостей динасових легковагих зразків, які містять у складі мас крім означених добавок додатково КП у кількості 0,15–1 % при їх співвідношенні 1 : 1 (табл. 3, рис. 2), показав наступне.

Введення в кремнеземисті маси 5 % МК хоча і призводить до підвищення формувальної вологості, але при мінімальній кількості добавок 0,15 % забезпечує покращення механічних властивостей зразків до 15 Н/мм<sup>2</sup> і 14,5 Н/мм<sup>2</sup>. При цьому зростання кількості ПС з 0,15 %

Таблиця 3. Вплив комплексної добавки на вологість мас та відкрити пористість експериментальних зразків

		Номер маси											
		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
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	$P_{відк}, \%$	52,5	50,6	52,4	51,7	51,8	59,4	51,2	52,4	54,7	51,0	51,5	59,4
	W, %	24	22	24	23	22,5	22	24,5	23	23	24,5	23,5	22,5

до 1 % знижує щільність зразків з 1,14 г/см<sup>3</sup> до 1,12 г/см<sup>3</sup> і механічну міцність з 15 Н/мм<sup>2</sup> до 11,9 Н/мм<sup>2</sup>. Для зразків, що містять у масі добавку ПР, при підвищенні її кількості до 0,5 % щільність зразків дорівнює 1,12 г/см<sup>3</sup>, а механічна міцність знижується з 14,5 Н/мм<sup>2</sup> до 11,9 Н/мм<sup>2</sup>. Більш високий вміст добавки 1 % сприяє покращенню міцності до 13,3 Н/мм<sup>2</sup>, але збільшує уявну щільність зразків на 0,02 г/см<sup>3</sup>. Порівняльний аналіз дії суперпластифікатору ПС в масах без МК та з 5 % МК вказує на позитивний вплив мінімальної кількості добавки ПС 0,15 % на зміцнення зразків і підвищення величини границі міцності при стиску з 12,6 до 15 Н/мм<sup>2</sup>. Зразки, сформовані з мас, що містять МК і ПС у складі комплексної добавки, характеризуються більш високою механічною міцністю (10,8–13,2 Н/мм<sup>2</sup>), ніж зразки з добавкою ПР (3,3–11,8 Н/мм<sup>2</sup>). Зростання кількості добавок з 0,3 до 1 % супроводжується незначним зниженням вологості мас на 1,5 %, уявної щільності з 1,1 до 1,08 г/см<sup>3</sup> і механічної міцності з 13,2 до 10,8 Н/мм<sup>2</sup>. Подальше підвищення кількості комплексної добавки до 2 % не впливає на змінення вологості і механічної міцності, але знижує щільність на 0,03 г/см<sup>3</sup>.

Маси, що не містять МК, при вмісті ПС і КП 1 % характеризуються мінімальною вологістю 22 %, і при збільшенні і зменшенні кількості комплексної добавки вологість мас підвищується до 24 %. Більш висока міцність зразків відповідає мінімальному вмісту добавки 0,3 %. Порівняльний аналіз змінення відкритої пористості зразків без МК і з МК, що містять 2 % комплексної добавки (див. табл. 3, маси № 39 і № 42, № 45 і № 48) свідчить про більш значний вплив добавки ПР на поризацію динасу. Так, пористість зразків з ПР складає 59,4 %, що на 6,0 і 4,7 % більше, ніж пористість зразків з добавкою ПС. Але, незважаючи на низьку уявну щільність динасу 0,94 г/см<sup>3</sup>, їх міцність не задовольняє вимогам, що висуваються до динасових легковагів (ДСТУ 2342-94 (ГОСТ 5040-96)), і складає 2,8 і 3,3 Н/мм<sup>2</sup>.

Порівняльний аналіз змінення показників властивостей динасових зразків, сформованих з мас з добавкою МК і без добавки, вказує на позитивний вплив МК при використанні у складі комплексної добавки ПС. При вмісті комплексної добавки 1 і 2 % зразки з добавкою МК відрізняються меншою на 0,05 г/см<sup>3</sup> щільністю при однаковій механічній міцності. Але на змінення відкритої пористості динасових легковагів добавка МК суттєвого впливу не здійснює.

