

Вимоїни на піщано-рідкоскляних формах та стрижнях, що структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі

Метою досліджень було з'ясування механізму виникнення дефекту вимоїна та шляхів попередження його виникнення на ливарних формах і стрижнях, що виготовляють шляхом паро-мікрохвильового затвердіння, з кварцового піску, який плаковано рідким склом.

В дослідженнях використовували кварцовий пісок марки $1K_1O_1O_2$, плакований натрієвим рідким склом, воду технічної чистоти, гіпс марки Г-22 та його суміші з певними технологічними добавками – $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$, $CoO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, CoO , Cr_2O_3 , SiC , B_4C .

Для виготовлення стрижнів використовували поліпропіленові стрижневі ящики. Зразки вкладених елементів до стрижневих ящиків виготовляли з чистого гіпсу, а також суміші гіпсу та 1 % (за масою) технологічної добавки. Для структурування сумішей у паро-мікрохвильовому середовищі використовували водяний заряд – пінополіуретанову губку, яку попередньо просочували 1 г води. Структурування ущільнених вібрацією сумішей проводили мікрохвильовим випромінюванням при потужності магнетрона 700 Вт и частоті випромінювання 2,45 ГГц впродовж 7–8 хвилин. Дефекти вимоїна на поверхнях стрижня спостерігали та оцінювали візуально.

Швидкість нагрівання гіпсових зразків $\varnothing 40 \times 70$ мм (гіпсові зразки структурували водою та проводили їх сушіння при 200 ± 5 °C упродовж 3 годин) мікрохвильовим випромінюванням розраховували за результатами вимірювання зміни їх температури за 2–3 хвилини їх нагрівання. Температуру зразків вимірювали хромель-алюмелевою термопарою в комплекті з електронним потенціометром. Час нагрівання фіксували секундоміром з точністю 1 с. Розроблено опис механізму та встановлено причини виникнення дефекту вимоїна на ливарних формах і стрижнях з піщано-рідкоскляних сумішей (кварцового піску, плакованого рідким склом), які структурують за способом паро-мікрохвильового затвердіння. Встановлено технологічні шляхи попередження виникнення дефекту вимоїна на ливарних формах і стрижнях, швидкість підвищення температури структурованого водою гіпсу та його сумішей з 1 % технологічної добавки.

Вперше досліджено та розроблено опис механізму утворення дефектів вимоїна. Визначено умови попередження їх виникнення на ливарних формах і стрижнях, що структуровані за способом паро-мікрохвильового затвердіння кварцового піску, плакованого рідким склом.

Отримані дані будуть корисні при виготовленні оснащення для ливарних форм та стрижнів, що структурують за способом паро-мікрохвильового затвердіння з водорозчинним сполучним матеріалом.

Ключові слова: паро-мікрохвильове затвердіння, вимоїна, дефект, форма, стрижень, піщано-рідкоскляна суміш.

Вступ. Велика розмаїтість способів формування, видів оснащення, складів формувальних і стрижневих сумішей (ФСС), умов виробництва литва і т. ін. зумовили і значну кількість різновидів дефектів як ливарних форм і стрижнів (ЛФС), так і виливків, що в них виготовляють. За даними [1], у виливках найбільш часто зустрічаються дефекти, виникнення яких зумовлено недостатньо високим рівнем властивостей ЛФС. До числа таких дефектів відносять засмічення (55–65 %), пригар і просічки (10–15 %), га-

рячі тріщини (15–20 %), газові раковини і порушення геометрії виливків (по 5 % кожного).

Засмічення зазвичай виникає внаслідок руйнування форми при протягуванні моделі, при складанні та транспортуванні ЛФС тощо [2]. Пригар – результат проникнення розплаву в поверхневі шари ЛФС, спікання ФСС теплотою виливка, проникнення оксидів розплаву в поверхневі шари ЛФС [3, 4].

Газові раковини – наслідок проникнення газу з ЛФС в незатверділий виливок, низької газопроник-

Технологічні добавки в гіпсових зразках

Зразок №	ТД	Назва ТД	ГОСТ, ТУ речовини – ТД
1	–	–	–
2	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$	Концентрат ільменіту	ТУ-У: 14-10-005-98
3	$\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Силіко-алюмінат кобальту	–
4	CoO	Оксид кобальту	ГОСТ 18671-73
5	Cr_2O_3	Оксид хрому	ГОСТ 2912-79
6	B_4C	Карбід бору	ГОСТ 5744-85
7	SiC	Карбід кремнію	ГОСТ 26327-84

ності ЛФС або високої газотвірної здатності сумішей ЛФС [5]. Порушення геометричних розмірів виливків переважно пов'язано з низькою міцністю ЛФС, а також з низькою точністю розмірів модельно-стрижневого оснащення, що використовується, [6] і т. д.

