

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 29, 2021, № 4 (327), xx-xx

<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064>

УДК 621.74

Л.І. Солоненко, канд. техн. наук, доц., докторант каф. ливарне виробництво, e-mail: solonenkoli14@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2092-8044>

С.І. Реп'ях, д-р техн. наук, ст. дослідник, проф. каф. ливарне виробництво, e-mail: 123rs@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>

К.І. Узлов, д-р техн. наук, проф., проф. каф. матеріалознавства, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0744-9890>

О.П. Білий, канд. техн. наук, доц., доц. каф. ливарне виробництво, e-mail: baplitvo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1234-5404>

Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна)

Вплив піщано-рідкоскляних формувальних сумішей, структурованих за способом паро-мікрохвильового затвердіння, на якість дрібних виливків

Мета досліджень – оцінити вплив способу виготовлення форм з піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані за способом паро-мікрохвильового затвердіння, на якість поверхні і точність розмірів литих виробів та встановити придатність способу паро-мікрохвильового затвердіння для виготовлення дрібних виливків загальномашинобудівного призначення. Ступінь точності литої поверхні за ДСТУ 8981:2020 та параметри її шорсткості досліджували на виливках Ø30×150 мм зі сталі 40Х24Н18С2Л, 30Л, сірого чавуну СЧ200, бронзи БрО5С5Ц5 і БрА9ЖЗЛ. Виливки отримували у ливарних формах, що виготовляли шляхом структурування кварцового піску, плакованого рідким склом, в паро-мікрохвильовому середовищі. Визначення параметрів шорсткості проводили на профілографі в комплекті з інформаційно-обчислювальним комплексом мод. 170622.

Визначення впливу способу структурування формувальної суміші на точність розмірів лиття проводили на виливці «Плита решітки» зі сталі 40Х24Н18С2Л. Дослідження проводили порівнянням величин відхилень габаритних розмірів виливків «Плита решітки» від їх номінальних значень, а також зіставленням числа бракованих виливків, що були виготовлені у формах, які структурували за CO₂-процесом та за способом паро-мікрохвильового затвердіння. Розміри виливків вимірювали штангенциркулем з величиною похибки вимірювань до 0,01 мм. Якість поверхні виливків на наявність поверхневих дефектів оцінювали візуально.

За результатами досліджень встановлено, що відповідно до ДСТУ 8981:2020 ступінь точності литої поверхні виливків розміром від 100 до 250 мм відповідає 7–10 класу, що знаходиться на рівні ступеня точності бронзового лиття в оболонкові форми з термореактивних сумішей, а сталевих і чавунних виливків – на рівні лиття під низьким тиском в кокиль без піщаних стрижнів і вище, ніж у виливків, що виготовляють в піщано-глинистих, вакуум-плівкових формах і формах з рідкоскляних самотвердіючих сумішей.

Точність розмірів виливків, виготовлених в формах за способом паро-мікрохвильового затвердіння, дещо вища, ніж виливків, виготовлених в формах за CO₂-процесом. При цьому, у виливках, отриманих в формах за способом паро-мікрохвильового затвердіння, відсутні газові раковини і спаї, а остаточний брак за невідповідністю розмірів і виправний брак за поверхневими дефектами виливків, відповідно, в 3,7 і 13,5 рази нижче, ніж у виливків, що були виготовлені у формах за CO₂-процесом.

Вперше досліджено і відповідно до ДСТУ 8981:2020 встановлено ступінь точності литої поверхні та параметри її шорсткості для виливків з розмірами 100–250 мм зі сталі 40Х24Н18С2Л, 30Л, сірого чавуну СЧ200, бронзи БрО5С5Ц5 і БрА9ЖЗЛ, що були залиті в ливарні форми, суміш яких була структурована за способом паро-мікрохвильового затвердіння.

Отримані дані будуть корисні при виборі способу виготовлення ливарних форм та стрижнів для виробництва дрібних виливків загальномашинобудівного призначення.

Ключові слова: ступінь точності, розмірна точність, шорсткість, дефекти, виливок, піщано-рідкоскляна суміш, паро-мікрохвильове затвердіння, CO₂-процес.

Вступ. Проблемі підвищення якості поверхні виливків, точності її розмірів, форми і т. п. присвячені роботи багатьох вчених і дослідників [1–3 та ін.]. З результатів цих досліджень випливає, що точність виливка визначається:

– способом лиття, точністю розмірів і геометричної форми моделі виливка та стрижневого ящика, розмірами і конфігурацією виливка, теплофізичними, структурними, металургійними і фізико-технологічними особливостями його сплаву та форми (стрижнів);

– обґрунтованістю та раціональністю призначення припусків, напусків, ухилів і т. п. елементів виливка, положенням виливка у просторі при заливці, конструкцією ливникової системи, режиму і умов проведення термообробки виливка тощо;

– рівнем організації, культури, ступенем механізації та автоматизації всіх етапів, пов'язаних з виробництвом виливків [4, 5 та ін.].

Незважаючи на велику кількість зазначених вище факторів, що впливають на рівень показників точності будь-якого виливка, одним з визначальних чинників є спосіб лиття [6] і, відповідно, спосіб структурування формувальної і стрижневої суміші [7]. Зокрема, про це свідчать дані, відповідно до яких при використан-

ні одноразових форм найбільш високу розмірну точність (4–11 клас за ДСТУ 8981:2020) мають виливки, що виготовляють методом лиття за виплавлюваними моделями, найменший клас (7–16) у виливків, що виготовляють в піщано-глинистих формах. У той же час, точність розмірів виливків, виготовлених в піщано-смоляних формах і піщано-рідкоскляних формах за CO₂-процесом, практично знаходиться на одному рівні і т. п. Тобто, точнісна настройка будь-якої технології виробництва виливків в першу чергу визначається способом структурування (затвердіння) їх формувальних і стрижневих сумішей, який до тепер для форм та стрижнів, що структуровані за способом паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ), не встановлений.

Під час виготовлення ливарних форм і стрижнів (ЛФС) затвердіння піщано-рідкоскляних сумішей (ПРС) здійснюють шляхом їх дегідратації в результаті теплової сушки або продувки повітрям [8], а також хімічного затвердіння, використовуючи газоподібний (вуглекислий газ) [9], твердий порошкоподібний [10] або рідкий затверджувач [11] рідкого скла.