Проаналізувавши вплив добавок поліфункціональної дії та МК на властивості динасових легковагих вогнетривів в залежності від виду мінералізатора, отримано наступне. При використанні мінералізуючої добавки негашеного вапна добавка ПР 0,15 % (маса № 4) або добавка 5 % МК у сполученні з добавкою ПС 0,5 % (маса № 8) чи з добавкою ПР 0,15 % (маса № 10) забезпечує практично однаковий рівень властивостей динасових легковагів: уявна щільність 1,06–1,07 г/см<sup>3</sup>; відкрита пористість 53,5–54,0 %; границя міцності при стиску 7,7–8,3 Н/мм<sup>2</sup> [6]. Використання доменного шлаку і комплексної органо-мінеральної добавки, що містить 1 % добавки ПС, 1 % повітрянозалучаючої добавки КП і 5 % МК дозволяє не тільки знизити щільність зразків

на 0,01–0,02 г/см<sup>3</sup>, а й підвищити пористість на 0,7–1,12 % і механічну міцність на 2,6–3,2 Н/мм<sup>2</sup> у порівнянні зі зразками, що містять мінералізатор – негашене вапно.

Таким чином, встановлено доцільність виготовлення легковагого динасу методом вібраційного формування з кремнеземистих мас, що містять суперпластифікатор ПС і техногенні матеріали, а саме шламові відходи виробництва феросплавів, піноутворювач і мінералізуючу добавку – шлак доменного виробництва.

### Висновки

Досліджено вплив добавок поліфункціональної дії на показники властивостей динасових легковагих зразків, виготовлених за методом вигоряючих добавок з використанням способу вібраційного формування з кремнеземистих мас, що містять у своєму складі в якості мінералізатора шлак доменного виробництва. Підтверджено доцільність заміни в складі кремнеземистої маси мінералізуючої добавки негашеного вапна на доменний шлак. Визначено, що оптимальне сполучення добавок органо-мінерального походження дозволяє отримати підвищені показники властивостей динасових легковагих зразків: уявна щільність 1,05 г/см<sup>3</sup>; відкрита пористість 54,7 %; границя міцності при стиску 10,9 Н/мм<sup>2</sup>. У порівнянні зі зразками, які містять в якості мінералізатора негашене вапно, уявна щільність зразків знижується на 0,01–0,02 г/см<sup>3</sup> та підвищується відкрита пористість на 0,7–1,12 % і механічна міцність на 2,6–3,2 Н/мм<sup>2</sup>.

### Бібліографічний список

1. Легковесные огнеупоры в промышленных печах / М.А. Лурье, В.П. Гончаренко. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.
2. Кайнарский И.С. Динас. – М.: Металлургиздат, 1961. – 469 с.
3. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / Ю.П. Горлов, Н.Ф. Еремин, Б.У. Седунов. – М.: Стройиздат, 1976. – 192 с.
4. Технология огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кашцев, П.С. Мамькин. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.
5. Изготовление динасовых изделий с использованием сухих минерализаторов / В.Л. Булах, И.В. Хончик, А.Ф. Тонкушин и др. // Огнеупоры. – 1993. - № 10 – С. 15–16.
6. Шебанова Н.В., Наумов О.С. Влияние добавок на свойства виброформованных динасовых легковагих вогнетривов // Зб. наук. пр. ПАТ «УКРНДІВОНЕТРИВІВ ІМ. А.С. БЕРЕЖНОГО». – 2012. – № 112. – С. 87–94.
7. Пат. 2355663. Россия, МПК С04В 35/14, С04В 38/06. Динасовый легковесный огнеупор / Бахтина В.К., Гришпун Е.М., Гороховский А.М.; патентообладатель ОАО «Первоуральский динасовый завод» (ОАО «ДИ-НУР»). – № 2007130241/03; заявл. 07.08.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14.
8. Шебанова Н.В., Голуб І.В., Наумов О.С. Теплоизоляційні вогнетриви з підвищеною механічною міцністю // Новини науки Придніпров'я. – 2012. – № 1–2. – С. 41–44.

Поступила 02.04.2013