Крім дефектів, притаманних практично кожному способу структурування ЛФС, існують і їх специфічні види. Зокрема, на поверхні піщано-рідкоскляних ЛФС, структурованих шляхом паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ), час від часу виникають вимоїни. За зовнішнім виглядом вимоїни нагадують поглиблення від слідів крапель води, що виникли на поверхні ЛФС. Такі дефекти на ЛФС неприпустимі. До теперішнього часу механізм утворення таких дефектів не встановлено, не розроблені технологічні заходи щодо попередження появи даних дефектів на поверхнях ЛФС.

Поверхня виливка, по суті, є реплікою робочої поверхні ЛФС, з якою вона контактує. Тому, природно, що на виникнення поверхневих дефектів у виливках значно впливає як матеріал ЛФС, так і їх якість [7]. При цьому це стосується не тільки якості поверхні ЛФС, але і їх теплофізичних і технологічних параметрів [8, 9].

Виливкам, які отримують в сирих піщано-глинистих формах, притаманні такі дефекти, як засмічення, газові раковини, порушення геометричних розмірів тощо [10]. Для попередження виникнення даних дефектів з сирової піщано-глинистої суміші ЛФС сушать [11], але в разі пересушування ЛФС характеризуються підвищеною обсіпальністю і схильністю до розтріскування [12]. Виливкам, які отримують в піщано-рідкоскляних формах, притаманні такі дефекти, як пригар, газові раковини і засмічення. При цьому, частка тих чи інших дефектів поверхні виливків залежить від способу структурування піщано-рідкоскляної суміші (ПРС) [13]. Тобто, спосіб структурування формувальної і стрижневої суміші зумовлює можливість появи тих чи інших дефектів виливка.

Постановка задачі. Паро-мікрохвильове затвердіння (ПМЗ-процес) – спосіб структурування ЛФС, який на сьогоднішній день є відносно новим в ливарному виробництві [14]. На деяких ЛФС, які виготовляють за ПМЗ-процесом, виникає раніше невідомий дефект – вимоїна. У зв'язку з тим, що дефект вимоїна є неприпустимим поверхневим дефектом для ЛФС,

то робота, яка спрямована на з'ясування механізму виникнення дефекту вимоїна та шляхів попередження його виникнення, є актуальною.

Мета роботи і завдання досліджень. Мета роботи – з'ясування механізму виникнення дефекту вимоїна та шляхів попередження його виникнення на ЛФС, що виготовляють за ПМЗ-процесом, з кварцового піску, який плаковано рідким склом.

Завдання досліджень – розробити опис механізму виникнення дефекту вимоїна на ЛФС, що виготовляють за ПМЗ-процесом, та встановити шляхи попередження його виникнення.

Об'єкт і методика досліджень. Об'єкт досліджень – робоча поверхня ливарного стрижня, який структурували в паро-мікрохвильовому середовищі.

У дослідженнях використовували:

– кварцовий пісок марки $1\text{K}_1\text{O}_1\text{O}_2$ Вільногірського родовища, який плакували натрієвим рідким склом (РС) з величиною силікатного модуля 2,90–2,95 і питомою щільністю 1440–1450 $\text{кг}/\text{м}^3$; гіпс марки Г-22 (ДСТУ Б В.2.7-82-99).

Для виготовлення стрижнів використовували поліпропіленові стрижневі ящики. Зразки вкладених елементів до стрижневих ящиків виготовляли з чистого гіпсу, а також суміші гіпсу та 1 % (за масою) технологічної добавки (ТД), що надано в табл. 1 для відповідних зразків.

Перед використанням сухий плакований РС кварцовий пісок обробляли мікрохвильовим випромінюванням протягом 2–3 хвилин і впродовж години охолоджували на повітрі до 20–25 °С та просіювали через сито з розміром осередку 0,315 мм.

Схема розташування гіпсових вкладених елементів і водяного заряду (ВЗ) в поліпропіленовому стрижневому ящику під час структурування суміші представлено на рис. 1.

Для випробувань на дно поліпропіленового стрижневого ящика 1 (див. рис. 1) укладали пінополіуретанову губку, яку попередньо просочували 1 г води 4. Після цього, ящик на 0,20–0,25 його висоти наповнювали плакованим піском 2. На шар плакованого піску у ящику встановлювали вкладені гіпсові елементи 3 і до верху стрижневого ящика досипали пісок. Після цього пісок у стрижневому ящику упродовж 30–40 с ущільнювали вібрацією.