Теплове сушіння ЛФС, як правило, проводять в камерних газових або електровентиляторних сушар-

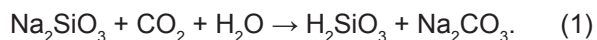
Таблиця 1

Недоліки способів структурування ЛФС з піщано-рідкоскляних сумішей

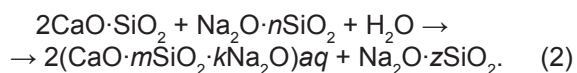
№ п/п	Недоліки	Спосіб структурування			
		Дегідратаційний (тепловий)	Хімічний затверджувач		
			газоподібний (CO ₂)	твердий порошок	рідкий
1	Обмежена живучість суміші			+	+
2	Висока енергоємність і/або тривалість	+/+		-/+	
3	Низька оборотність модельно-стрижневого оснащення	+		+	
4	Низька стабільність властивостей ЛФС		+	+	+
5	Низька первинна міцність ЛФС	+	+	+	+
6	Підвищена обсіпальність, гігроскопічність ЛФС	+	+	+	
7	Розтріскування поверхні ЛФС	+			
8	Усадка при структуруванні				+
9	Крихкість ЛФС		+	+	
10	Висока газотвірна здатність ЛФС		+	+	+
11	Токсичність деяких компонентів суміші			+	+
12	Низький термін зберігання ЛФС	+	+		
13	Низька піддатливість ЛФС відносно виливка	+	+	+	
14	Висока енергоємність вибивання ЛФС з виливків	+	+		
15	Висока енергоємність регенерації піску з суміші		+	+	+

нях, що являє собою досить тривалий і енергозатратний процес [12]. З цієї причини, а також у зв'язку з недоліками одержуваних цим способом ЛФС, що наведено в табл. 1, в даний час в ливарних цехах теплове сушіння ЛФС практично не використовують.

При структуруванні продувкою ПРС вуглекислим газом або його сумішшю з повітрям проходить хімічна реакція, внаслідок чого утворюється гель кремнієвої кислоти і бікарбонату натрію, а ПРС структурується [13]:



Порошковими затверджувачами структурують рідкоскляні рідкі (РСС) і пластичні (ПСС) самотвердіючі суміші. У цих сумішах затверджувачами, як правило, є матеріали, що містять двокальцієвий силікат в γ - або β -формі (ферохромовий шлак, нефеліновий шлак). Схему протікання хімічної реакції між силікатом натрію і двокальцієвим силікатом можна представити в наступному загальному вигляді:



Для затвердіння рідкого скла можливо використувати і пили інших металургійних шлаків, які, тим не менш, поступаються зазначеним вище шлакам хімічною активністю, що дестабілізує властивості ЛФС [14].

Найбільш високу якість мають ЛФС, для структурування яких використовують рідкі затверджувачі у числі яких: етіленглікольмоноацетат, етіленглікольдіацетат, 1,3-гліцеріндіацетат, гліцерінацетат та ін. [15, 16]. Затвердження ПРС рідким затверджувачем проходить з утворенням кремнієвої кислоти і спирту протягом від 5 хвилин до кількох годин з моменту контакту рідкого скла та його затверджувача. Властивості структурованих за цим способом ПРС і час їх структурування регулюють вибором типу затверджувача, його кількості і температури суміші та затверджувача.

Не дивлячись на значну різноманітність способів затвердіння, матеріалів і умов структурування, кожен з описаних вище способів має свої суттєві недоліки (див. табл. 1), які зумовлюють область і умови їх використання в кожному конкретному ливарному цеху. При цьому всі зазначені вище способи структурування при виготовленні ЛФС передбачають ручне або механізоване ущільнення ПРС в оснащенні та відносно невеликий його оберт в технологічному циклі за рахунок тривалого часу затвердіння рідкого скла у суміші. Використання рідких затверджувачів, незважаючи на можливість регулювання часу затвердіння ПРС, також має свої значні недоліки у зв'язку з тим, що з підвищенням часу затвердіння рідкого скла у суміші знижується оберт оснащення, а зі зниженням цього часу знижується стабільність властивостей ЛФС.

Для вирішення ряду зазначених вище проблем ПРС розроблено спосіб їх структурування за ПМЗ-процесом (Пат. № 122538). Відповідно до Пат. № 122538 ЛФС виготовляють з сухого кварцового піску, що плакований рідким склом в кількості від 0,5 до 2,5 % (за масою, понад 100 % кварцового піску).

Структурування такої ПРС в даному випадку проводять в паро-мікрохвильовому середовищі протягом 5–15 хв. Безпосередньо після вилучення з оснащення такі форми і стрижні придатні до збирання і заливання, оскільки практично не містять вологи і, відповідно, не газотвірні, а максимальної міцності досягають в оснащенні під час структурування [17, 18]. Суміш, яку застосовують за ПМЗ-процесом, екологічно безпечна та дешева, оскільки складається з компонентів вітчизняного походження (пісок, рідке скло, вода).

На відміну від більшості інших способів виготовлення ЛФС відпрацьована суміш, що структурована за ПМЗ-процесом, може бути використана в якості вихідної сировини для виробництва силікат-брили, повторно (повністю або частково) використана у виробництві форм і стрижнів, оброблена для рециклінгу піску в ливарному цеху або будівництві.

Постановка задачі. На сьогодні дані про якість лиття, виготовленого в формах за ПМЗ-процесом, відсутні. Тому робота, що присвячена визначенню розмірної точності і якості поверхні виливків, одержаних у формах, які виготовлені за ПМЗ-процесом, є актуальною.

Мета роботи і завдання досліджень. Мета роботи – оцінити вплив способу виготовлення форм з ПРС, що структуровані за ПМЗ-процесом, на якість поверхні і точність розмірів дрібних виливків загальномашинобудівного призначення.

Завдання досліджень – встановити ступінь точності поверхні виливків довжиною від 100 до 250 мм з бронзи, сірого чавуну та сталей, які були отримані в формах, що структуровані за ПМЗ-процесом, та вплив таких сумішей на точність розмірів та якість поверхні ставих виливків.

Об'єкт і методика досліджень. Об'єкт досліджень – виливки, що виготовлені в ливарних піщано-рідкоскляних формах, які структуровані в паро-мікрохвильовому середовищі.

У дослідженнях для виготовлення ливарних форм використовували такі матеріали: кварцовий пісок Вільногірського родовища марки $1\text{K}_2\text{O}_2$; рідке скло (РС) з величиною силікатного модуля 2,88–2,93 і питомою щільністю 1,42–1,44 г/см³; газ вуглекислий (балонний); сталь 30Л (ДСТУ 7809:2015); сірий чавун СЧ200 (ДСТУ 8833:2019); бронзи БрО5С5Ц5 і БрА9Ж3Л (ГОСТ 613-79); сталь марки 40Х24Н18С2Л, хімічний склад якої наведено в табл. 2.

