

УДК 621.742.486

Л.І. Солоненко¹, С.І. Реп'ях¹, К.І. Узлов¹¹ Національна металургійна академія України

СТРУКТУРУВАННЯ ФОРМУВАЛЬНИХ ТА СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ ЗА СПОСОБОМ ПАРО-МІКРОХВИЛЬОВОГО ЗАТВЕРДІННЯ

Одним з напрямків комплексного вирішення проблем вибивання піщано-рідкоскляних сумішей з виливків, досягнення потрібних властивостей ливарних форм та стрижнів, зниження енергоємності процесу структурування, є спосіб структурування піщано-рідкоскляних сумішей в паро-мікрохвильовому середовищі (ПМЗ-процес). Виготовлені ливарні форми та стрижні ПМЗ-процесом відразу після структурування придатні до використання, оскільки мають високу міцність, практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні, тобто не потребують послідуєчого сушіння. Спосіб ПМЗ завдяки можливості отримувати ливарних форм та стрижнів із сумішей з вмістом рідкого скла від 0,5 до 1,5 % придатний для виготовлення в них виливів із сталі, чавуну і кольорових сплавів. Таким способом можливо виготовляти стрижні і форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть обумовлені тільки вантажопідйомністю і розмірами робочого простору камери використовуємої мікрохвильової печі.

DOI: 10.34185/0543-5749.2021-2-23-31

Вступ

Як і більшість країн Європи, Україна обрали стратегію «раннього залучення» щодо ініціатив Європейської Комісії «Європейський зелений курс», який орієнтовано на «зелену» концепцію модернізації економіки та економічного зростання з метою забезпечення життя людини у гармонії з планетою та її ресурсами. Тому пошук технологічних рішень, що дозволять замінити екологічно небезпечні сполучні матеріали у будь-якій галузі виробництва або технології, в тому числі і в ливарному виробництві – є одним із стратегічних завдань сучасності [1, 2].

На сьогодні найбільш екологічно та санітарно-гігієнічно небезпечними сполучними матеріалами, що використовують в ливарних цехах для виготовлення ливарних форм та стрижнів (ЛФС), є синтетичні смоли закордонного походження. В той же час, з числа екологічно безпечних сполучних матеріалів з великотоннажним вітчизняним характером їх виробництва, що вкрай обмежено використовують для виготов-

лення ЛФС, є натрієве рідке скло (РС) [1]. Тим не менш, відсутність комплексного вирішення питань вибиваємості піщано-рідкоскляних сумішей (ПРС) з виливків, недостатність технологічності структурованих ПРС, невіршеність задач їх утилізації та суттєвого зниження енергоємності і водозатратності процесу регенерації їх кварцового піску стримує поширенню РС в цьому напрямку.

Одним з напрямків комплексного вирішення такої проблеми є розробка та дослідження нових способів структурування ПРС без використання в їх складі будь-яких технологічних добавок та хімічних реагентів для затвердіння РС.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В даний час для виробництва більшості виливків використовують одноразові ЛФС, виготовлені з сумішей, вогнетривкі частки яких до початку структурування покриті шаром рідкою

або пластичною, або твердою сполучною речовиною [3, 4]. Фізичний стан речовини, що пов'язує в формувальній і стрижневій суміші (ФСС) до моменту її затвердіння, принципово з точки зору трудомісткості як підготовки самої суміші, так і заповнення оснащення, і ущільнення в ній.

Суміші з речовиною, яка знаходиться в рідкому або пластичному стані, в опоці і стрижневому ящику ущільнюються шляхом [5, 6]:

- зовнішнього механічного впливу на суміш (набивка, пресування);

- динамічного впливу з використанням власної маси суміші в оснащенні (струшування, вібрація);

- динамічного впливу з використанням кінетичної енергії рухомої суміші (метання, надувка).

Суміші з речовиною, що знаходиться в твердому стані (зерна вогнетривкого матеріалу ФСС покриті шаром твердої сполучної речовини), в опоках і стрижневих ящиках ущільнюються шляхом динамічного впливу з використанням власної маси суміші в оснащенні (струшування, вібрація).

З точки зору підготовки суміші до використання менш енерговитратні суміші з рідким або пластичним матеріалом, з точки зору набивання форм – краще суміші з твердим матеріалом. В останньому випадку перевагу обумовлена не тільки простотою і низькою енергоємністю заповнення оснащення сумішшю, її ущільненням в оснащенні, а й істотно меншим абразивно-динамічним впливом на оснащення.