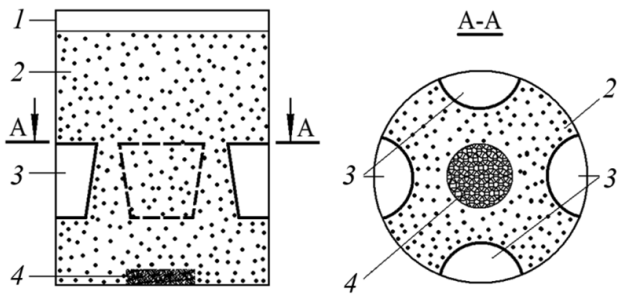


Рис. 1. Схема розташування гіпсових зразків і ВЗ в поліпропіленовому ящику: 1 – поліпропіленовий стрижневий ящик; 2 – плакований кварцовий пісок; 3 – гіпсові вкладені елементи; 4 – ВЗ

Для структурування наповнений стрижневий ящик встановлювали в резонатор мікрохвильової печі, де впродовж 7–8 хвилин обробляли мікрохвильовим випромінюванням при потужності магнетрона 700 Вт і частоті випромінювання 2,45 ГГц. Дефекти вимоїна на поверхнях стрижня спостерігали та оцінювали візуально.

Швидкість нагрівання гіпсових зразків $\varnothing 40 \times 70$ мм мікрохвильовим випромінюванням розраховували за

результатами вимірювання зміни їх температури за 2–3 хвилини їх нагрівання. Температуру вимірювали в центрі зразків за допомогою хромель-алюмелевої термопари в комплекті з електронним потенціометром з точністю 1°C . Час нагрівання фіксували за допомогою секундоміру з точністю 1 с.

Результати досліджень. Поверхневий дефект вимоїна виникає на поверхні піщано-рідкоскляних ЛФС, які структурують виключно за ПМЗ-процесом, та має вигляд, який представлено на рис. 2.

На рис. 2, а представлено поверхню структурованого стрижня через прозору стінку поліпропіленового стрижневого ящика. На внутрішній поверхні стіни ящика (див. рис. 2, а) спостерігаються краплі конденсованої води 1, а також дефекти вимоїна 2. На рис. 2, б, в при збільшенні $\times 2$ і $\times 5$ відповідно показано дефект вимоїна, який являє собою поглиблення в структурованій суміші в місцях конденсації води на стінах стрижневого ящика.

Для визначення впливу явища змочування поверхні модельно-стрижневого оснащення водою на можливість появи на поверхні ЛФС вимоїн в поліпропіленовому стрижневому ящику встановлювали гіпсові вкладені елементи. При цьому, гіпсові елементи,

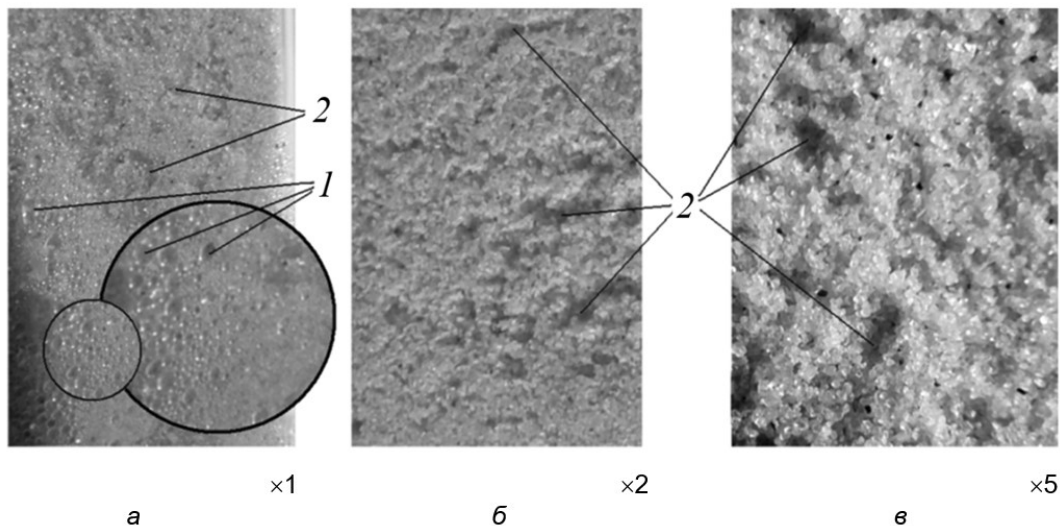


Рис. 2. Вигляд поверхні стрижня через стінку поліпропіленового стрижневого ящика (а); вид поверхні стрижня після його вилучення з ящика (б); дефект поверхні вимоїна (в): 1 – краплі конденсованої води на внутрішній поверхні поліпропіленового ящика; 2 – дефект вимоїна

