

УДК 621.742.486

<https://doi.org/10.34185/tpm.2.2021.05>

Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Білий О.П., Усенко Р.В.

Вибиваємість з виливків піщано-рідкоскляних стрижнів, що структуровані паро-мікрохвильовим затвердінням

Solonenko L.I., Repiakh S.I., Uzlov K.I., Bilyi O.P., Usenko R.V.

Sand-sodium-silicate rods structured by steam-microwave solidification knockout from castings

Мета досліджень – встановити вплив температури попереднього нагрівання та вмісту рідкого скла в піщано-рідкоскляних сумішах, що структуровані за ПМЗ-процесом на роботу їх руйнування під дією ударного навантаження.

Методика. У роботі використовували кварцовий пісок марки $1K_2O_2O_2$, воду, натрієве рідке скло з питомою щільністю $1,42...1,44 \text{ г/см}^3$ і силікатним модулем $2,8...3,0$. Структурування сумішей проводили в мікрохвильовій печі з випромінюванням частотою $2,45 \text{ ГГц}$ і потужністю магнетрона $0,9 \text{ кВт}$. Термічну обробку зразків проводили в лабораторній печі опору в інтервалі температур від 100 до $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ з ізотермічною витримкою зразка при заданій температурі впродовж $45...50 \text{ хв}$. Роботу вибивання зразків розраховували за методикою ЦНДІТМАШ. Руйнування зразків структурованих сумішей за ПМЗ-процесом проводили на лабораторному коп-рі марки 5033А. Структуру зразків досліджували на оптичному мікроскопі при збільшенні $\times 100$.

Результати. Зі збільшенням температури попереднього нагріву робота вибивання піщано-рідкоскляних сумішей структурованих в паро-мікрохвильовій середовищі за способом ПМЗ, що містять від $0,5$ до $2,5 \%$ рідкого скла з модулем $2,8...3,0$ знижується за експонентною залежністю і при температурі попереднього нагріву від 800 до $1100 \text{ }^\circ\text{C}$, практично, стає рівною нулю. Робота вибивання сумішей, попередньо нагрітих до $600 \text{ }^\circ\text{C}$, не перевищує 20 Дж . З цього випливає, що такі стрижні або їх окремі частини можуть бути видалені з виливків ударно-вібраційним способом навіть із сплавів на основі міді та алюмінію. Вибивання стрижнів або їх частин, у яких після контакту з залитим в ливарну форму розплавом температура не перевищила $600 \text{ }^\circ\text{C}$, рекомендовано здійснювати шляхом занурення вилітків в воду.

Наукова новизна. Структурування формувальних і стрижневих сумішей в паро-мікрохвильовому середовищі вирішує проблему вибивання піщано-рідкоскляних сумішей, що містять рідкого скла до $2,5\%$, з виливків з більшості ливарних сплавів, що використовують в промисловості.

Практична значущість. Результати досліджень будуть корисні при розробці технологій та обладнання, призначених для видалення піщано-рідкоскляних стрижнів та форм, що структуровані за ПМЗ-процесом.

Ключові слова: робота вибивання, піщано-рідкоскляна суміш, паро-мікрохвильове затвердіння, рідке скло, силікат натрію, стрижень, ливарна форма.

Purpose. Influence of preheating temperature and sodium silicate solute content in sand-sodium-silicate mixtures structured by SMS-process on their destruction work under knock loading action has been established.

Methodology. Quartz sand brand $1K_2O_2O_2$, water, sodium silicate solute with specific gravity of $1.42...1.44 \text{ g/cm}^3$ and silicate modulus of $2.8...3.0$ have been used in this work. Mixtures structuring has been realized in microwave furnace with frequency of 2.45 GHz and magnetron power of 0.9 kW . Samples heat treatment has been performed in laboratory resistance furnace in temperature range from 100 to $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ with sample isothermal tempering at fixed temperature for $45...50$ minutes. Samples knockout work has been calculated according to CNIITMASH method. Samples of structured by SMS-process mixtures destruction has been performed on laboratory impact machine brand 5033A. Samples structure has been examined on optical microscope at 100 -times magnification.

Results. With preheating temperature increasing sand-sodium-silicate mixtures structured in steam-microwave environment by SMS-method, containing from 0.5 to 2.5% sodium silicate solute with modulus of $2.8...3.0$, knockout work decreases exponentially. At preheating temperature from 800 to $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ it becomes practically zero. Mixtures, preheated to $600 \text{ }^\circ\text{C}$, knockout work does not exceed 20 J . It follows that such rods or their individual parts can be removed from castings by shock-vibration method, even from copper and aluminum based alloys. Knockout the rods or their parts, in which after contact with poured into mold melt temperature did not exceed $600 \text{ }^\circ\text{C}$, has been recommended to carry out by castings immersing in water.

Scientific originality. Mold and core mixtures structuring in steam-microwave environment solves the problem of sand-sodium-silicate mixtures, containing sodium silicate solute up to 2.5% , knockout from castings for most foundry alloys used in industry.

Practical value. Investigation results will be useful for removal of sand-sodium-silicate rods and molds, structured by the SMS-process, technologies and equipment development.

Keywords: knockout work, sand-sodium-silicate mixture, steam-microwave solidification, sodium silicate solute, sodium silicate, rod, casting mold.

Вступ. На сьогодні з числа екологічно безпечних сполучних матеріалів з великотоннажним характером їх виробництва, що використовують для виготовлення ливарних форм та стрижнів (ЛФС) є

натрієве рідке скло (РС). Тим не менш, відсутність комплексного вирішення питань вибиваємість піщано-рідкоскляних сумішей (ПРС) з виливків, недостатність технологічності структурованих ПРС,

Солоненко Людмила Ігорівна – к.т.н., доц. НМетАУ
Реп'ях Сергій Іванович – д.т.н., НМетАУ
Узлов Костянтин Іванович – д.т.н., проф. НМетАУ
Білий Олександр Петрович – к.т.н., доц. НМетАУ
Усенко Руслан Вікторович – к.т.н., доц. НМетАУ

Solonenko Lydmila – c.t.s. NmetAU
Repiakh Serhii – d.t.s. NmetAU
Uzlov Kostiantyn – d.t.s. NmetAU
Bilyi Oleksandr – c.t.s. NmetAU
Usenko Ruslan – c.t.s. NmetAU

невирішеність задач їх утилізації та суттєвого зниження енергоємності і водозатратності процесу регенерації їх кварцового піску стримує поширення РС в цьому напрямку.