Як результат, застосування сухих ФСС дозволяє знизити величину абразивного зносу оснащення, тобто збільшує термін експлуатації оснащення, підвищити точність розмірів виливків, розширити номенклатуру матеріалів для оснащення, моделей виливків та їх ливникових систем і т.д.

З числа відомих способів формування з сухих формувальних сумішей в сучасних ливарних цехах найбільш широко використовують піщано-смоляні суміші (виготовлення оболонкових форм і стрижнів по гарячій оснастці). У даній технології кварцовий пісок використовують у суміші з пилоподібною синтетичною смолою або кварцовий пісок попередньо плакований синтетичною смолою [7, 8].

З числа неорганічних сполучних речовин сухі ПРС використовують в способі паро-мікрохвильового затвердіння суміші (ПМЗ-

процес) [9]. Проте, на сьогоднішній день інформація про ПМЗ-процес і варіантах його реалізації носить фрагментарний характер, що стримує його дослідження, визначення його можливостей і використання в ливарних цехах.

Мета і завдання досліджень

Мета – дослідити властивості піщано-рідкоскляних сумішей, які структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі. Завдання дослідження – дослідити вплив вмісту рідкого скла, яке було використано на плакування кварцового піску, на межу міцності на стиск, газопроникність, газотвірну здатність та обсіпальність піщано-рідкоскляних сумішей, що були структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі за ПМЗ-процесом.

Матеріали та методи дослідження

В дослідженнях використовували кварцовий пісок марки 1К₃О₃016; содове натрієве РС з питомою щільністю 1440 кг/м³ при 20 °С та силікатним модулем $M_{SiO_2} = 2,93$; балонний вуглекислий газ; водяний заряд – м'яка поліуретанова губка; дистильована вода.

Для порівняння властивостей виготовляли стрижні Ø50×50 мм за СО₂-процесом [10] і за способом ПМЗ. Стрижні за СО₂-процесом виготовляли з кварцового піску та сполучного матеріалу – РС. Для виготовлення зразків за способом ПМЗ в сухій суміші використовували зневоднений пилоподібний силікат натрію та кварцовий пісок плакований таким же силікатом натрію. Плакування кварцового піску проводили шляхом його механічного змішування з РС протягом 5...7 хв і наступним сушінням в шарі на відкритому повітрі при 32...36 °С.

Набивання суміші при виготовленні зразків за СО₂-процесом здійснювали безпосередньо в пластмасовому стрижневому ящику на лабораторному копрі з масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,015$ кг і висотою падіння $50 \pm 0,25$ мм, проводячи по 3 удари копра для кожного зразка. В якості газу-затверджувача РС за СО₂-процесом використовували балонний вуглекислий газ. Обробку ущільненої суміші вуглекислим газом проводили безпосередньо в стрижневому ящику. Для цього вуглекислий газ подавали в стрижневий ящик з боку одного торця циліндричного стрижня, а з іншого торця проводили вакуумування суміші. При цьому, температура вуглекислого газу на вході в стрижневий

ящик становила 60...180 °С, тривалість продувки вуглекислим газом 30...50 с. При цьому, глибину вакууму на виході з стрижневого ящика підтримували в межах від 0,02 до 0,065 МПа.

За способом ПМЗ зразки виготовляли в пластмасових стрижневих ящиках з установкою водяного заряду відповідно до схеми, представленій на рис. 1,а. Матеріал водяного заряду – м'яка поліуретанова піна (поролон). Маса води у водяному заряді давали з розрахунку 1 грам води на 230 грам стрижневої суміші (плакованого кварцовий піску). Після установки водяного заряду в стрижневий ящик насипали суху стрижневу суміш (сухий плакований кварцовий пісок), ущільнювали протягом 1 хв на вібростолі при частоті коливання столу 50 Гц і амплітуді 0,8...1,0 мм та обробляли надвисокочастотним випромінюванням потужністю 700 Вт і частотою 2,45 ГГц протягом 110...120 с.

Для отриманих зразків розраховували межу їх міцності на стиск відповідно до ГОСТ 23409.7-78 (через 1 і через 24 години з моменту виготовлення зразків), обсипальність зразків визначали відповідно до ГОСТ 23409.9 і газотвірну здатність – до ГОСТ 23409.12-78 (через 24 години з моменту виготовлення зразків). Міцність на стиск структурованих сумішей визначали на приборі LRu-2e на зразках з розмірами $\varnothing 30 \times 30$ мм, обсипальність – на приборі 04812 на зразках $\varnothing 50 \times 50$ мм.