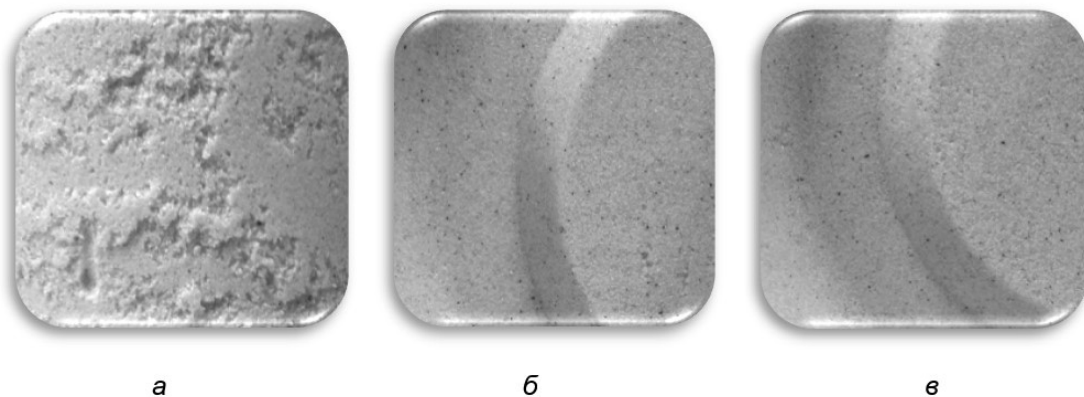


Рис. 3. Вид поверхні стрижня з боку поліпропіленової стіни (а); гіпсового закладеного елемента (б) і гіпсового закладеного елемента, поверхня якого попередньо була просочена силіконовим маслом (в)

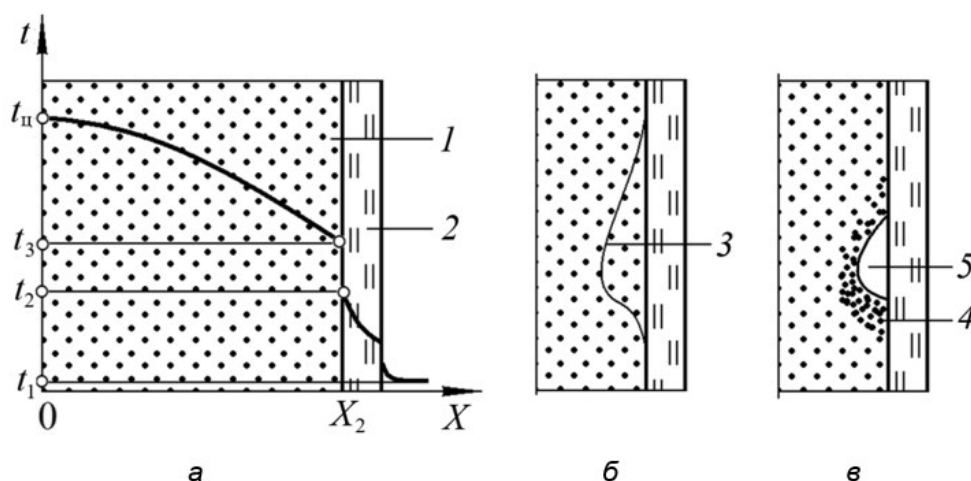


Рис. 4. Спрощена схема етапів виникнення дефекту вимоїна: 1 – структурована суміш; 2 – стіна стрижневого ящика; 3 – межа області суміші, яка просочена конденсатом; 4 – локально ущільнена суміш; 5 – вимоїна

в одному випадку, залишали без будь-якого покриття їх поверхонь, в іншому – поверхні просочували поліметилсилоксановою рідиною (силіконовим маслом), що надавало їм водовідштовхувальні властивості.

У дослідженнях використовували кварцовий пісок, попередньо плакований 1,5 % (за масою) РС. Структурування піску проводили протягом 7 хвилин при використанні ВЗ масою 1 г. Вид поверхні стрижня з боку поліпропіленової стіни стрижневого ящика і гіпсових закладених в нього елементів представлено на рис. 3.

Аналіз зображень на рис. 3 показує, що на відміну від поліпропіленової стіни, на гіпсових закладених елементах незалежно від їх просочення силіконовим маслом вимоїни не виникли. Тобто, конденсат на гіпсових поверхнях не утворювався і, відповідно, не поглинався гіпсом. Цей результат є основою для відхилення гіпотези про вирішальне значення поглинання гіпсом конденсату, що виникає на його поверхні під час структурування сумішей за ПМЗ-процесом і стає причиною виникнення вимоїн.

Суттєвою відмінністю гіпсу від поліпропілену та кварцового піску є його більш висока діелектрична проникність. Ця обставина під час мікрохвильової обробки приводить до того, що гіпс гріється швидше ніж поліпропілен та пісок. У свою чергу кварцовий пісок нагрівався швидше за поліпропілен, що, вірогідно, і призводить до виникнення вимоїн на поверхні стрижнів, які контактують з поліпропіленовою стіною та попередило виникнення вимоїн на поверхнях стрижня, що контактують з гіпсом.

Виходячи з цього, механізм виникнення дефекту вимоїна за викладеними вище результатами досліджень та прийнятими припущеннями можливо представити у вигляді етапів, спрощену схему яких наведено на рис. 4.