Відповідно до ДСТУ 8981:2020 при визначенні параметрів шорсткості будь-якої поверхні базовою лінією є середня лінія її мікропрофілю, а клас чистоти поверхні оцінюють за величиною Ra (мкм) – середньоарифметичним відхиленням мікропрофілю поверхонь. Шорсткість литої поверхні виливків, отриманих в формах, виготовлених за ПМЗ-процесом, визначали на виливках циліндричної форми $\varnothing 30 \times 150$ мм зі сталі 40Х24Н18С2Л, 30Л, сірого чавуну СЧ200, бронзи БрО5С5Ц5 і БрА9Ж3Л. Всі сплави заливали з величиною перегріву 80–110 °С в форми з кварцового піску, попередньо плакованого 1,1 % натрієвим РС (за масою, понад 100 % піску) і структурованого за ПМЗ-процесом впродовж 5 хвилин. Перед вимірами

Масовий вміст (%) хімічних елементів в сталі 40X24Н18С2Л для виливка «Плита решітки»

C	Mg	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	W	Nb	Fe
0,2–0,6	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 0,04	≤ 0,04	28–32	18–20	≤ 0,50	0,009–0,015	0,07–0,10	0,19–0,30	Зал.

Примітка. Масовий вміст хімічних елементів, які не регламентовані стандартом ASTM A297HL Mod. (Al, W, Nb і ін.), допускається змінювати за умови їх сумарного вмісту до 1 %.

шорсткості поверхню виливків очищували металевою щіткою від залишків формувальної суміші. Визначення параметрів шорсткості литих поверхонь проводили на профілографі в комплекті з інформаційно-обчислювальним комплексом мод. 170622.

Оцінювання впливу способу струкутрування ПРС на точність розмірів виливків проводили на виливку «Плита решітки», неповні креслення якого надано на рис. 1.

Виливок «Плита решітки» має масу 9,6 кг, відноситься до 1-ої групи відповідно до ДСТУ 8781:2018 і характеризується точністю 9-7-8-9 відповідно до ДСТУ 8981:2020, тобто повинен відповідати 8 ступеню точності поверхні. У моделі виливка ливарні ухили виконані відповідно до ГОСТ 3212-92, не вказані на кресленні ливарні радіуси складають 2–5 мм.

Відповідно до вимог, на виливку не припустимі тріщини і наскрізні раковини, затоки, задирки по всіх

крайках, а поверхні виливка, що сполучаються, повинні бути зачищені. На поверхні колосникового поля виливка припустимі окремо розташовані раковини діаметром до 4 мм і глибиною до 3 мм в кількості не більше 3 штук на площі 100 см², а також раковини діаметром до 1,3 мм глибиною не більше 2 мм в кількості 1 штуки на площі 1 см².

У промислових умовах виливок «Плита решітки» виготовляють, використовуючи формовку в стрижнях. Стрижні виготовляють за CO₂-процесом з ПРС, що містить 7 % натрієвого РС і 93 % кварцового піску, шляхом її ручного ущільнення в оснащенні з подальшим продуванням вуглекислим газом протягом 45–60 с. Після закінчення продування стрижні витягають із стрижневих ящиків, витримують на повітрі протягом 20–30 хвилин і проводять збирання форми. Заливають форми через 30–90 хвилин з моменту завершення їх збірки.

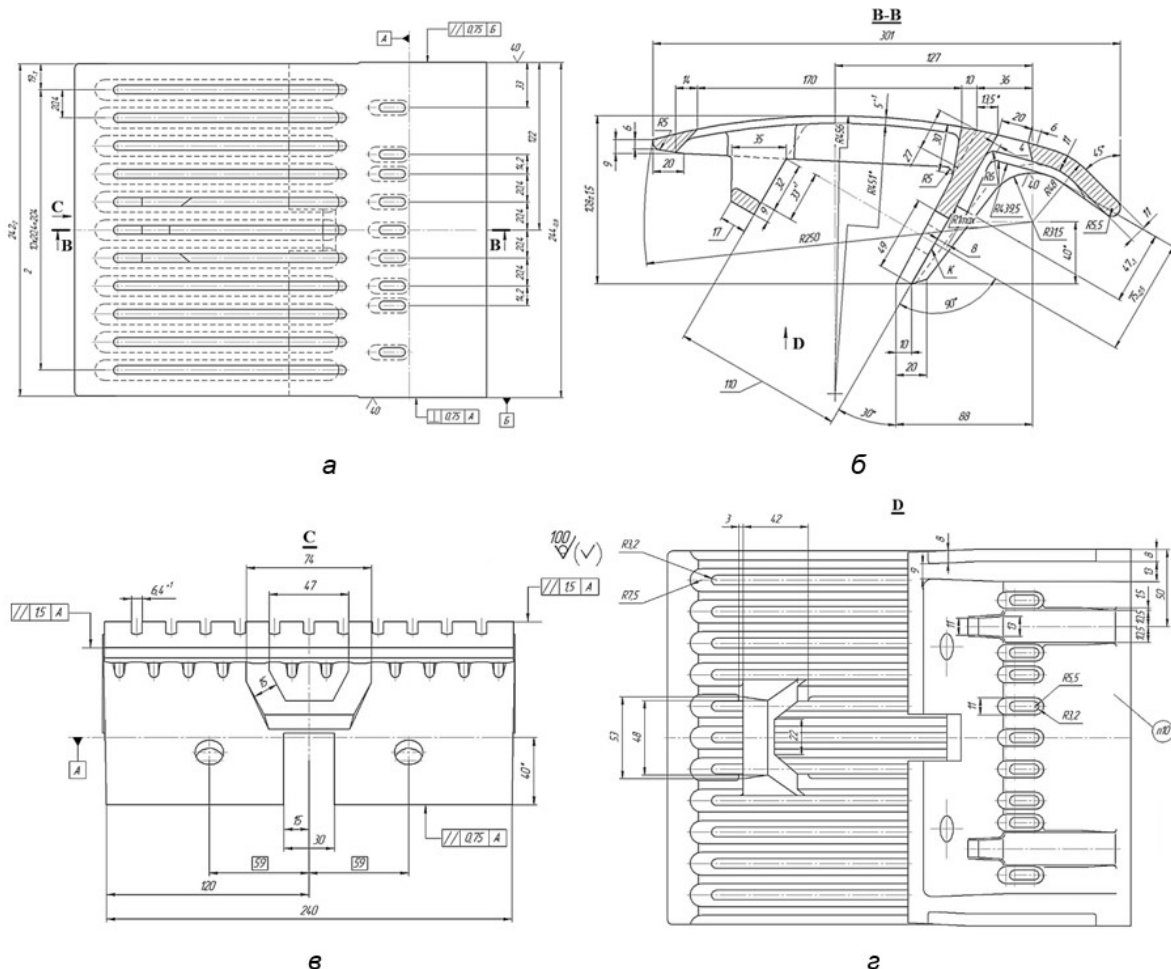


Рис. 1. Основний вид (а); перетин В-В (б); види «С» (в) і «Д» (г) виливка «Плита решітки»

Сталь 40X24H18C2Л виплавляють в індукційній печі ІСТ-0,16 з кислотою футерівкою. Температура випуску розплаву сталі з печі – 1600–1620 °С.