Визначення маси проводили на електронних вагах з точністю 0,01 г і об'єму газів (в дослідженнях використовували показання у U-образному водяному манометру), що виділилися з наважок стрижнів масою 10...12 г, нагрітих від 20 до 950 ± 10 °С.

Результати досліджень

Для структурування ЛФС за ПМЗ-процесом використовують або суху суміш розчинного в воді сполучного і вогнетривкого матеріалу, або сухий вогнетривкий матеріал, плакований водорозчинним сполучним матеріалом, які засипають у модельно-опочне оснащення, вібраційно ущільнюють і наповнюють водяною парою з одночасним впливом мікрохвильового (надвисокочастотного) випромінювання.

Для реалізації ПМЗ-процесу використовують суху суміш зернистого вогнетривкого матеріалу (кварцовий пісок, шамотний пісок, хлористий натрій і т.п.) і сухого порошку розчинного в воді сполучного матеріалу, наприклад, зне-

водненого силікату натрію, калію або літію. Як варіант, замість зазначеної вище суміші можна використовувати сухий нерозчинний у воді зернистий вогнетривкий матеріал, плакований водорозчинним матеріалом, наприклад, зневодним силікатом натрію, калію або літію.

Оскільки і суміш, і плакований вогнетривкий зернистий матеріал сухі, то це дозволяє заповнювати модельно-опочне оснащення шляхом їх засипання під дією гравітації з подальшим вібраційним ущільненням, що забезпечує рівномірність щільності матеріалу у всіх частинах ЛФС незалежно від їх розмірів, маси і конфігурації.

Після заповнення оснастки в суміш подають водяну пару. Проходячи по капілярних каналах суміші, водяна пара витісняє з них повітря, яке йде з капілярів в атмосферу через вентиль або вільну поверхню ЛФС. При цьому пар частково конденсується на поверхні капілярних каналів, підвищуючи їх температуру і утворюючи шар води – конденсат. Під дією високочастотного випромінювання конденсат нагрівається і випаровується, що також призводить до підвищення температури суміші. При цьому в процесі обміну молекулами між парою і конденсатом, в першу чергу, бере участь вільна вода, оскільки саме вона контактує з парою. Багаторазовість повторення процесу обміну молекулами між парою і конденсатом призводить не тільки до підвищення температури суміші, але і до насичення силікату натрію (калію, літію) водою. Насичення силікату натрію (калію, літію) призводить до його переходу в рідкорухливий стан (РС). Рідке скло, що з'явилося, змочуючи поверхню зерен вогнетривкого матеріалу, під дією капілярних сил переміщується до точок міжзеренного зіткнення частинок вогнетривкого матеріалу. Заповнюючи міжзеренний простір РС між сусідніми зернами утворює рідкі манжети – містки. Після перевищення температури суміші точки роси, конденсація пари припиняється, вода у вільному стані в капілярах зникає, з РС випаровуються залишки гідратної води, перетворюючи його в міцний зневоднений силікат натрію (калію, літію). На цьому процес структурування матеріалу ЛФС завершується.

Аналогічний, описаному вище, і механізм структурування суміші, у якій використовують зернистий вогнетривкий матеріал розчинний у воді. Принципова відмінність в механізмах затвердіння таких сумішей є часткова розчинність матеріалу зернистого вогнетривкого матеріалу в

конденсаті і його присутність в складі зневодненого силікату натрію (калію, літію).

Джерелом генерування водяної пари може бути як зовнішнім (джерело пара розташовано поза модельно-опочним оснащенням), так і внутрішнім. Використання внутрішніх джерел водяної пари більш технологічно, раціонально і економічно, оскільки на відміну від зовнішнього джерела не вимагає використання парогенератора і паропроводів, обмежує вплив людського фактора на процес структурування. Для створення внутрішнього джерела пара в межах модельно-опочного оснащення потрібно розмістити необхідну кількість води – водяний заряд.