Відповідно до рис. 4, дефект вимоїна 5 з'являється під час структурування суміші 1, коли в суміші збігаються вектори градієнта температури і концентрації вологи (водяної пари), що є особливістю мікрохвильового сушіння будь-якого капілярно-пористого середовища. Це призводить не тільки до того, що температура суміші в центрі стрижня ($t_{\text{ц}}$) стає вище за

температуру суміші, що контактує з стінами стрижневого ящика (t_3), але і до переміщення вологи з центру суміші (стрижня) до стін стрижневого ящика (див. рис. 4, а, напрямком $0-X_2$). У зв'язку з тим, що стіни стрижневого ящика 2 нагріваються повільніше, чим прилеглий до них пісок, на поверхні контакту стін ящика з піском з'являється конденсат 3. З появою конденсату проходить розчинення в краплях води дегідратованого РС суміші (див. рис. 4, б). За результатом цього, на локальних ділянках в манжетах суміші дегідратоване РС насичується водою 3 (гідратується). За рахунок переходу РС в рідкий стан, суміш 4 в поверхневому шарі набуває певної плинності та, ущільнюючись під власною вагою та капілярною силою, «сповзає» по похилих і вертикальних стінах оснащення, що призводить до утворення на поверхні стрижня (ливарної форми) раковин 5 – вимоїн (див. рис. 4, в).

Отже, припустили, що у попередніх експериментах відносно висока швидкість нагрівання гіпсу мікрохвильовим випромінюванням приводила до того, що прилеглий до гіпсових закладених елементів плакований пісок нагрівався до температур, при яких точка роси під час структурування суміші перебувала не на поверхні чи в глибині гіпсових закладених елементів, а під поверхневим шаром суміші стрижня.

Виходячи з цього, для попередження виникнення вимоїн необхідно структурування сумішей за ПМЗ-процесом проводити в оснащенні, у якому конденсація вологи на його робочих поверхнях не буде відбуватися. Це можливо, якщо під час структурування суміші температура робочих поверхонь оснащення буде завжди більше точки роси водяної пари, яка утворюється з ВЗ.

Припустимо, що тиск водяної пари повітря в капілярних каналах структурованої ПРС у внутрішній поверхні стрижневого ящика при температурі t дорівнює:

$$p_1 = w \cdot p_{01}, \quad (1)$$

де p_{01} – тиск насиченої водяної пари при температурі t_3 (див. рис. 4, а); w – відносна вологість повітря у

внутрішній поверхні стін стрижневого ящика, при температурі t_3 .

Конденсації водяної пари на внутрішній поверхні стін стрижневого ящика не буде якщо:

$$p_1 < p_{02}, \quad (2)$$

де p_{02} – тиск насиченої водяної пари при температурі t_2 (див. рис. 4, а).

Тобто, прийнявши, що внутрішня поверхня стрижневого ящика буде залишатися сухою при:

$$p_1 = p_{02}, \quad (3)$$

або:

$$p_{02} = w \cdot p_{01}, \quad (4)$$

і оскільки $p_{01} = f(t)$ табульовано [15], то, використовуючи наближену формулу, яку отримали за результатом обробки даних:

$$p_{01} = 0,71 + 124,56 \cdot 10^{-4} \cdot t + 37,15 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 34,55 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 96,67 \cdot 10^{-8} \cdot t^4, \quad (5)$$

і формулу (4), знаходимо, що:

$$\Delta t = t_3 - t_2 = t - 80 \cdot (w \cdot p_{01})^{0,17} - 74. \quad (6)$$

За формулами (5) і (6) побудували номограму для визначення різниці між температурою повітря і точкою роси (Δt) від температури і відносної вологості повітря, яку представлено на рис. 5.

З аналізу номограми на рис. 5 впливає, що для попередження виникнення вимоїн на ЛФС з ПРС, що структурують за ПМЗ-процесом, нагрівання оснащення повинно проходити швидше нагрівання самої суміші. Іншим варіантом рішення такої задачі є проведення ПМЗ-процесу в оснащенні, у якого б від самого початку температура перевищувала б початкову температуру суміші і була вище температури точки роси при відносній вологості повітря 100 %, тобто вище 100 °С.

В роботі [16] для виготовлення модельно-стрижневого оснащення для ПМЗ-процесу рекомендовано використовувати гіпс марки Г22. Виходячи з того, що використання модельно-стрижневого оснащення з початковою температурою вище 100 °С небезпечно для працівників, з метою забезпечення підвищеної швидкості нагрівання оснащення під дією мікрохвильового випромінювання встановили швидкість нагрівання чистого гіпсу і його сумішей з ТД. Результати цих досліджень представлені в табл. 2.