Рідке скло – розчинна у воді хімічно метастабільна система $m\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, яка, як правило, в ливарних технологіях твердіє за результатом:

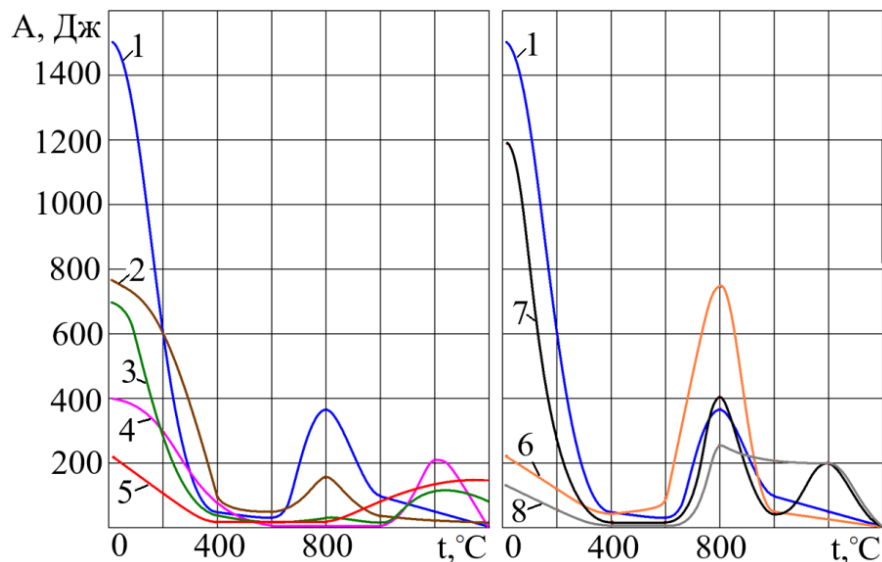
- підвищення його силікатного модуля шляхом проведення хімічних реакцій гідроокису натрію від РС з будь-яким газоподібним (CO_2 , SO_2), рідкими (ацетат етиленгліколю і т.п.) або твердим (речовини, що містять оксид кальцію або магнію) хімічним реагентом;

- дегідратації (сушіння на повітря, радіацією, конвекцією або комбінованими способами).

З точки зору регенерації або утилізації напрямок структуривання ПРС за рахунок проходження хімічних реакцій не є перспективним. Причина цього полягає в тому, що в результаті такого способу затвердіння в сумішах виникають нові хімічні речовини нерозчинні у воді. В результаті цього значно зростають витрати не тільки на процес регенерації кварцового піску сумішей, але і на їх утилізацію.

Теплова обробка з підводом тепла ззовні (конвективна, радіаційна або комбінована) дозволяє отримувати ЛФС з ПРС з достатньо високим рівнем властивостей, екологічної безпеки і санітарно-гігієнічних умов виробництва. Для підвищення міцності та технологічних властивостей ЛФС в ПРС додають їдкий натр і прожарену каолінову глину, гідролізу смолу, розчин полістиролу в толуолі [1...3], для поліпшення вибивання і збільшення міцності в якості додаткового компонента вводять відхід целюлозно-паперового виробництва [4, 5], для поліпшення вибивання та підвищення газопроникності в суміш додають гранульоване деревне волокно, розпушений папір спільно з їдким натром [6, 7] і т.п.

Використання таких технологічних добавок (ТД) є достатньо ефективним вирішення проблеми по зниженню роботи вибивання стрижнів з виливків. Про це, наприклад, свідчать залежності роботи вибивання ПРС висушених при $200\text{ }^\circ\text{C}$ з різними ТД від температури їх попереднього нагріву, що надано на рис. 1 та побудованих за даними роботи [8].



- 1 – ПРС без ТД; 2 – ПРС з 7 % шамоту; 3 – ПРС з 1,1 % крейди;
4 – ПРС з 3 % глини; 5 – ПРС з 0,5 % MgO ; 6 – ПРС з мочевиною;
7 – ПРС з 2 % розчину бітуму в уайт-спіриті; 8 – ПРС з 2 % деревної муки [8]

Рисунок 1–Залежність роботи вибивання ПРС з 5% РС і 1% NaOH , висушених при $200\text{ }^\circ\text{C}$, від температури попереднього нагрівання і виду ТД

Аналіз ходу залежностей на рис. 1 показує, що використання ТД дозволяє вирішити проблему зменшення роботи вибивання ПРС. При цьому, застосування ТД повинно носити адресний характер, оскільки збільшення роботи вибивання при нагріванні ПРС при температурах понад $600\text{ }^\circ\text{C}$ для ряду ТД часто є неприпустимим при литті виливків з певних сплавів і товщиною стінок. Крім цього, не зрозуміле значне зменшення роботи вибивання ПРС при їх повторному (після сушіння при $200\text{ }^\circ\text{C}$) нагріванні до $200\text{ }^\circ\text{C}$.