Нагрівання суміші до точки роси зупиняє процес конденсації-випаровування, а повне випаровування води в водяних зарядах – примусовий рух пара по капілярних каналах. Таким чином, маса води у водяному заряді, швидкість просування пара по капілярах суміші і тривалість нагрівання сухої суміші до точки роси є основними факторами, що обмежують можливість структурування будь-якої суміші даним способом. Виходячи з взаємозв'язку між зазначеними параметрами для кожної суміші і визначається маса суміші, яка може бути структурована одним водяним зарядом, наприклад, з масою в ньому води, що дорівнює 1 граму. Знаючи цей показник, розраховують кількість використаних водяних зарядів, масу води в них та відстань між водяними зарядами у межах робочого простору модельно-опочного оснащення.

В якості водяного заряду можна використовувати будь-яку ємність або пористе тіло з високими діелектричними властивостями, здатне утримувати необхідну кількість води. Тобто во-

дяними зарядами можуть бути: скляна, пластмасова, дерев'яна або керамічна ємність, полімерна губка, ганчір'я тощо. В якості водяного заряду також може бути використана безпосередньо модельно-опочне оснащення, яке також повинне бути виконана з матеріалу з високими діелектричними властивостями (гіпс, дерево, пластмаса тощо).

Як приклад, схеми внутрішнього розміщення водяних зарядів в стрижневих ящиках із зазначенням стрілками переважних напрямків руху пара при структуруванні суміші за ПМЗ способом, представлені на рис. 1.

Як приклад, схеми розміщення водяних зарядів в оснастці для виготовлення оболонкової форми із зазначенням стрілками переважних напрямків руху пара при структуруванні суміші за ПМЗ способом представлені на рис. 2.

Як приклад, схеми внутрішнього розміщення водяних зарядів в оснастці для виготовлення моноблочної форми з вертикальним і горизонтальним формуванням представлені на рис. 3,а і 3,б відповідно.

Підвищення міцності ЛФС досягається за рахунок повноти видалення вологи із структурованої суміші і запобігання карбонізації РС в період його твердіння. Зменшення обсіпальності ЛФС досягається в результаті як підвищення міцності суміші, так і глибокого зневоднення силікату натрію (калію, літію) в усіх шарах ЛФС. Рівномірність властивостей у різних частинах ЛФС досягається за рахунок використання сухої суміші, яку ущільнюють вібраційним способом, за рахунок повноти видалення вологи із структурованої суміші і за рахунок запобігання карбонізації РС в період його твердіння.

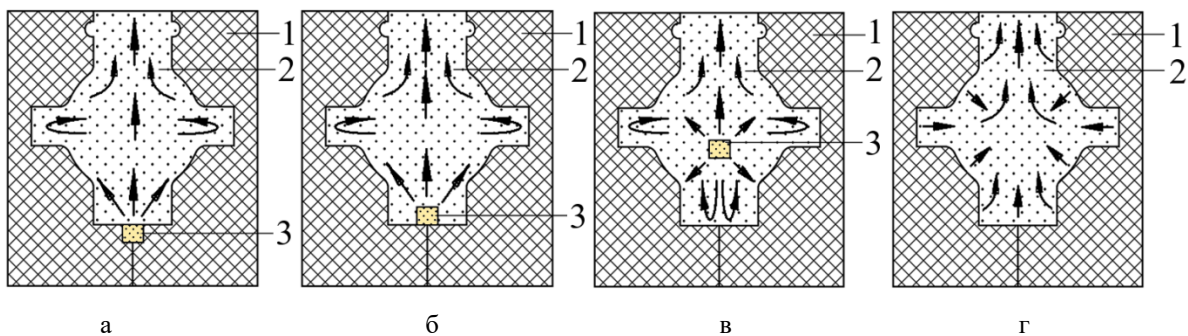


Рис. 1. Схема внутрішнього розміщення водяного заряду поза робочої порожнини стрижневого ящика (а), в робочій порожнині стрижневого ящика (б), всередині стрижня (в), на поверхні робочої порожнини стрижневого ящика (г) з виходом пара з стрижневого ящика через вільну поверхню суміші:
1– стрижневий ящик; 2– стрижнева суміш; 3 – водяний заряд