Вибивання виливків з форм проводять через 30–40 хвилин після закінчення їх заливки. Після охолодження до температури навколишнього середовища виливки відокремлюють від їх ливникової системи, очищують їх поверхню металевою щіткою, проводять візуальний контроль якості і, в разі задовільної якості поверхні, способом абразивного впливу і впливу лезового інструменту зачищають від гребінців і залишків елементів ливникової системи. Після первинного очищення у виливків за допомогою штангенциркулів визначають їх основні розміри, механічно та піскоструменево обробляють і маркують.

Виготовлення стрижнів за ПМЗ-процесом для виливків «Плита решітки» проводили з кварцового піску, плакованого РС, з розрахунку 1,1 % РС (за масою, понад 100 % кварцового піску). Плакування кварцового піску проводили шляхом його механічного змішування з наважкою РС, сушінням на повітрі до сипучого стану і підсушуванням в мікрохвильовому випромінюванні протягом 3–4 хвилин. Структурування плакованого кварцового піску проводили після його просіювання через сито зі стороною осередку 0,4 мм і вібраційного ущільнення в оснащенні протягом 10–60 с. Для структурування використовували від 2 до 4-х водяних зарядів з масовим вмістом в них води 1,5–2,5 г. Структурування стрижнів проводили протягом 12–17 хвилин в мікрохвильовій печі з об'ємом камери 40 л, потужністю магнетрона 1,5 кВт і частотою мікрохвильового випромінювання 2,45 ГГц. Тривалість мікрохвильової обробки кожного з використовуваного типу стрижнів призначали індивідуально, виходячи з його маси, числа водяних зарядів і якості виготовлених стрижнів, яку оцінювали за результатом їх візуального огляду. Заливання форм здійснювали протягом 1 години з моменту закінчення їх збірки.

Для оцінювання впливу способу структурування ПРС на точність розмірів виливка «Плита решітки» в якості показників точності її розмірів були прийняті результати вимірювань (див. рис. 1 і рис. 2) наступних розмірів $l_{301} = 301$ мм, $l_{108} = 108 \pm 1,5$ мм, $l_{242} = 242_{-2}$ мм, що схематично представлено на рис. 2.

Для визначення розмірів виливків використовували штангенциркуль з величиною похибки вимірювань

не більше 0,01 мм. Перед вимірами поверхню виливків очищали від залишків формувальної суміші і витримували виливки при температурі повітря 23–26 °С протягом не менше 4 годин.

Результати дослідження. За результатами визначення параметрів шорсткості литих поверхонь циліндричних виливків (див. рис. 3) встановлено, що чистота їх поверхні відповідає 7–10 класу точності відповідно до ДСТУ 8981:2020, про що свідчать дані табл. 3.

Тобто, відповідно до даних табл. 3 ступінь точності поверхні виливків довжиною від 100 до 250 мм з бронзи, отриманих в форми за ПМЗ-процесом, знаходиться на рівні лиття в оболонкові форми з термореактивних сумішей, а сталевих і чавунних виливків – на рівні лиття під низьким тиском в кокіль без піщаних стрижнів.

Аналіз якості виливків «Плита решітки» серійного виробництва показав, що з числа відомих поверхневих дефектів найбільш часто на поверхні виливків зустрічаються засмічення, спаї і газові раковини. При цьому, близько 95 % виготовлених виливків піддають ремонту – обробленню і заварці поверхневих дефектів. Решта ~5 % виливків остаточно бракують через невідповідність точності їх розмірів вимогам креслення (див. рис. 1).

Ймовірною причиною появи поверхневих дефектів на виливку «Плита решітки» є висока обсіпальність і газотвірна здатність ПРС, що структуровані за CO₂-процесом, а також відносно невисока масова швидкість заливання форми розплавом і хімічні властивості газового середовища в робочій порожнині форми – водяної пари. Про це, зокрема, свідчить характер розташування ділянок виливка (див. схему на рис. 4), які найбільш часто виявляються ураженими даними дефектами, а вид самих дефектів представлений на рис. 5.

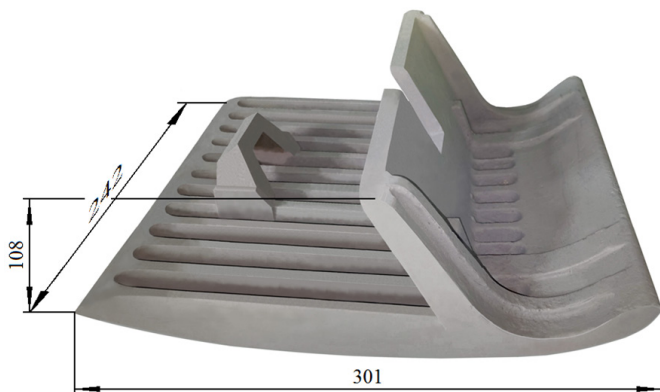


Рис. 2. Контрольовані розміри виливка «Плита решітки»

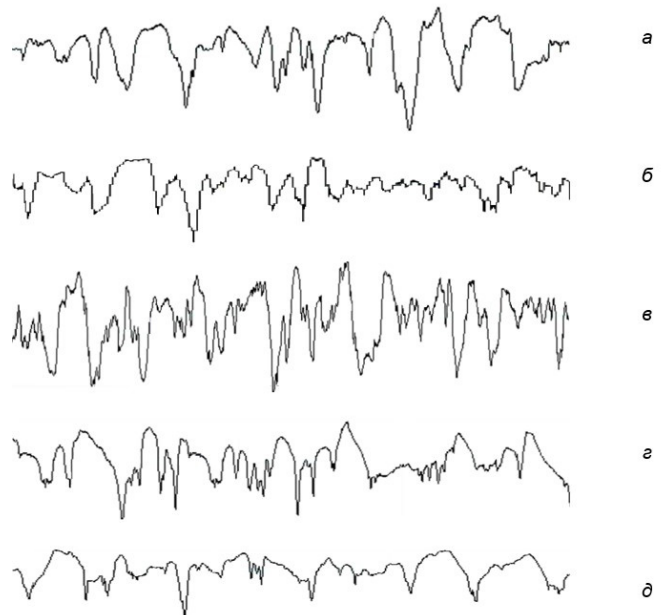


Рис. 3. Профілограми поверхні виливків зі сталі 30Л (а); 40X24H18C2Л (б); сірого чавуну СЧ200 (в); бронзи BrO5Ц5С5 (г); BrA9Ж3л (д) при довжині траси 3 мм

Таблиця 3

Показник Ra і ступінь точності поверхні відповідно до ДСТУ 8981:2020 циліндричних виливків довжиною від 100 до 250 мм