Ускладнена вибиваємість з виливків стрижнів з ПРС – одна з проблем формоутворення, якій присвячено значне число публікацій і винаходів [9...11 і ін.]. Ускладнена вибиваємість (висока робота руйнування) ПРС зумовлена розплавленням при $800\text{...}900\text{ }^\circ\text{C}$ дегідратованого силікату натрію в суміші від РС за рахунок теплоти залитого в форму розплаву [10]. Перехід силікату натрію під дією температури в рідкий стан, в свою чергу, призводить до часткового розчинення в ньому поверхневого шару зерен кварцового піску. В кінцевому рахунку

це не тільки підвищує адгезійну складову міцності манжет з силікату натрію до частинок кварцового піску в ПРС, але і сприяє появі шару осклованої маси на поверхні вилівка, яка на відмінність від використаного в ПРС силікату натрію відрізняється хімічним складом, підвищеним силікатним модулем та, відповідно, фізичними властивостями.

Зменшення кількості РС в ПРС до 3% значно знижує товщину такого осклованого шару і, практично, вирішує проблему вибиваємості структурованих ПРС з виливків [12]. Однак зі зниженням вмісту РС зменшується і міцність ПРС, що негативно позначається як на механічних, технологічних та експлуатаційних властивостях ЛФС, так і на якості виливків.

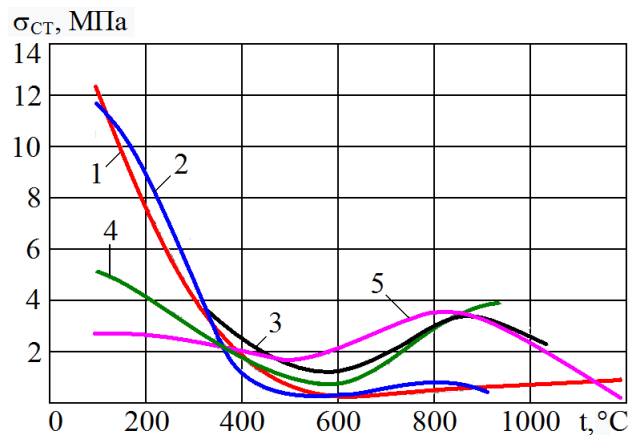
Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Одним зі шляхів вирішення проблеми вибиваємості ПРС є їх дегідратація в полі мікрохвильового випромінювання з одночасним зниженням вмісту РС до 1,5...3,5% (за масою) та підвищенням первинної міцності за рахунок змочування кварцового піску 0,5% води перед введенням в нього РС при приготуванні ПРС [13...15].

При цьому, за даними [16], міцність ПРС, які структуровані мікрохвильовим випромінюванням залежить від кількості РС в суміші і потужності мікрохвильового випромінювання. Зокрема, зі зни-

женням вмісту РС в ПРС від 5,0% до 1,5% межа міцності ПРС, що структурована за результатом сушки мікрохвильовим випромінюванням, при розтягуванні знижується з 3,5...3,0 МПа до 1,0 МПа. При цьому ПРС з вмістом 1,5% РС незалежно від потужності мікрохвильового випромінювання характеризується стабільною величиною міцності при розтягуванні і дорівнює 1 МПа.

Автори [16] зазначають, що зі збільшенням вмісту РС в ПРС (більше 1,5%) необхідно підвищити потужність мікрохвильового випромінювання з 270 Вт до мінімум 450 Вт. В іншому випадку такі ПРС не структуруються. Найбільшу міцність ПРС набуває після сушки в мікрохвильовому полі потужністю від 450 Вт до 630 Вт при кількості в суміші РС менш 3,5%. Найбільш стабільною міцністю характеризуються ПРС з вмістом РС від 1,5% до 2,5%.

Відмінною рисою ПРС, структурованих мікрохвильовим випромінюванням, від загальноприйнятих в ливарних цехах способів затвердіння РС в ПРС є низька робота вибивання після їх попереднього нагрівання більше 500 °С, про що, зокрема, свідчать залежності залишкової міцності ПРС на стиск при кімнатній температурі від температури їх попереднього нагріву, представлені на рис. 2.



1 – сушка в мікрохвильовому випромінюванні (вміст РС 2,5% з силікатним модулем 2,50); 2 – сушка в мікрохвильовому випромінюванні (вміст РС 3,0% з силікатним модулем 2,75); 3 – затвердіння РС під дією рідкого ефіру Flodur 1 (вміст РС 2,5% з силікатним модулем 2,00); 4 – затвердіння РС, модифіковано рідким ефіром Flodur 1 (вміст РС 2,5% з силікатним модулем 2,04); 5 – затвердіння РС під дією вуглекислого газу (CO₂-процес).

Рисунок 2–Вплив температури попереднього нагріву ПРС на їх залишкову міцність на стиск при кімнатній температурі [16]

За результатами експериментальних досліджень М. Стахович з співавторами відзначає, що робота вибивання ПРС, що були висушені мікрохвильовим випромінюванням, хоча і нижче ніж за іншими способами сушіння, але залежить від структури та ступеня бездефектності міжзеренних манжет силікату натрію і, відповідно, від характеру їх руйнування [22]. При цьому, адгезійний механізм руйнування міжзеренних манжет притаманний для

ПРС, які попередньо були нагріті до 100...750 °С. При 750 °С відбувається перехід механізму руйнування ПРС від адгезійного до когезійного, який зберігається аж до 900 °С. При температурі попереднього нагрівання понад 900 °С, відбувається часткове плавлення силікату натрію і його розтікання по поверхні зерен суміші.