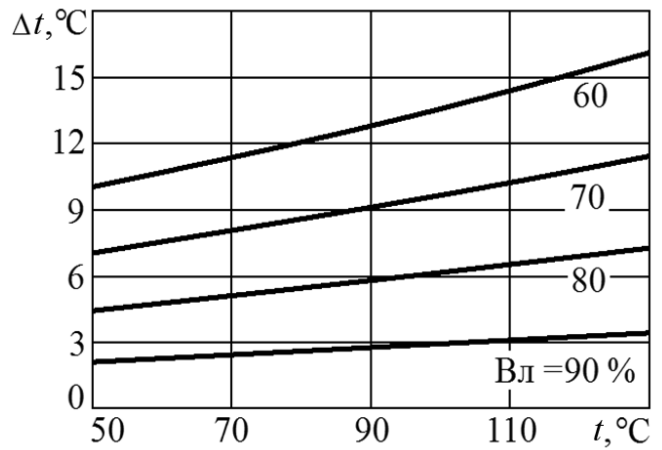


Рис. 5. Номограма для визначення різниці між температурою повітря і точкою роси від температури і відносної вологості повітря

З аналізу даних табл. 2 випливає, що повільніше гріється чистий гіпс (7,4 °С/хв), а найшвидше – гіпс з додаванням 1 % карбіду кремнію (25,2 °С/хв). З роботи [16] відомо, що швидкість нагрівання ПРС при обробці мікрохвильовим випромінюванням залежно від маси ЛФС становить від 6 до 10 °С/хв. Тобто, з отриманих даних випливає, що залежно від маси суміші, що структурують, розмірів оснащення, що використовують, потужності мікрохвильового випромінювання з метою попередження виникнення на формах та стрижнях вимоїн, структурування їх сумішей за ПМЗ-процесом доцільно проводити в оснащенні, яке виготовлено з чистого гіпсу Г22 або гіпсу Г22 з додаванням в нього відповідної кількості ТД.

Про це також свідчить вид поверхонь стрижня, виготовленого в контакт з поліпропіленою стіною, з стіною з гіпсу без ТД і гіпсу з ТД, які представлено на рис. 6.

З аналізу зображень на рис. 6 випливає, що на поверхні стрижня, яка контактувала з поліпропіленою стіною, спостерігаються вимоїни різної глибини та розмірів в плані (див. рис. 6, а). У той же час на поверхнях стрижня, які були структуровані в контакт з закладеними елементами (див. рис. 6, б–д), цей дефект відсутній.

Обговорення результатів. Вимоїна – поверхневий дефект ЛФС, притаманний для структурування ПРС за ПМЗ-процесом при використанні оснащення, матеріал якого має більш низьку діелектричну проникність, ніж матеріал формувальної або стрижневої суміші. Рушійною силою цього явища є конденсація водяної пари на робочих поверхнях оснащення, яка призводить до гідратації РС в манжетах структурованої суміші та локальних переміщень її матеріалу (піщинок) в поверхневих шарах ЛФС.

Таблиця 2

Швидкість підвищення температури (V) зразків з гіпсу марки Г-22 під дією мікрохвильового випромінювання

Зразок № (див. табл. 1)	1	2	3	4	5	6	7
V, °C/хв	7,4	9,0	9,2	9,5	13,6	14,0	25,2

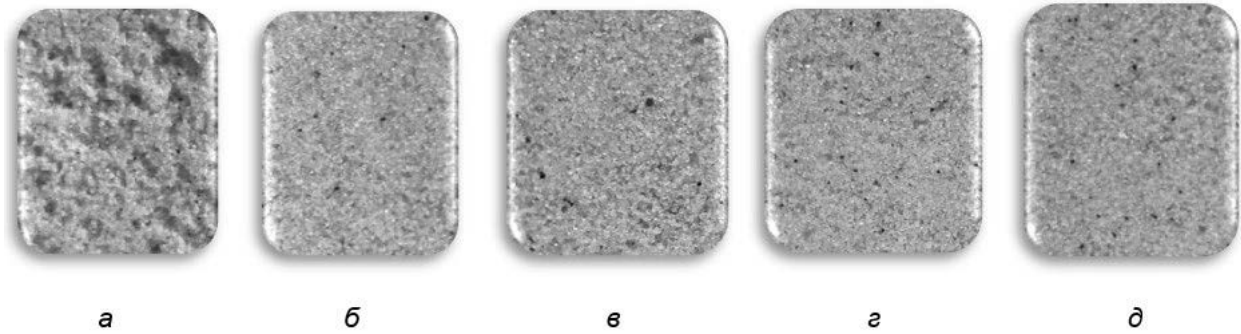


Рис. 6. Вид поверхні стрижня ($\times 1,5$), яка під час структурування контактувала з поліпропіленою стіною (а); зі стіною з чистого гіпсу (б); гіпсу з 1 % CoO (в); гіпсу з 1 % Cr_2O_3 (г); гіпсу з 1 % B_4C (д)

На відміну від поліпропілену, гіпс Г22 та його суміші з ТД більш придатні для виготовлення модельного стрижневого оснащення з точки зору попередження виникнення поверхневих дефектів вимоїна на ЛФС. Це пояснюється тим, що діелектрична проникність поліпропілену та, відповідно, і швидкість нагрівання мікрохвильовим випромінюванням, значно нижче, ніж гіпсу Г22. При цьому використання оснащення з гіпсу Г22 та його сумішей з ТД попереджає виникнення таких дефектів незалежно від того змочує чи не змочує вода їх поверхні.