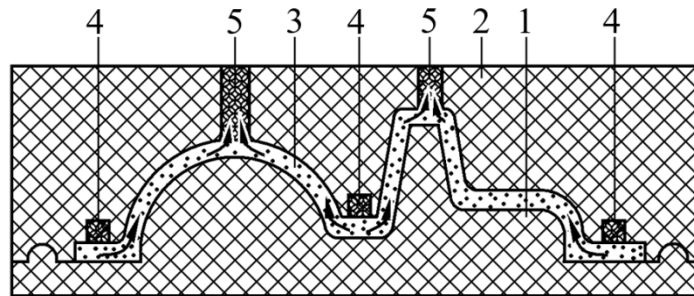


Рис. 2. Схема внутрішнього розміщення водяного заряду поза робочої порожнини стрижневого ящика і виходом пара через венті: 1 – підмодельна плита з моделлю; 2 – профільована кришка; 3 – формувальна суміш; 4 – водяний заряд; 5 – вента

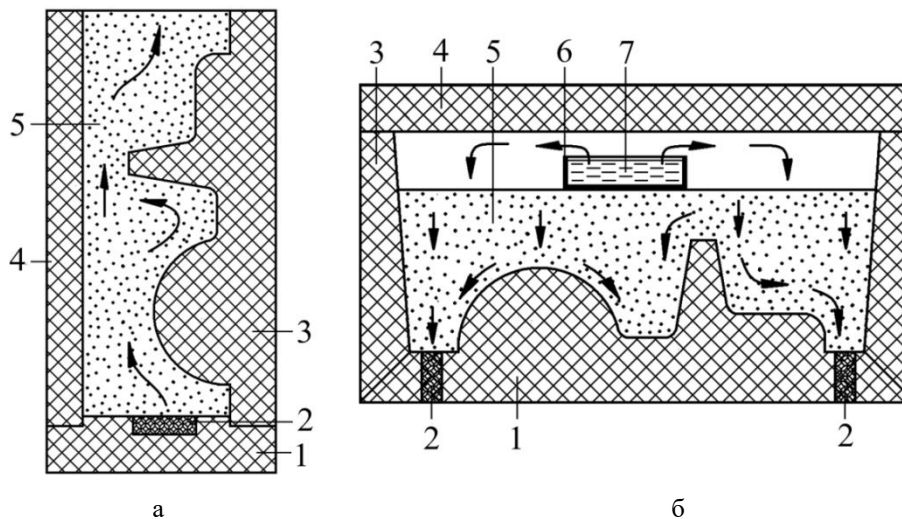


Рис. 3. Схема внутрішнього розміщення водяного заряду поза робочої порожнини модельно-опочного оснащення з вертикальним (а) і горизонтальним (б) формуванням: 1 – підмодельна плита з моделлю; 2 – вента; 3 – опока; 4 – кришка; 5 – формувальна суміш; 6 – пластмасова ємність; 7 – вода; 8 – водяний заряд

Порівняльні результати властивостей випробувальних стрижнів з ПРС структурованих

за CO₂-процесом та за способом ПМЗ наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Властивості піщано-рідкоскляних стрижнів, що структуровані за CO₂-процесом та за способом ПМЗ

Показник	Значення					
	CO ₂ -процесом	ПМЗ-процес, вміст РС в піску при його плакуванні, % (за масою)				
		2	3	4	5	6
σ _{ст} , МПа, через 1 годину через 24 години	1,5±0,4 2,2±0,4	2,5±0,3	3,2±0,2	3,6±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2
Обсипальність, %	0,27±0,04	0,22	0,17	0,11	0,06	0,02
Газотвірна здатність, см ³ /г	7-9	<0,5				

Продовження табл. 1.

Показник	Значення					
	СО ₂ -процесом	ПМЗ-процес, вміст пилоподібного силікату натрію в суміші, % (за масою)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
σ _{ст} , МПа, через 1 годину через 24 години	1,5±0,4 2,2±0,4	1,8±0,4	2,2±0,4	2,7±0,3	3,2±0,3	3,5±0,2
Обсипальність, %	0,27±0,04	0,34	0,22	0,15	0,10	0,07
Газотвірна здатність, см ³ /г	7-9	<0,5				

Обговорення результатів

Аналіз даних табл. 1 показує, що ПМЗ-процес в порівнянні з СО₂-процесом дозволяє збільшити і стабілізувати міцність стрижнів і форм, істотно зменшити їх обсипальність і газотвірну здатність. При цьому, властивості зразків отриманих за ПМЗ-процесом, на відміну від зразків виготовлених на СО₂-процесом, не змінили впродовж 24 годин. Слід відзначити, що виготовлення ЛФС за ПМЗ-процесом з плакованого кварцового піску більш перспективне ніж використання суміші кварцового піску та пилоподібного силікату натрію. Це пов'язане з відсутністю пиловидалення з плакованого піску під час його засипання в оснащення та передбаченим рівномірним розподілом сполучного матеріалу в об'ємі ливарної форми або стрижня.