Слід зазначити, що на відміну від традиційно застосовуваних у ливарних цехах стрижневих

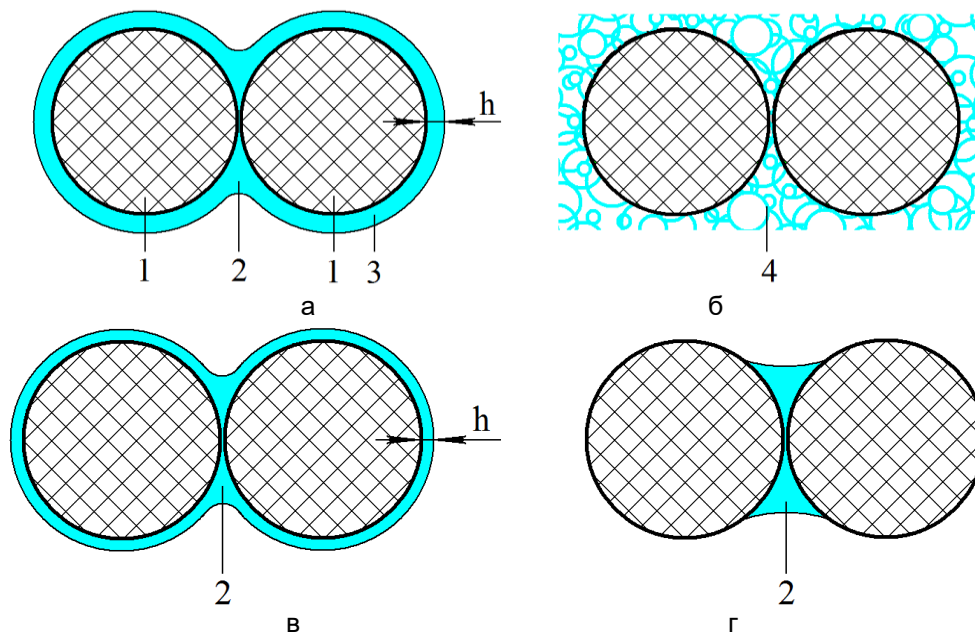
ящиків з металевих сплавів, дерева, епоксидної смоли з наповнювачем і т.п., в якості матеріалу оснащення для обробки ПРС мікрохвильовим випромінюванням автори роботи [17] рекомендують використовувати як нові, так і відпрацьовані тefлони. Це зумовлено тим, що ці матеріали мають кращі з досліджених матеріалів діелектричні властивості і, відповідно, найменший коефіцієнт втрат потужності мікрохвильового випромінювання. Менш придатний для цих виробів є пенополітрафторетілен. Не рекомендовано для такого оснащення використовувати композиційний матеріал на основі епоксидної смоли і бавовняної тканини.

Постановка проблеми. Основним недоліком ПРС є висока залишкова міцність, що підвищує трудоемність або робить неможливим вибивання стрижнів з виливків, сплав яких має невисоку твердість чи надзвичайно високу крихкість. Існуючі способи по поліпшенню вибиваємості за рахунок

застосування різних ТД органічного походження не дозволяють у повній мірі вирішити цю проблему.

Одним з перспективних сучасних напрямків комплексного вирішення проблеми зменшення роботи вибивання та утилізації відходів ЛФС з ПРС – є спосіб паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ-процес) ПРС [18]. Принциповою відмінністю ПМЗ-процесу від відомих способів є використання в складі суміші виключно піску і сполучного матеріалу (немодифікованого РС) без будь-яких ТД, його затвердіння дегідратацією в паро-мікрохвильовому середовищі та переважно «адресний» розподіл сполучного матеріалу в міжзереному просторі ПРС.

Для пояснення, на рис. 3 представлені елементарні схеми розподілу сполучного матеріалу між двома частинками в ПРС для різних способів структуривання ПРС.



а – сушка конвективна або радіаційна, хімічна обробка РС (великий вміст РС в ПРС); *б* – сушка мікрохвильовим випромінюванням або інтенсивна конвективна чи радіаційна сушка (великий вміст РС в ПРС); *в* – сушка конвективна або радіаційна, хімічна обробка РС, сушка мікрохвильовим випромінюванням (малий вміст РС в ПРС); *г* – структуривання за ПМЗ- процесом (малий вміст РС в ПРС); 1 – піщинка; 2 – манжета з сполучного матеріалу між піщинками; 3 – шар сполучного матеріалу на піщинці; 4 – сполучний матеріал у вигляді піни

Рисунок 3– Схема розподілу сполучного матеріалу за «традиційними» способами

Як впливає з рис. 3,а,в при «традиційних» способах структуривання ПРС сполучний матеріал розташовується як на поверхні зерен піску, так і в місцях їх контакту між собою. При цьому, зі зменшенням вмісту в ПРС кількості РС знижується не тільки його товщина на поверхні піщинок (*h*), але і діаметр міжзерених манжет, що призводить до зниження міцності структурированої ПРС. Така схема розподілу сполучного матеріалу обумовлена як його

високою здатністю змочувати поверхні піщинок, так і високою в'язкістю в рідкому стані. У випадках, коли сушку ПРС проводять при інтенсивному нагріванні, РС в каналах ПРС спінюється і структура такої структурированої ПРС набуває вигляду за схемою рис. 3,б.

В той же час, при структуриванні суміші за ПМЗ- процесом сполучний матеріал переважно розміщується в манжетах (див. рис. 3,г). Причиною тако-

го характеру розміщення сполучного матеріалу є його висока рідкорухливість і низька питома щільність, які він набуває під час структурування суміші. Тобто при ПМЗ-процесі практично весь сполучний матеріал з поверхні піщинки під дією капілярних сил переміщується в міжзеренний простір. Як результат – при меншій кількості сполучного матеріалу суміш набуває високу міцність і не потребує використання будь яких ТД або хімічних реагентів.