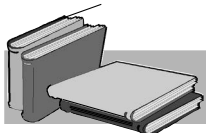
Основним показником попередження виникнення дефектів вимоїна є температура робочої поверхні оснащення, що використовують для структурування ПРС за ПМЗ-процесом. При цьому температура такого оснащення повинна бути більше точки роси за весь час структурування суміші в ній.

Висновки і перспективи досліджень

Поверхневий дефект вимоїна на ЛФС з рідко-скляних сумішей виникає під час їх структурування за ПМЗ-процесом і є наслідком конденсації водяної пари з ВЗ на «холодних» робочих поверхнях модельного-стрижневого оснащення.

Для попередження виникнення вимоїн на ЛФС, що структурують за ПМЗ-процесом, під час структурування необхідно забезпечити швидкість нагрівання оснащення мікрохвильовим випромінюванням більшу, ніж швидкість нагрівання суміші. Це можливо досягти, наприклад, використанням оснащення, яке виготовлено з гіпсу марки Г22 або суміші гіпсу марки Г22 та відповідних ТД.

Отримані дані будуть корисні при виготовленні оснащення для ЛФС, що структурують за способом паро-мікрохвильового затвердіння з водорозчинним сполучним матеріалом.

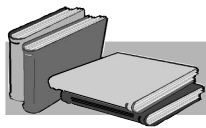


ЛІТЕРАТУРА

1. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные смеси с заданными свойствами. Ленинград: Машиностроение, 1982. 216 с.
2. Чуркин Б.С. Теория литейных процессов: учебник. Екатеринбург: РГППУ, 2006. 453 с.
3. Василевский П.Ф. Технология стального литья. Москва: Машиностроение, 1974. 408 с.
4. Дорошенко С.П., Дробязко В.Н., Ващенко К.И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. Москва: Машиностроение, 1978. 206 с.
5. Медведев Я.И. Газовые процессы в литейной форме. Москва: Машиностроение, 1980. 200 с.
6. Одерченко И.Б., Прусенко И.Н. Механизмы формирования поверхности отливок в зоне контакта металл-литейный стержень. *Литье и металлургия*. 2016. № 4. С. 32–37.
7. Берг П.П. Формовочные материалы. Москва: Машиностроение, 1979. 210 с.
8. Илларионов И.Е. Теоретические основы формирования физико-механических свойств песчано-глинистых смесей. *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2011. № 1. С. 233.
9. Мамишев В.А., Шинский О.И., Соколовская Л.А. Теплофизические аспекты интенсификации затвердевания отливок из стали и чугуна в форме из кварцевого песка. Сообщение 3. *Металл и литье Украины*. 2015. № 3. С. 33–36.
10. Мамишев В.А., Шинский О.И., Соколовская Л.А. Проблемные аспекты совершенствования технологии получения отливок в формах из кварцевого песка. Сообщение 6. *Металл и литье Украины*. 2016. № 5. С. 28–34.
11. Рыжиков А.А. Технологические основы литейного производства. Москва: МАШГИЗ, 1962. 527 с.
12. Озеров В.А. Автоматизация производства отливок в песчаных формах. Москва: Высшая школа, 1988. 80 с.
13. Крутилин А.Н., Гуминский Ю.Ю., Русевич О.А. Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Обзорная информация. Ч. 1. Модифицирование. *Литье и металлургия*. 2018. № 1. С. 47–53.
14. Пат. 122538 Україна, МПК В22С 9/12, В22С 9/10, № а201901350. Спосіб виготовлення ливарних форм і стрижнів з рідкоскляної суміші / Солоненко Л.І., Реп'ях С.І.; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.11.2020. Бюл. № 22. 7 с.

15. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. Москва: Издательство МЭИ, 1999. 168 с.
16. Solonenko L.I., Bilyi O.P., Repiakh S.I., Kimstach T.V., Uzlov K.I. Heating rate of granular inorganic materials by microwave radiation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 2. P. 37–41. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/037>