Висновки

Виготовлені ливарні форми та стрижні за способом ПМЗ відразу після виготовлення придатні до використання, оскільки мають високу міцність і газопроникність, практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні, тобто не потребують послідуєчого сушіння.

На сьогодні ПМЗ-процес завдяки можливості отримувати ливарні форми та стрижні із сумішей з вмістом рідкого скла від 0,5 до 1,5% придатний для виготовлення в піщано-рідкоскляних ливарних форм та стрижнів масою до 6 кг для виливків із сталі, чавуну і кольорових сплавів. Таким способом можливо виготовляти стрижні і форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть обумовлені тільки вантажопідйомністю і розмірами робочого простору камери використовуваної мікрохвильової (надвисокочастотної) печі.

Бібліографічний список

1. Solonenkon L., Prokopovitch I., Ropyakh S., Sukhoi K., Dmytrenko D. System analysis of

modern areas of increasing environmental and sanitary hygienic safety of using cold hardening mixtures in foundry. *Proceedings of Odessa Polytechnic University: Scientific, science and technology collected articles*. 2019. № 1(57). P. 90-98.

2. Holtzer M. Światowe tendencje rozwojowe w zakresie mas formierskich i rdzeniowych pod kątem oddziaływania na środowisko. *Przegląd Odlewnictwa*. Т. 3-4, s. 112-119.

3. Голотенков О. Н. *Формовочные материалы*. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. 164 с.

4. Илларионов И. Е., Васин Ю. П. *Формовочные материалы и смеси* : Монография. Ч. 1. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. 223 с.

5. Кукуй Д. М., Скворцов В. А., Андрианов Н. В. *Теория и технология литейного производства*. Ч. 2. Технология изготовления отливок в разовых формах. Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2011. 406 с.

6. Некрасов Г. Б., Одарченко И. Б. *Основы технологии литейного производства. Ручное и машинное изготовление форм и стержней*. Минск : Вышэйшая школа, 2015. 223 с

7. Жуковский С. С. *Холодотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник*. М. : Машиностроение, 2010. 256 с.

8. Болдин А. Н. *Литейные формовочные материалы. Формовочные стержневые смеси и покрытия*. Справочник. М. : Машиностроение, 2006. 507 с.

9. Патент 122538, Україна. *Спосіб виготовлення ливарних форм і стрижнів з рідкої скляної суміші*. МПК6 В22С 9/10, 9/12. № а 201901350; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22. 7 с.

10. Патент 2094164 РФ. *Способ изготовления литейных стержней и форм из жидкостекольных смесей*. МПК6 В22С 9/10, 9/12. Заявл. 09.04.1996; опубл. 27.10.1997.

Reference

1. Solonenkon, L., Prokopovitch, I., Repyakh, S., Sukhoi, K., Dmytrenko, D. (2019). System analysis of modern areas of increasing environmental and sanitary hygienic safety of using cold hardening mixtures in foundry. *Proceedings of Odessa Polytechnic University: Scientific, science and technology collected articles*, 1(57), 90-98
2. Holtzer, M. (2011). Światowe tendencje rozwojowe w zakresie mas formierskich i rdzeniowych pod kątem oddziaływania na środowisko. *Przegląd Odlewnictwa*, 3-4, 112-119
3. Golotenkov, O. N. (2004). *Formovochnye materialy*. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta
4. Illarionov, I. E., Vasin, Iu. P. (1992). *Formovochnye materialy i smesi*. Monografiia. Ch. 1. Cheboksary: Izd-vo Chuvash. un-ta
5. Kukui, D. M., Skvortsov, V. A., Andrianov, N. V. (2011). *Teoriia i tekhnologiiia liteinogo proizvodstva*. Ch. 2. Tekhnologiiia izgotovleniia otlivok

v razovykh formakh. Minsk: Novoe znanie; M.: INFRA-M

6. Nekrasov, G. B., Odarchenko, I. B. (2015). *Osnovy tekhnologii liteinogo proizvodstva. Ruchnoe i mashinnoe izgotovlenie form i sterzhnei*. Minsk: Vyshehishaia shkola
7. Zhukovskii, S. S. (2010). *Kholodnotverdeiuschie sviazuiushchie i smesi dlia liteinykh sterzhnei i form: spravochnik*. Moskva: Mashinostroenie
8. Boldin, A. N. (2006). *Liteinye formovochnye materialy. Formovochnye sterzhnevye smesi i pokrytiia*. Spravochnik. Moskva: Mashinostroenie
9. Patent 122538, Ukraina. (2020). Spisib vyhotovlennia lyvarnykh form i stryzhniv z ridkoi sklianoї sumishi.
10. Patent 2094164, Russia. (1997). Spisob izgotovleniia liteinykh sterzhnei i form iz zhidkostekolnykh smesei.