Тим не менш на сьогодні не досліджено вплив ПМЗ-процесу на вибиваємість ПРС після їх попереднього нагрівання до високих температур.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – встановити вплив температури попереднього нагрівання ПРС та вмісту РС в ПРС, що структуровані за ПМЗ-процесом на роботу їх руйнування під дією ударного навантаження. Завдання досліджень – дослідити вплив мікрохвильового випромінювання на структуру ПРС, в якій РС знаходиться в рідкому стані та визначити закономірності впливу вмісту РС в ПРС та температури попереднього нагріву на величину роботи вибивання ПРС, структурованих за ПМЗ-процесом.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використовували кварцовий пісок марки $1K_2O_2O_2$, воду, натрієве РС з питомою щільністю 1,42...1,44 г/см³ і силікатним модулем 2,8...3,0. Структурування сумішей проводили в мікрохвильовій печі з випромінюванням частотою 2,45 ГГц і потужністю магнетрона 0,9 кВт. Тривалість обробки суміші – 240±5 с. Виготовлення зразків за ПМЗ-процесом здійснювали в поліпропіленових склянках з розмірами внутрішньої порожнини $\varnothing 50 \times 60$ мм та масою 1 г води в водяному заряді, у якості основи якого використовували пінополіуретан. Испити проводили на зразках з розмірами $\varnothing 50 \times 40$ мм. Термічну обробку зразків проводили в лабораторній печі опору в інтервалі температур від 100 до 1100 °С з ізотермічною витримкою зразка при заданій температурі впродовж 45...50 хв. Роботу вибивання зразків розраховували за методикою ЦНДІТМАШ з використанням формули, Дж [19]:

$$A = a \cdot n, \quad (1)$$

де a – робота одного удару копра (для стандартного копра $a = 3,09$ Дж); n – кількість ударів копра, необхідне для видалення стрижня з обойми.

Ущільнення свіжовиготовленої ПРС з 1,0...3,5% РС та руйнування зразків структурованих сумішей за ПМЗ-процесом проводили на лабораторному копрі марки 5033А. Ущільнення свіжовиготовленої ПРС проводили в металевій обоймі шляхом 3-х ударів вантажу лабораторного копра. В дослідженнях по роботі вибивання використовували сталевий пробійник $\varnothing 16$ мм з кутом загострення торця 60°. Структуру зразків досліджували на оптичному мікроскопі при збільшенні $\times 100$.

Результати досліджень. Досліджуючи вплив тривалості мікрохвильової обробки на властивості ПРС автори роботи [20] встановили, що для забезпечення стабільності властивостей структурованої суміші тривалість її мікрохвильової обробки повинна бути не менше 240 с. З цього, в даних дослідження сушки мікрохвильовим випромінюванням свіжоприготованих ПРС проводили протягом 240 с. Структура свіжовиготовленої ПРС після обробки мікрохвильовим випромінюванням при вмісті РС від 1,0% до 3,5% (за масою) надана на рис. 4.

З аналізу зображень на рис. 4 витікає, що структура зразків ПРС зі свіжовиготовленої суміші при вмісті РС 1% та 1,5% (див. рис. 4,а,б) являє собою зерна кварцового піску плакованих РС, які з'єднані між собою манжетами з силікату натрію, та характеризується наявністю міжзеренних капілярних каналів. При вмісті РС від 1,5 до 2,5% (див. рис. 4,в,г) в структурі структурованої ПРС з'являються ознаки присутності пінних осередків силікату натрію. При вмісті РС більше 2,5% (див. рис. 4,д) простір між зернами кварцового піску починають заповнювати піноподібні осередки силікату натрію і зникати манжети, які при вмісті 3,5% РС (див. рис. 4,е) практично повністю зникають, а капілярний простір ПРС повністю заповнюється піноподібним силікатом натрію.

Залежність роботи вибивання ПРС, структурованої за ПМЗ-процесом з 0,5%, 1,5% і 2,5% РС, від температури її попереднього нагріву надано на рис. 5.

З аналізу ходу залежностей на рис. 5 витікає, що при температурах попереднього нагрівання менше 800 °С робота вибивання ПРС, структурованої за ПМЗ-процесом, підвищується як зі зменшенням температури попереднього нагрівання, так і з збільшенням вмісту РС в ПРС.

Обговорення результатів. З аналізу зображень структур на рис. 4 випливає, що найбільш однорідними структурами, де силікат натрію зосереджений в манжетах у вигляді щільного однорідного за структурою матеріалу, володіють ПРС, які структуровані з свіжовиготовленого стану і містять РС від 1,5% до 2,5%. Мабуть з цієї причини, як було зазначено вище, найбільшу міцність мають ПРС з вмістом РС від 1,5% до 2,5%. При цьому, зниження міцності ПРС, структурованих з свіжовиготовленого стану, зі збільшенням вмісту РС більш 2,5%, вочевидь, пов'язано з спінюванням РС і затвердінням цієї піни під час мікрохвильової сушки ПРС.

На відміну від ПРС, що висушені мікрохвильовим випромінюванням в свіжовиготовленому стані, ПРС, що структуровані за ПМЗ-процесом, не мають пінних структур силікату натрію. Тому міцність ПРС, що структуровані за ПМЗ-процесом, монотонно зростає зі збільшенням в неї РС, яку було витрачено на плакування кварцового піску.