Надійшла 05.09.2021



REFERENCES

- Brechko, A.A., Velikanov, G.F. (1982). Molding mixtures with specified properties. Leningrad: Mashinostroenie, 216 p. [in Russian].
- Churkin, B.S. (2006). The theory of casting processes: textbook. Yekaterinburg: RGPPU, 453 p. [in Russian].
- Vasilevsky, P.F. (1974). Steel casting technology. Moscow: Mashinostroenie, 408 p. [in Russian].
- Doroshenko, S.P., Drobyazko, V.N., Vashchenko, K.I. (1978). Obtaining non-burn-in castings in sand molds. Moscow: Mashinostroenie, 206 p. [in Russian].
- Medvedev, Ya.I. (1980). Gas processes in a casting mold. Moscow: Mashinostroenie, 200 p. [in Russian].
- Oderchenko, I.B., Prusenko, I.N. (2016). Mechanisms for the formation of the surface of castings in the contact zone of the metal-casting core. *Casting and metallurgy*, no. 4, pp. 32–37 [in Russian].
- Berg, P.P. (1979). Molding materials. Moscow: Mashinostroenie, 210 p. [in Russian].
- Illarionov, I.E. (2011). Theoretical foundations of the formation of physical and mechanical properties of sandy-clay mixtures. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, no. 1, p. 233 [in Russian].
- Mamishev, V.A., Shinskiy, O.I., Sokolovska, L.A. (2015). Thermophysical aspects of intensification for solidification of steel and cast iron castings in siliceous sand moulds. Announcement 3. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 3, pp. 33–36 [in Russian].
- Mamishev, V.A., Shinskij, O.I., Sokolovska, L.A. (2016). The problem aspects of improving technology of making castings in the moulds from quartz sand. Report 6. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 5, pp. 28–34 [in Russian].
- Ryzhikov, A.A. (1962). Foundry technology. Moscow: MASHGIZ, 527 p. [in Russian].
- Ozerov, V.A. (1988). Automation of production of sand castings. Moscow: Vysshaya shkola, 80 p. [in Russian].
- Krutilin, A.N., Guminsky, Yu.Yu., Rusevich, O.A. (2018). Improving the efficiency of using liquid glass mixtures. Survey information. Part 1. Modification. *Casting and metallurgy*, no. 1, pp. 47–53 [in Russian].
- Pat. 122538 Ukraine, IPC B22C 9/12, B22C 9/10, no. a201901350. A method of manufacturing molds and rods from a liquid glass mixture, Solonenko L.I., Repiakh, S.I.; decl. 02.11.2019; publ. 25.11.2020, Bul. no. 22, 7 p. [in Ukrainian].
- Alexandrov, A.A., Grigoriev, B.A. (1999). Tables of thermophysical properties of water and steam. Moscow: MEI Publishing House, 168 p. [in Russian].
- Solonenko, L.I., Bilyi, O.P., Repiakh, S.I., Kimstach, T.V., Uzlov, K.I. (2020). Heating rate of granular inorganic materials by microwave radiation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 2, pp. 37–41, doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/037>

Received 05.09.2021

Summary

L.I. Solonenko, PhD (Engin.), Associate Professor, Doctoral Student at the Department of Casting Production, e-mail: solonenkoli14@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2092-8044>

National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Leakages on sand-sodium-silicate molds and cores structured by steam-microwave solidification

The purpose of the research was to elucidate the leakage defect occurrence mechanism and ways to prevent its occurrence on foundry molds and cores made by steam-microwave solidification from quartz sand clad with sodium silicate solute. The studies used quartz sand grade 1K₁O₂, clad with liquid sodium glass, water of technical purity, gypsum grade G-22 and its mixtures with certain technological additives – Fe₂O₃·TiO₂, CoO·Al₂O₃·2SiO₂, CoO, Cr₂O₃, SiC, B₄C. For cores manufacturing polypropylene core boxes have been used. Specimens of nested elements in core boxes have been made from pure gypsum, as well as from gypsum mixture with 1 % (by mass) of technological additive. For mixtures in steam-microwave environment structuring, water charge has been used – polyurethane sponge previously impregnated with 1 g of

water. Vibration-compacted mixtures structuring has been performed by microwave radiation at magnetron power of 700 W and radiation frequency of 2,45 GHz for 7–8 minutes. Leakage defects on cores surfaces have been observed and evaluated visually.

Gypsum samples Ø 40×70 mm (gypsum samples have been structured with water and dried at 200 ± 5 °C for 3 hours) heating rate by microwave radiation has been calculated from their temperature changing measurement in 2–3 minutes of their heating. Samples temperature has been measured with chromel-alumel thermocouple completed with electronic potentiometer. Heating time has been recorded with stopwatch with an accuracy of 1 s.

Mechanism description has been elaborated and causes of leakage defects on foundry molds and cores from sand-sodium-silicate mixtures (quartz sand clad with sodium silicate solute) structured by steam-microwave solidification method appearance have been established. Leakage defects occurrence on foundry molds and cores technological ways of prevention, water-structured gypsum and its mixtures with technological additives of 1 % temperature rising rate have been established. For the first time leakage defects formation mechanism has been investigated and its description has been developed. Their occurrence prevention conditions on foundry molds and cores from quartz sand clad with sodium silicate solute structured by steam-microwave solidification method have been defined.

Obtained data will be useful for molds and cores rigging manufacturing, which have been structured by steam-microwave solidification method with water-soluble binder.

Keywords

Steam-microwave solidification, leakage, defect, mold, core, sand-sodium-silicate mixture.