Солоненко Людмила Ігорівна, доцент, кандидат технічних наук, докторант кафедри ливарного виробництва, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0003-2092-8044. E-mail: solonenkoli14@gmail.com

Реп'ях Сергій Іванович, старший дослідник, доктор технічних наук, професор кафедри ливарного виробництва, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0003-0203-4135. E-mail: 123rs@ua.fm.

Узлов Костянтин Іванович, професор, доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0003-0744-9890. E-mail: konst.uzlov@gmail.com.

СТРУКТУРУВАННЯ ФОРМУВАЛЬНИХ ТА СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ ЗА СПОСОБОМ ПАРО-МІКРОХВИЛЬОВОГО ЗАТВЕРДІННЯ

Мета – дослідити властивості піщано-рідкоскляних сумішей, які структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі (ПМЗ-процес).

Методика. В дослідженнях для порівняння властивостей виготовляли стрижні за CO₂-процесом та за способом паро-мікрохвильового затвердіння. Суміші виготовляли з кварцового піску марки 1K₃O₃016 та натрієвого рідкого скла з питомою щільністю 1440 кг/м³ та силікатним модулем M_{SiO2} = 2,93. Межу міцності на стиск отриманих зразків визначали відповідно до ГОСТ 23409.7-78, обсіпальність зразків – до ГОСТ 23409.9 і газотвірну здатність – до ГОСТ 23409.12-78.

Результати. Виготовлені ливарні форми та стрижні за способом паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ-процесом) відразу після структуровання придатні до використання, оскільки мають високу міцність, практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні, тобто не потребують послідуочого сушіння. Спосіб ПМЗ завдяки можливості отримувати ливарних форм та стрижнів із сумішей з вмістом РС від 0,5 до 1,5 % придатний для виготовлення в них виливів із сталі, чавуну і кольорових сплавів. Таким способом можливо виготовляти стрижні і форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть обумовлені тільки вантажопідйомністю і розмірами робочого простору камери використовуваної мікрохвильової (надвисокочастотної) печі.

Наукова новизна. Вперше встановлено властивості піщано-рідкоскляних сумішей, які структу-

ровані в паро-мікрохвильовому середовищі (за ПМЗ-процесом), з використанням 1...3 % (за масою) висушеного пилоподібного рідкого скла в кварцовому піску, та кварцового піску, плакованого 2...6 % рідкого скла і висушеного до сипучого стану.

Практична цінність. Структурування за ПМЗ-процесом можна використовувати для виготовлення піщано-рідкоскляних форм та стрижнів масою до 6 кг при одиничному, мало- та дрібносерійному виробництві виливків з залізовуглецевих та кольорових сплавів.

Ключові слова: паро-мікрохвильове затвердіння, паро-мікрохвильове середовище, рідке скло, газотвірна здатність, межа міцності, обсіпальність.

Lyudmila Solonenko, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student of the Department of Foundry, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0003-2092-8044. E-mail: solonenkoli14@gmail.com.

Sergei Repyakh, Senior Researcher, Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Foundry, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0003-0203-4135. E-mail: 123rs@ua.fm.

Kostiantyn Uzlov, Professor, Doctor of Technical Science, Professor of Materials Science Department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0003-0744-9890. E-mail: konst.uzlov@gmail.com.

MOLD AND ROD MIXTURES STRUCTURING BY STEAM-MICROWAVE SOLIDIFICATION METHOD

Purpose – to investigate the properties of sand-sodium-silicate mixtures structured in steam-microwave environment (SMS-process).

Methods. In these studies, to compare the properties, rods have been made by CO₂ process and by steam-microwave solidification method. Mixtures have been made from 1K3O3016 quartz sand and sodium silicate solute with specific density of 1440 kg/m³ and silicate modulus MSiO₂ = 2.93. Obtained samples compressive strength has been determined in accordance to GOST 23409.7-78, samples crushability – in accordance to GOST 23409.9 and gas-generating ability – in accordance to GOST 23409.12-78.