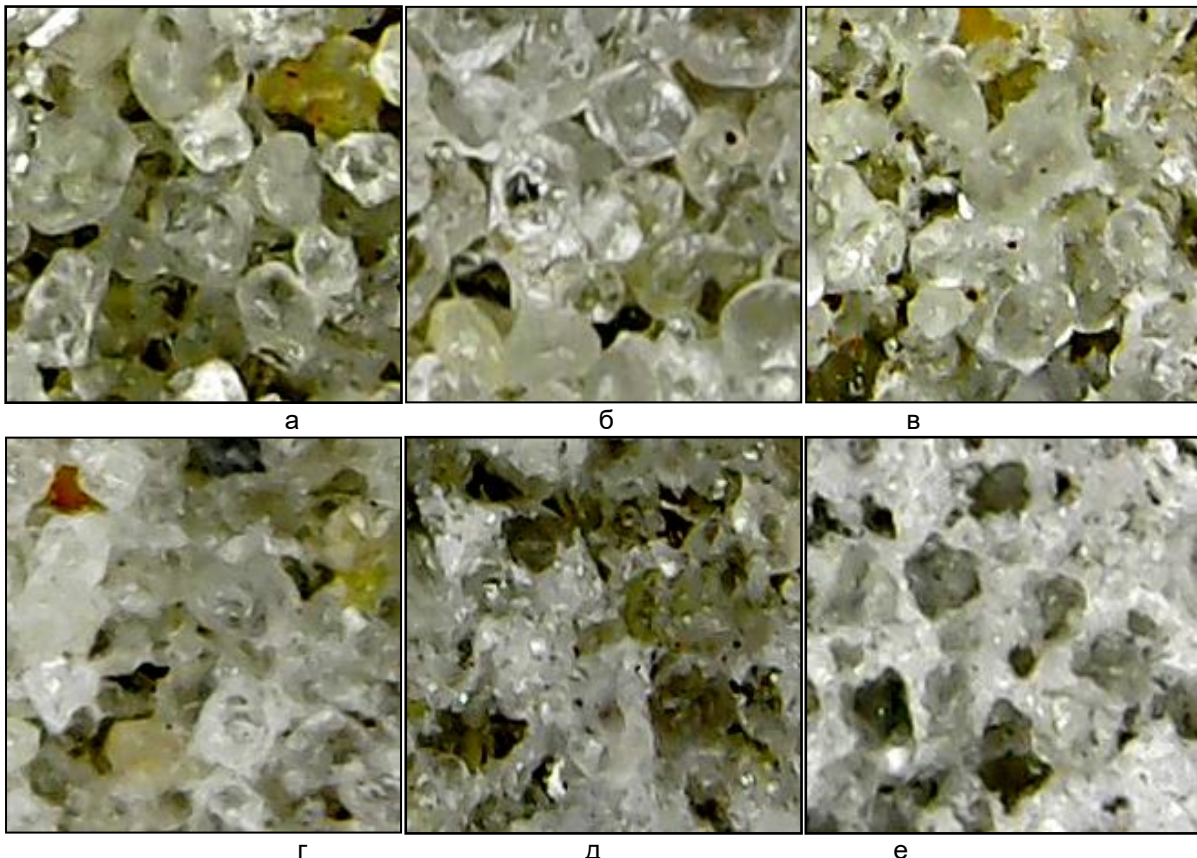


Рисунок 4– Структура свіжовиготовленої ПРС після обробки мікрохвильовим випромінюванням при вмісті РС (за масою): а – 1,0%; б – 1,5%; в – 2,0%; г – 2,5%; д – 3,0%; е – 3,5%

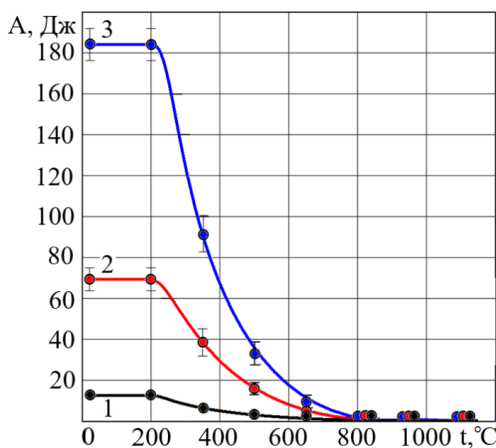
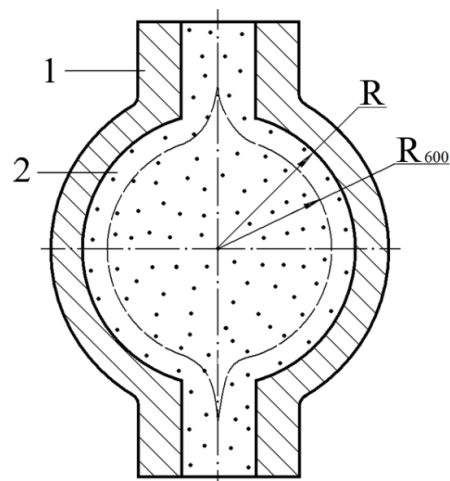


Рисунок 5–Залежність роботи вибивання ПРС, структурованої за ПМЗ-процесом з 0,5% (1), 1,5% (2) і 2,5% (3) РС, від температури її попереднього нагріву

Розглядаючи питання про вибивку ПРС стрижнів з виливків слід виділити дві особливості даних сумішей в структурованому стані. Для пояснення розглянемо схему розрізу виливка зі стрижнем, представлену на рис. 6.



1 – виливок; 2 – стрижень

Рисунок 6 – Схема перерізу виливка зі стрижнем

У відповідності зі схемою на рис. 6, стрижень є тіло сферичної форми на якому співвісно і діаметрально розташовані циліндричні бобишки. Припустимо, що в процесі відведення теплоти від залитого в форму розплаву і виливка, що охолоджується, стрижень 2 нагрівається нерівномірно. Припустимо, що при цьому температура поверхневого шару стрижня підвищується від 600 °С на відстані

R_{600} від його центру до максимальної температури на видаленні R від центру (див. рис. 6). Відповідно, виходячи з отриманих даних, це означає, що ударно-вібраційним способом з виливка можливо видалити лише поверхневий шар стрижня, товщина якого в даному випадку складе:

$$h_{\Pi} = R - R_{600},$$

де R – радіус стрижня, мм; R_{600} – радіус стрижня, де його температура підвищується до 600°C , мм.

При цьому внутрішня частина стрижня, маючи значно більшу міцність, залишиться практично незруйнованою, що вимагатиме збільшення тривалості небажаного ударно-вібраційного впливу на вилівок. Ця закономірність є першою особливістю ПРС, структурованих за ПМЗ-процесом.

Друга особливість полягає в тому, що ПРС, структурована за ПМЗ-процесом, досить швидко руйнується, контактуючи з гарячою водою, що впливає з залежності роботи [21], наведеної на рис. 7.