Сплав вилівка	30Л	40Х24Н18С2Л	СЧ200	БрО5Ц5С5	БрА9Ж3Л
Ra, мкм	12,6	8,7	13,2	10,8	7,6
Ступінь точності поверхні	10	8	10	9	7

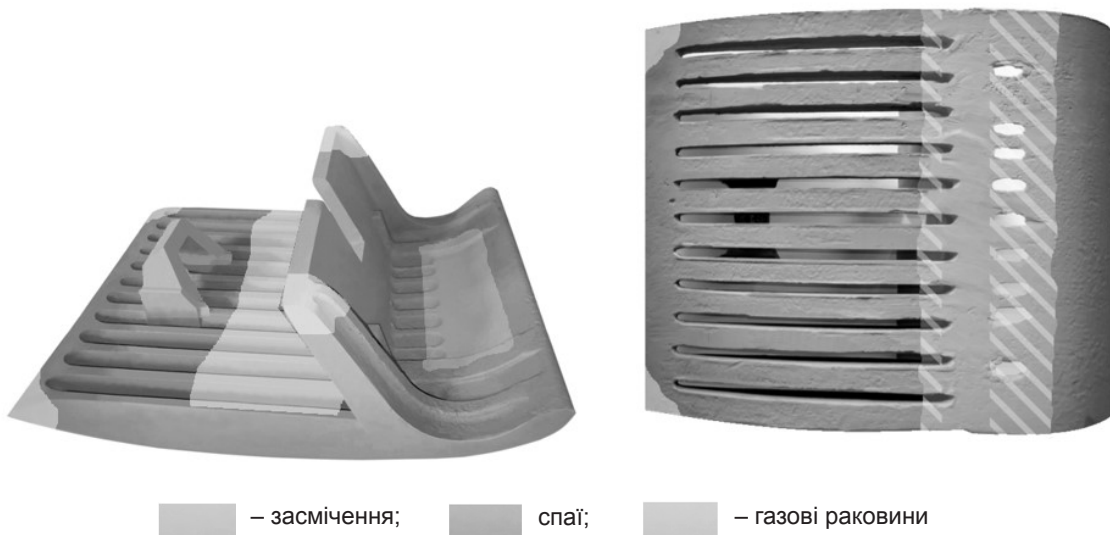


Рис. 4. Схеми ділянок вилівка «Плита решітки», на яких найбільш часто з'являються поверхневі дефекти

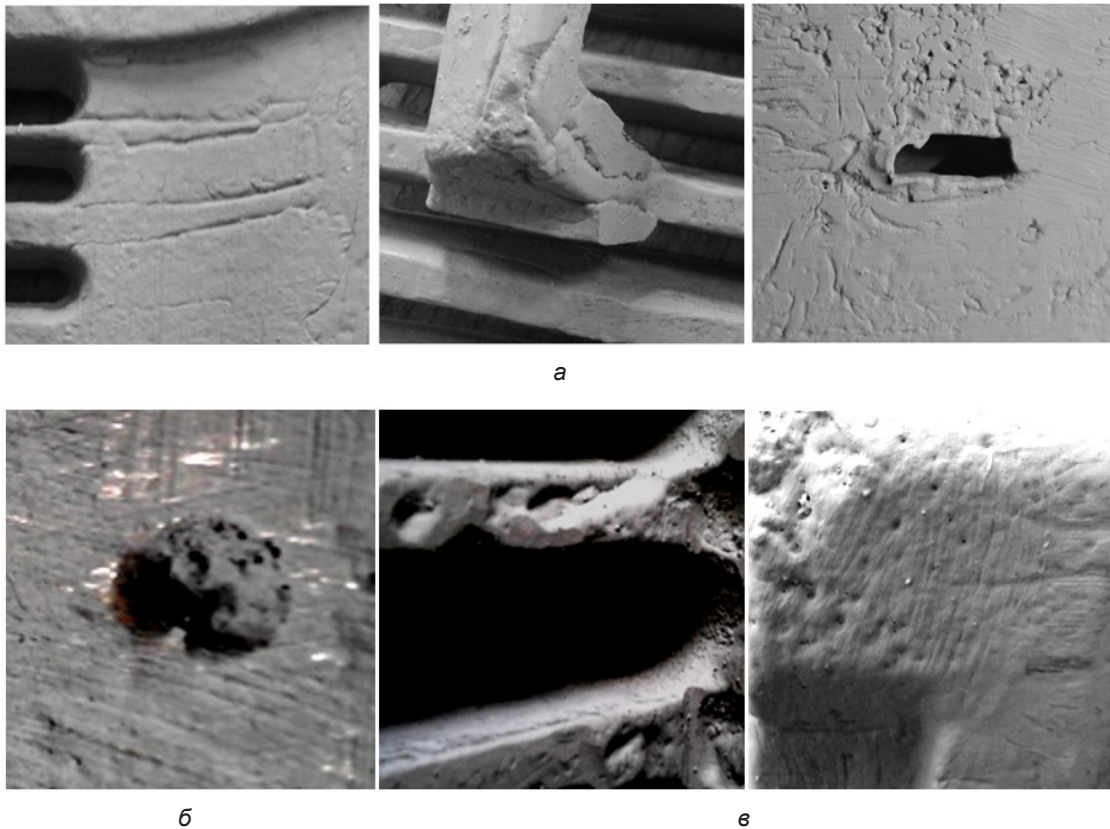


Рис. 5. Вид виправних ливарних дефектів виливків «Плита решітки» промислового виробництва, отриманих у форми, суміш яких була структурована за CO₂-процесом: спай (а); газова раковина (б) і засмічення (в)

Таблиця 4

Результати визначення контрольних розмірів виливків, отриманих в формах, виготовлених за CO₂-процесом і ПМЗ-процесом

Розмір I_{301} ± 1, мм	Число виливків (N, шт), отриманих у формах, виготовлених за про- цесом		Розмір I_{108} ± 1,5, мм	Число виливків (N, шт), отриманих у формах, виготовлених за про- цесом		Розмір I_{242} - 2, мм	Число виливків (N, шт), отриманих у формах, виготовлених за про- цесом	
	CO ₂	ПМЗ		CO ₂	ПМЗ		CO ₂	ПМЗ
299,4	1	0	107,0	2	1	239,8	1	0
299,6	3	0	107,2	3	2	240,0	1	0
299,8	3	2	107,4	9	4	240,2	1	4
300,0	11	5	107,6	13	8	240,4	6	11
300,2	19	8	107,8	17	16	240,6	12	20
300,4	28	17	108,0	22	26	240,8	21	67
300,6	26	34	108,2	32	38	241,0	37	32
300,8	17	56	108,4	19	22	241,2	38	9
301,0	10	15	108,6	12	18	241,4	15	3
301,2	9	8	108,8	11	10	241,6	6	3
301,4	7	3	109,0	3	5	241,8	5	1
301,6	5	1	109,2	0	0	242,0	0	0
301,8	1	1	109,4	1	0	242,2	3	0
302,0	6	0	–	–	–	–	–	–
302,2	2	0	–	–	–	–	–	–

Результати визначення контрольних розмірів виливків-представників, отриманих в формах, виготовлених за CO₂-процесом (144 виливка) і ПМЗ-процесом (150 виливків), наведено в табл. 4.