Results. Molds and rods manufactured by the method of steam-microwave solidification (SMS-process) immediately after structuring are suitable for use because they have high strength, practically contain no moisture and, accordingly, practically non-gas-generating, i.e. do not require subsequent drying. SMS method is suitable for making castings from steel, cast iron and non-ferrous alloys due to possibility of casting molds and rods producing from mixtures with SSS content from 0.5 to 1.5 %. In this way it is possible to make rods and molds of any complexity, and their limitations in weight and size will be due only to used microwave (ultrahigh-frequency) radiation chamber load capacity and working space size.

Originality. For the first time the properties of sand-sodium-silicate mixtures, which have been structured in steam-microwave environment (by SMS-process), using 1 ... 3 % (by weight) of dried dispersed sodium silicate solute in quartz sand, and quartz sand clad with 2...6 % sodium silicate solute and dried to quicksand condition have been discovered.

Practical implications. Structuring by SMS-process can be used for manufacturing of sand-sodium-silicate molds and rods, weighing up to 6 kg, in single, small and small-scale castings production from ferrous and non-ferrous alloys.

Keywords: steam-microwave solidification, steam-microwave environment, sodium silicate solute, gas-generating ability, ultimate strength, crushability.

Солоненко Людмила Игоревна, доцент, кандидат технических наук, докторант кафедры литейного производства, Национальная металлургическая академия Украины (г. Днепр, Украина). ORCID ID: 0000-0003-2092-8044. E-mail: solonenkoli14@gmail.com.

Репях Сергей Иванович, старший исследователь, доктор технических наук, профессор кафедры

литейного производства, Национальная металлургическая академия Украины (г. Днепр, Украина). ORCID ID: 0000-0003-0203-4135. E-mail: 123rs@ua.fm.

Узлов Константин Иванович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины (г. Днепр, Украина). ORCID ID: 0000-0003-0744-9890. E-mail: konst.uzlov@gmail.com.

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ПО СПОСОБУ ПАРО-МИКРОВОЛНОВОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Цель – исследовать свойства песчано-жидкостекольных смесей, структурированные в паро-микроволновой среде (ПМО-процесс).

Методика. В исследованиях для сравнения свойств изготавливали стержни по CO_2 -процессу и по способу паро-микроволнового отверждения. Смеси изготавливали из кварцевого песка марки $1\text{K}_3\text{O}_3\text{O}16$ и натриевого жидкого стекла с удельной плотностью 1440 кг/м^3 и силикатным модулем $M_{\text{SiO}_2} = 2,93$. Предел прочности на сжатие полученных образцов определяли в соответствии с ГОСТ 23409.7-78, осыпаемость образцов – по ГОСТ 23409.9 и газотворную способность – по ГОСТ 23409.12-78.

Результаты. Изготовленные литейные формы и стержни по способу паро-микроволнового отверждения (ПМО-процесс) сразу после структурирования пригодны к использованию, поскольку обладают высокой прочностью, практически не содержат влаги и, соответственно, практически не газотворны, то есть не требуют последующей сушки. Способ ПМО благодаря возможности получать литейных форм и стержней из смесей с содержанием жидкого стекла от 0,5 до 1,5 % пригоден для изготовления в них отливок из стали, чугуна и цветных сплавов. Таким способом возможно изготавливать стержни и формы любой сложности, а их ограничения по массе и размерам будут обусловлены только грузоподъемностью и размерами рабочего пространства камеры используемой микроволновой (СВЧ) печи.

Научная новизна. Впервые установлены свойства песчано-жидкостекольных смесей, структурированные в паро-микроволновой среде (по ПМО-процессу), с использованием 1...3 % (по массе) высушенного пылевидного жидкого стекла в кварцевом песке, и кварцевого песка, плакированного 2...6 % жидкого стекла и высушенного до сыпучего состояния.

Практическая ценность. Структурирование по ПМО-процессу можно использовать для изготовления песчано-жидкостекольных форм и стержней массой до 6 кг при единичном, мало- и мелкосерийном производстве отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов.

Ключевые слова: паро-микроволновое отверждение, паро-микроволновая среда, жидкое стекло, газотворная способность, предел прочности, осыпаемость.

Рукопис надійшов 29.03.2021 р.