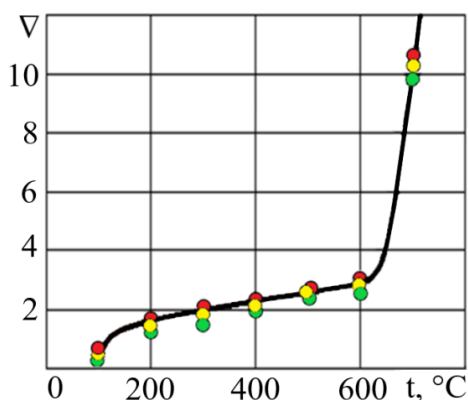


Рисунок 7–Залежність відносної тривалості руйнування в киплячій воді (водостійкість) зразків, структурованих по ПМЗ-процесу, від температури їх попереднього нагрівання на повітрі [21]

Тобто, для швидкого і повного видалення таких стрижнів з виливків процес вибивання доцільно проводити в два етапи, які передбачають ударно-вібраційний вплив на вилівок, так і контакт гарячої води з стрижнем, що вибивається. Якщо жодна частина або ділянка стрижня під час формування та охолодження виливка у формі не відчула нагрів вище 600°C , то видалення такого стрижня слід проводити шляхом витримки виливка в гарячій воді (не нижче 40°C).

Бібліографічний опис

1. Вишняков Х.И. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей добавками доменного шлака. *Литейное производство*. 1976. №11. С. 42.
2. Грузман В.М. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей. *Литейное производство*. 1999. №6. С. 30-31.
3. Дорошенко С.П., Ващенко К.И. Наливная формовка: Монография. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. 176с.

У разі, коли всі частини або переважна кількість частин стрижня в процесі формування виливки у формі нагріваються понад 600°C , вибивання стрижня слід проводити виключно ударно-вібраційними методами. Ймовірно, що така закономірність обумовлена частковим руйнуванням манжет, а також напруженим станом їх матеріалу (силікату натрію) в охоложеному стані, викликаних як різницею коефіцієнтів термічного лінійного розширення силікату натрію і кварцового піску, так і поліморфним перетворенням кварцового піску при 573°C .

Висновки. 1. Структура ПРС, висушена мікрохвильовим випромінюванням з свіжовиготовленої суміші зі збільшенням вмісту РС характеризується зміною виду дегідратованого силікату натрію в її межзеренному просторі. При вмісту РС до 1,5% силікат натрію в висушеній ПРС знаходиться в межзеренному просторі у вигляді манжет. При вмісту від 1,5 до 2,5% РС знаходиться в манжетах на поверхні яких з'являються елементи пінної структури силікату натрію. При вмісту РС більше 2,5% силікат натрію в межзеренному просторі знаходиться у вигляді піни, що відповідним чином позначається на міцності структурованої ПРС, її обсяговості, газопроникності, вологопоглинання і т.п.

2. Зі збільшенням температури попереднього нагріву робота вибивання піцано-рідкоскляних сумішей структурованих в паро-мікрохвильовій середовищі за способом ПМЗ, що містять від 0,5 до 2,5 % РС з модулем 2,8...3,0 знижується за експонентною залежністю і при температурі попереднього нагріву від 800 до 1100°C , практично, стає рівною нулю.

3. Робота вибивання сумішей, попередньо нагрітих до 600°C , не перевищує 20 Дж. З цього випливає, що такі стрижні або їх окремі частини можуть бути видалені з виливків ударно-вібраційним способом навіть, наприклад, із "м'яких" сплавів на основі міді, алюмінію, цинку, свинцю тощо.

4. Вибивання стрижнів або їх частин, у яких після контакту з залитим в ливарну форму розплавом температура не перевищила 600°C , рекомендується здійснювати шляхом занурення виливків в воду.

5. Структурування формувальних і стрижневих сумішей в паро-мікрохвильовому середовищі вирішує проблему вибивання піцано-рідкоскляних сумішей, що містять РС до 2,5%, з виливків з більшості ливарних сплавів, що використовують в промисловості.

4. Дорошенко С.П., Макаревич А.П. Состояние и перспективы применения жидкостекольных смесей. *Литейное производство*. 1990. №2. С. 14-15.
5. Климин А.В. Смесей улучшенной выбиваемости. *Литейное производство*. 1990. №2. С. 25.
6. Лясс А.М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. 322 с.
7. Лясс А.М., Валисовский И.В. Пути улучшения выбиваемости смеси с жидким стеклом. *Труды ЦНИИТМАШ*. 1960. №6. С. 81-95.
8. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей. URL: <https://www.docsity.com/ru/uluchshenie-vybivaemosti-zhidkostekolnyh-smesey-konspekt-psiologiya/314853/> (дата звернення: 10.10.2021).
9. Жуковский С.С., Иванов А.А. Упрочнение и выбиваемость жидкостекольных смесей. *Литейное производство*. 1981. № 1 С. 9-11.
10. Васин Ю.П., Бортников М.М. Жидкостекольные формовочные смеси с улучшенными свойствами. *Литейное производство*. 1986. № 4 С. 1-12.
11. Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. К.: Выща школа, 1990; Прага: СНТЛ, 1990. 415 с.
12. Stachowicz M., Granat K., Nowak D. Influence of water-glass grade and quantity on residual strength of microwave-hardened moulding sands. Part 1. *Archives of Foundry Engineering*. 2011. Vol. 11. Is. 1. Pp. 93-98.
13. Stachowicz M., Granat K., Palyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 1. *Archives of Foundry Engineering*. 2016. Vol. 16. Is. 1. Pp. 73-78. DOI: 10.1515/afe-2016-0006
14. Stachowicz M., Granat K., Palyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 2. *Archives of Foundry Engineering*. 2016. Vol. 16. Is. 1. Pp. 79-84. DOI: 10.21062/ufep/x.2016/a/1213-2489/MT/16/2/454
15. Stachowicz M., Granat K. Research on reclamation and activation of moulding sands containing water-glass hardened with microwaves. *Archives of Foundry Engineering*. 2014. Vol. 14. Is. 2. Pp. 105-110.
16. Stachowicz M., Granat K., Nowak D. Dielectric hardening method of sand mixes of sand mixes containing hydrated sodium silicate. *Metalurgija*. 2013. Vol. 52. Is. 2. Pp. 169-172.
17. Granat K., Opyd B., Nowak D., Stachowicz M., Jaworski G. Usefulness of foundry tooling materials in microwave heating process. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2013. Vol. 58. Is. 3. Pp. 919-922.
18. Спосіб виготовлення ливарних форм і стрижнів з рідко скляної суміші: пат. 122538 Україна: МПК6 В22С 9/10, 9/12. № а 201901350; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22. 7с.
19. Марков В.А., Нефедов К.Е. Метод определения выбиваемости жидкостекольных смесей. *Ползуновский альманах*. 2003. № 4. С. 50-51.
20. Granat K., Nowak D., Pigiela M., Stachowicz M., Wikiera R. The influence of microwave curing time and water glass kind on the properties of moulding sands. *Archives of Foundry Engineering*. 2007. Vol. 7. Is. 4. Pp. 79-82.
21. Solonenko L.I., Repiakh S.I., Uzlov K.I., Mamuzich I., Bilyi O.P., Kimstach T.V. Water resistance of structured sand-sodium-silicate mixtures. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. №4. P. 41-46. DOI: 10.33271/nvngu/2021-4/041.
22. Stachowicz M., Granat K., Nowak D., Haimann K. Effect of hardening methods of moulding sands with water glass on structure of bonding bridges / *Archives of Foundry Engineering*. 2010. Vol. 10, Is. 3. Pp. 123-128.