Результати порівняльного аналізу результатів вимірювань контрольних розмірів виливків (див. табл. 4), виготовлених в різних формах, показують, що точність контрольованих розмірів виливків, виготовлених в формах за ПМЗ-процесом, дещо вища, ніж виливків, виготовлених в формах за CO₂-процесом. При цьому остаточний брак за невідповідністю розмірів виливків, виготовлених в формах за ПМЗ-процесом, склав 1,3 %, а за CO₂-процесом – 4,9 %. У той же час виправний брак виливків за ПМЗ-процесом склав 7 %, а за CO₂-процесом – 95,1 %. При цьому, «розкид» відхилень контрольних розмірів у виливків за ПМЗ-процесом менше, ніж у виливків за CO₂-процесом, про що свідчать криві розподілу розмірів виливків, представлені на рис. 6.

Слід зазначити, що у виливків, які були виготовлені в формах за ПМЗ-процесом, дефекти типу спаїв і газових раковин практично були відсутні, а засміченість мало локальний точковий характер.

Обговорення результатів. Аналіз параметрів шорсткості литих поверхонь циліндричних виливків свідчить, що чистота їх поверхні відповідає 7–10

класу точності відповідно до ДСТУ 8981:2020. Тобто, чистота литої поверхні таких виливків знаходиться на рівні ступеня точності поверхні бронзового лиття в оболонкові форми з термореактивних сумішей, а сталевих і чавунних виливків – на рівні лиття під низьким тиском в кокіль без піщаних стрижнів і вище, ніж у виливків, що виготовляють в піщано-глинистих, вакуум-плівкових формах і формах з рідкоскляних самотвердіючих сумішей.

Аналіз умов виготовлення стрижнів для форм виливка «Плита решітки» показує, що при однаковій витраті кварцового піску на стрижні, однією з причин підвищення якості виливків, виготовлених в форми зі стрижнів, структурованих за ПМЗ-процесом, мабуть, є відмінність величин теплофізичних і технологічних властивостей використовуваних ПРС. Ця різниця призводить не тільки до зниження газотвірної здатності суміші, зміни складу газового середовища в робочій порожнині форми, податливості форми, а й до зміни величин ливарної усадки матеріалу виливка.

Іншою причиною підвищення точності розмірів виливків за ПМЗ-процесом є більш висока точність виготовлення і збірки використовуваних стрижневих ящиків, які для ПМЗ-процесу виготовляли з гіпсу Г-22 з подальшим просоченням робочих і сполучних поверхонь поліметилсілоксаном ПМС-100 за алюмінієвою

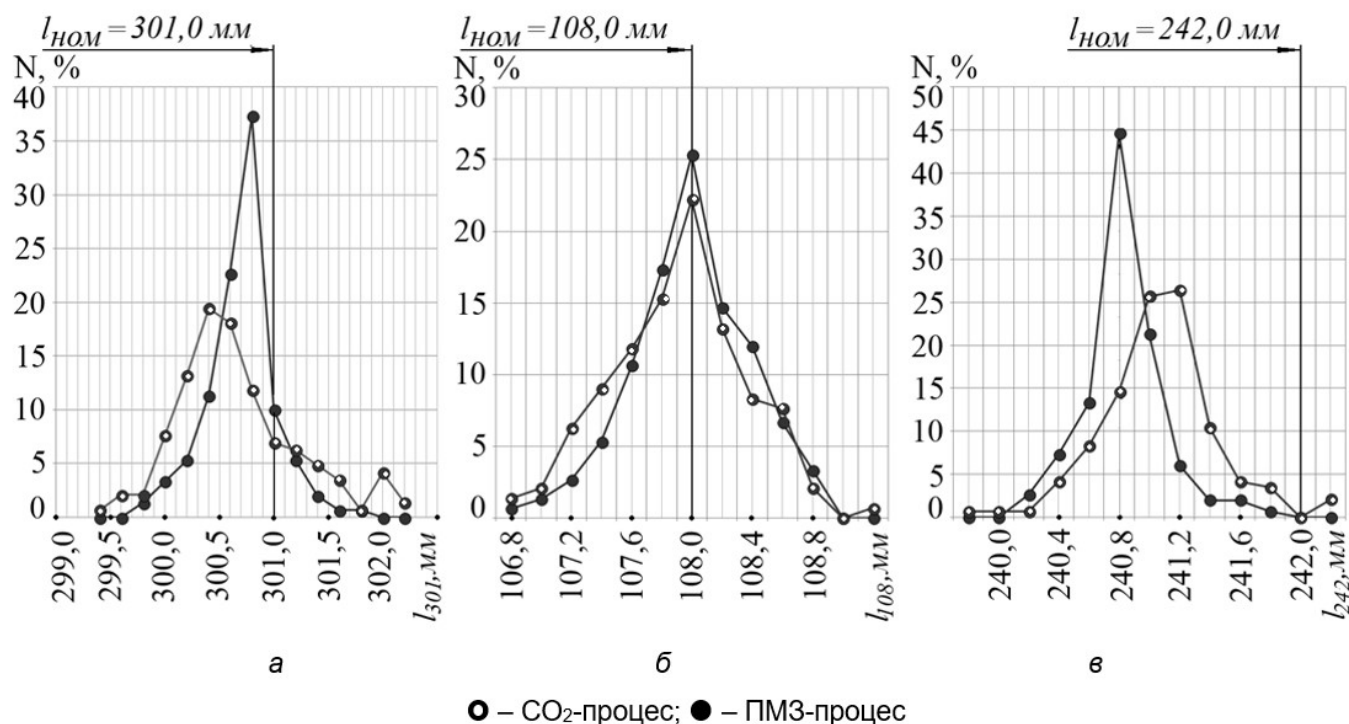


Рис. 6. Гістограми розподілу контрольованих розмірів виливків «Плита решітки» l_{301} (а); l_{108} (б) і l_{242} (в), виготовлених в піщано-рідкоскляних формах, які були структуровані за CO₂-процесом і ПМЗ-процесом

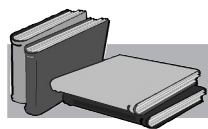
майстер моделлю, а для стрижнів за CO₂-процесом – з дерева механічною обробкою з подальшим фарбуванням всіх поверхонь.

Висновки і перспективи досліджень

Ступінь точності поверхні виливків довжиною від 100 до 250 мм з бронзи, сталі та чавуну, отриманих в форми, що виготовлені за ПМЗ-процесом, вище, ніж у виливків, що виготовляють в піщано-глинистих, вакуум-плівкових формах і формах рідкоскляних самотвердіючих сумішей, яку регламентує ДСТУ 8981:2020.

Точність контрольованих розмірів виливків, виготовлених в формах за ПМЗ-процесом, вище, ніж виливків, виготовлених в формах за CO₂-процесом. При цьому остаточний брак за невідповідністю розмірів і виправним браком за поверхневими дефектами виливків, виготовлених в формах за ПМЗ-процесом, у рази нижче, ніж за CO₂-процесом, а «розкид» величин контрольних розмірів у виливків за ПМЗ-процесом менше, ніж у виливків за CO₂-процесом.

Отримані результати досліджень свідчать про те, що ПМЗ-процес придатний для його використання у виготовленні дрібних виливків загальномашинобудівного призначення.

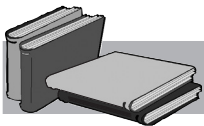


ЛІТЕРАТУРА

- Одарченко И.Б., Прусенко И.Н. Процессы взаимодействия жидкого металла и литейного стержня при формировании качества внутренних полостей отливок. *Литье и металлургия*. 2015. № 4. С. 33–37.
- Груздева И.А., Брусницын С.В., Сулицин А.В., Мысик Р.К., Ожгихин И.В. Влияние добавок на микроструктуру и качество поверхности отливок из сплава системы Cu-Ni-Zn. *Теория и технология металлургического производства*. 2014. № 1. С. 49–50.
- Одарченко И.Б., Прусенко И.Н. Управление качеством литейных стержней и внутренних поверхностей отливок. *Литье и металлургия*. 2015. № 1. С. 12–16.
- Одарченко И.Б., Синицкий А.А., Прусенко И.Н. Обеспечение стабильности внутренних полостей стальных отливок. *Литье и металлургия*. 2019. № 1. С. 24–27. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-24-27>
- Тринева Т.Л. Обеспечение размерной точности формообразующих поверхностей литейной оснастки, изготовленной с помощью технологий быстрого прототипирования (Rapid prototyping). *Процессы литья*. 2009. № 3. С. 31–35.
- Орендарчук Ю.В., Мариненко Д.В., Борисенко С.В., Лоек И.О., Ананьин В.С. Мониторинг качества отливок для использования в системах автоматизированного проектирования технологий литейного производства. *ScienceRise*. 2017. Т. 4. С. 48–52. DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.99442>

7. Куликов В.Ю., Квон С.С., Ковалева Т.В., Щербаква Е.П., Еремин Е.Н. Влияние режимов формообразования песчано-смоляных оболочек на качество изготовленных в них отливок. *Литье и металлургия*. 2019. № 2. С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-2-13-18>
8. Белобров Е.А., Карпенкова О.Л., Белобров Л.Е., Белобров Е.Л. Вспомним забытые технологии: формы из жидкостекольных смесей, отверждаемые на воздухе и при помощи переносных колпаковых газовых или электровентиляторных сушил. *Литье Украины*. 2016. № 2. С. 20–22.
9. Маслов К.А., Леушин И.О., Субботин А.Ю. Теоретические аспекты некоторых методов повышения технологичности жидкостекольных стержневых смесей, отверждаемых по CO_2 -процессу. *Литейщик России*. 2010. № 6. С. 36–38.
10. Белобров Е.А., Карпенкова О.А., Белобров Л.Е., Белобров Е.Л. Вспомним забытые технологии: стержни и формы из жидкостекольных смесей, упрочняемых порошковыми отвердителями. *Литье Украины*. 2016. № 4 (188). С. 25–27.
11. Белобров Е.А., Карпенкова О.А., Белобров Л.Е., Белобров Е.Л. Вспомним забытые технологии: стержни и формы из жидкостекольных смесей, упрочняемых жидкими отвердителями. *Литье Украины*. 2016. № 5 (189). С. 17–21.
12. Белобров Е.А., Карпенкова О.А., Белобров Л.Е., Белобров К.Е., Белобров Е.Л. Вспомним забытые технологии: упрочнение литейных форм инфракрасными и переносными электрическими сушилами. *Литье Украины*. 2019. № 4. С. 24–27.
13. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом. *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. 2011. № 2 (87). С. 208–213.
14. Илларионов И.Е., Стрельников И.А. О применении техногенных отходов в литейном производстве. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2016. Т. 14. № 4. С. 36–41.
15. Пономаренко О.И., Каратеев А.М., Евтушенко Н.С., Берлизова Т.В. Опыт изготовления отливок на основе жидкого стекла с использованием АЦЭГ. *Металл и литье Украины*. 2010. № 11. С. 20–23.
16. Крутилин А.Н., Гуминский Ю.Ю., Русевич О.А., Кульбицкая Л.В. Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Обзорная информация. Ч. 1. Модифицирование. *Литье и металлургия*. 2018. № 1 (90). С. 47–54.
17. Солоненко Л.И., Реп'ях С.І., Узлов К.І. Кінетика структурування піщано-рідкоскляних сумішей паро-мікрохвильовим затвердінням. *Теорія і практика металургії*. 2019. № 4. С. 50–60. DOI: <https://doi.org/10.34185/tpm.4.2019.07>
18. Солоненко Л.И., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Усенко Р.В. Міцність піщано-рідкоскляної суміші, яка структурована способом паро-мікрохвильового затвердіння. *Теорія і практика металургії*. 2019. № 6. С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2019.06>