Reference

1. Vishnyakov Kh.I. Improving the knockout of liquid glass mixtures by adding blast-furnace slag. *Foundry*. 1976. № 11. Pp. 42.
2. Gruzman V.M. Improving the knockout of liquid glass mixtures. *Foundry*. 1999. № 6. Pp. 30-31.
3. Doroshenko S.P., Vaschenko K.I. Bulk molding: Monograph. Kiev: Vishchashool. Head publishing house, 1980. 176 p.
4. Doroshenko S.P., Makarevich A.P. State and prospects for the use of liquid glass mixtures. *Foundry*. 1990. № 2. Pp. 14-15.
5. Klimkin A.V. Mixtures with improved embossibility. *Foundry*. 1990. № 2. Pp. 25.
6. Lyass A.M. Fast-setting molding sands. Moscow: Mechanical Engineering, 1965. 322 p.
7. Lyass A.M., Valisovsky I.V. Ways to improve the knockout properties of the mixture with water glass. *Works of TSNITMASH*. 1960. № 6. Pp. 81-95.
8. Improving the knockout of liquid glass mixtures. URL: <https://www.docsity.com/ru/uluchshenie-vybivaemosti-zhidkostekolnyh-smesey-konspekt-psiologiya/314853/> (date of the beast: 10.10.2021).
9. Zhukovsky S.S., Ivanov A.A. Strengthening and knockout of liquid glass mixtures. *Foundry*. 1981. № 1 Pp. 9-11.

10. Vasin Yu.P., Bortnikov M.M. Liquid glass molding sands with improved properties. *Foundry*. 1986. № 4. Pp. 1-12.
11. Doroshenko S.P., Avdokushin V.P., Rusin K., Matsashek I. Forming materials and mixtures. K.: Vyscha school, 1990; Prague: SNTL, 1990. 415 p.
12. Stachowicz M., Granat K., Nowak D. Influence of water-glass grade and quantity on residual strength of microwave-hardened moulding sands. Part 1. *Archives of Foundry Engineering*. 2011. Vol. 11. Is. 1. Pp. 93-98.
13. Stachowicz M., Granat K., Pałyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 1. *Archives of Foundry Engineering*. 2016. Vol. 16. Is. 1. Pp. 73-78. DOI: 10.1515/afe-2016-0006
14. Stachowicz M., Granat K., Pałyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 2. *Archives of Foundry Engineering*. 2016. Vol. 16. Is. 1. Pp. 79-84. DOI: 10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/MT/16/2/454
15. Stachowicz M., Granat K. Research on reclamation and activation of moulding sands containing water-glass hardened with microwaves. *Archives of Foundry Engineering*. 2014. Vol. 14. Is. 2. Pp. 105-110.
16. Stachowicz M., Granata K., Nowaka D. Dielectric hardening method of sand mixes of sand mixes containing hydrated sodium silicate. *Metalurgija*. 2013. Vol. 52. Is. 2. Pp. 169-172.
17. Granat K., Opyd B., Nowak D., Stachowicz M., Jaworski G. Usefulness of foundry tooling materials in microwave heating process. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2013. Vol. 58. Is. 3. Pp. 919-922.
18. Спосіб виготовлення ливарних форм і стрижнів з рідко скляної суміші: пат. 122538 Україна: МПК6 B22C 9/10, 9/12. № а 201901350; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22. 7с.
19. Марков В.А., Нефедов К.Е. Метод определения выбиваемости жидкостекольных смесей. *Ползуновский альманах*. 2003. № 4. С. 50-51.
20. Granata K., Nowaka D., Pigiela M., Stachowicz M., Wikiera R. The influence of microwave curing time and water glass kind on the properties of moldings sands. *Archives of Foundry Engineering*. 2007. Vol. 7. Is. 4. Pp. 79-82.
21. Solonenko L.I., Repiakh S.I., Uzlov K.I., Mamuzich I., Bilyi O.P., Kimstach T.V. Water resistance of structured sand-sodium-silicate mixtures. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. №4. P. 41-46. DOI: 10.33271/nvngu/2021-4/041.
22. Stachowicz M., Granat K., Nowak D., Haimann K. Effect of hardening methods of moulding sands with water glass on structure of bonding bridges / *Archives of Foundry Engineering*. 2010. Vol. 10, Is. 3. Pp. 123-128.