Надійшла 04.09.2021



REFERENCES

1. Odarchenko, I.B., Prusenko, I.N. (2015). The processes of interaction of liquid metal and a casting core during the formation of the quality of the inner cavities of castings. *Foundry production and metallurgy*, no. 4, pp. 33–37 [in Russian].
2. Gruzdeva, I.A., Brusnitsyn, S.V., Sulitsin, A.V., Mysik, R.K., Ozhgikhin, I.V. (2014). Influence of additives on the microstructure and surface quality of castings from an alloy of the Cu-Ni-Zn system. *Theory and technology of metallurgical production*, no. 1, pp. 49–50 [in Russian].
3. Odarchenko, I.B., Prusenko, I.N. (2015). Quality management of cores and interior surfaces of castings. *Foundry production and metallurgy*, no. 1, pp. 12–16 [in Russian].
4. Odarchenko, I.B., Siniitskiy, A.A., Prusenko, I.N. (2019). The stability of the internal cavities of steel castings. *Foundry production and metallurgy*, no. 1, pp. 24–27, doi: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-1-24-27> [in Russian].
5. Trineva, T.L. (2009). Ensuring the dimensional accuracy of the forming surfaces of casting tooling made using Rapid prototyping technologies. *Casting processes*, no. 3, pp. 31–35 [in Russian].
6. Orendarchuk, Yu.V., Marinenko, D.V., Borysenko, S.V., Loek, I.O., Anan'in, V.S. (2017). Monitoring of castings quality for use in CAD systems of foundry production technologies. *ScienceRise*, vol. 4, pp. 48–52, doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.99442> [in Russian].
7. Kulikov, V.Yu., Kvon, S.S., Kovaleva, T.V., Shcherbakova, E.P., Eremin, E.N. (2019). Influence of the modes of shaping of sand-resin shells on quality of the produced castings. *Foundry production and metallurgy*, no. 2, pp. 13–18, doi: <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-2-13-18> [in Russian].
8. Belobrov, E.A., Karpenkova, O.L., Belobrov, L.E., Belobrov, E.L. (2016). Let us recall the forgotten technologies: molds made of liquid glass mixtures, cured in air and with the help of portable bell-type gas or electric fan dryers. *Casting of Ukraine*, no. 2, pp. 20–22 [in Russian].
9. Maslov, K.A., Leushin, I.O., Subbotin, A.Yu. (2010). Theoretical aspects of some methods for improving the manufacturability of liquid-glass rod mixtures hardened by the CO_2 process. *Foundry worker of Russia*, no. 6, pp. 36–38 [in Russian].
10. Belobrov E.A., Karpenkova O.A., Belobrov L.E., Belobrov E.L. (2016). Let us recall the forgotten technologies: rods and molds made of liquid glass mixtures, hardened with powder hardeners. *Casting of Ukraine*, no. 4, pp. 25–27 [in Russian].
11. Belobrov, E.A., Karpenkova, O.A., Belobrov, L.E., Belobrov, E.L. (2016). Let us recall the forgotten technologists: rods and molds made of liquid glass mixtures, hardened with liquid hardeners. *Casting of Ukraine*, no. 5, pp. 17–21 [in Russian].

12. Belobrov, E.A., Karpenkova, O.A., Belobrov, L.E., Belobrov, K.E., Belobrov, E.L. (2019). Let's remember the forgotten technologies: strengthening of foundry molds with infrared and portable electric dryers. *Casting of Ukraine*, no. 4, pp. 24–27 [in Russian].
13. Illarionov, I.E., Petrova, N.V. (2011). Liquid glass mixtures cured by blowing with carbon dioxide. *Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University*, no. 2, pp. 208–213 [in Russian].
14. Illarionov, I.E., Strelnikov, I.A. (2016). On the use of man-made waste in the foundry. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, no. 4, pp. 36–41 [in Russian].
15. Ponomarenko, O.I., Karateev, A.M., Evtushenko, N.S., Berlizeva, T.V. (2010). Experience of cast making on the basis of liquid glass with the use of ACEG. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 11, pp. 20–23 [in Russian].
16. Krutilin, A.N., Guminsky, Yu.Yu., Rusevich, O.A., Kulbitskaya, L.V. (2018). Improving the efficiency of using liquid glass mixtures. Survey information. Part 1. Modification. *Casting and metallurgy*, no. 1 (90), pp. 47–54 [in Russian].
17. Solonenko, L.I., Repyakh, S.I., Uzlov, K.I. (2019). Kinetics of sand-sodium silicate solute mixtures structuring by steam-microwave solidification. *Theory and practice of metallurgy*, no. 4, pp. 50–60, doi: <https://doi.org/10.34185/tpm.4.2019.07> [in Ukrainian].
18. Solonenko, L.I., Repyakh, S.I., Uzlov, K.I., Usenko, R.V. (2019). Strength of sand-sodium-silicate mixture structured by steam-microwave solidification method. *Theory and practice of metallurgy*, no. 6, pp. 33–39, doi: <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2019.06> [in Ukrainian].

Received 04.09.2021

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>

S.I. Repyakh, Dr. Sci. (Engin.), Senior Researcher, Professor at the Department of Casting Production, e-mail: 123rs@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>

K.I. Uzlov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor at the Department of Material Science, e-mail: konst.uzlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0744-9890>

O.P. Bilyi, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Casting Production, e-mail: baplitvo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1234-5404>

National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Influence of sand-sodium-silicate mixtures structured by steam-microwave solidification method on small castings quality

The purpose of the research is to evaluate the influence of the method of making molds from sand-sodium-silicate mixtures, structured by steam-microwave solidification method on the surface quality and cast products size accuracy and to establish the steam-microwave solidification method suitability for the production of small castings for general engineering purposes. Cast surface accuracy degree according to DSTU 8981:2020 and its roughness parameters have been investigated on Ø30×150 mm castings of steels 40Cr24Ni18Si2L and 30L, flake graphite iron FGI20, bronzes BrSn5Si5Zn5 and BrAl9Fe3L. Castings have been prepared in foundry forms manufactured of structured quartz sand clad with silicon silicate solute in steam-microwave medium. Roughness parameters determination has been carried out by profilometry device equipped with information and computing complex of model 170622.

Influence of molding mixture structuring method determination on casting dimensions accuracy has been carried out on "Grating plate" casting from steel 40Cr24Ni18Si2L. Investigation has been realized by comparing of "Grating plate" overall dimensions and their nominal value variables deviations, as well as comparison of defective castings number, which have been manufactured in forms that were structured by CO₂ process and by the method of steam-microwave solidification. Castings sizes have been measured by caliper with measurement error value up to 0.01 mm. Surface quality of castings from surface defects presence point of view has been evaluated visually.

As per research results it has been found that in accordance with DSTU 8981:2020 degree of castings cast surfaces in the range 100 to 250 mm accuracy corresponds to 7–10 classes, which is at the level of accuracy degree of bronze shell forms molding from thermosetting mixtures. Steel and cast-iron castings are at the level of low pressure casting in chill mold without sand rods and higher than in castings produced in sandy-clay, vacuum-film forms and forms of sodium-silicate-solute self-hardened mixtures.

Accuracy of castings dimensions made in forms by steam-microwave solidification method is slightly higher than castings

made in forms of CO₂ process. In this case, in castings obtained in forms by steam-microwave solidification process, there are no gas cavities and cold laps, and the final lack of sizes mismatches and castings surface defects correctional lack, respectively in 3.7 and 13.5 times lower than in castings that have been made in forms of CO₂ process.

The first examination and in accordance with DSTU 8981:2020 established the level of accuracy of the cast surface and parameters of its roughness for castings of size 100–250 mm of steels 40Cr24Ni18Si2L and 30L, flake graphite iron FGI20, bronzes BrSn5Si5Zn5 and BrAl9Fe3L, which were poured in foundry molds, the mixture of which was structured by steam-microwave solidification method.

Obtained data will be useful when choosing a method of manufacturing molds and rods for the production of small castings for general engineering purposes.

Keywords

Accuracy degree, dimensional accuracy, roughness, defects, casting, sand-sodium-silicate mixture, steam-microwave solidification, CO₂-process.