

УДК 621.74

В. С. Дорошенко, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-0070-5663**П. Б. Калюжний**, к.т.н., ORCID 0000-0002-1111-4826*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України*

ЗАПОБІГАННЯ ПОЯВИ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ НА ВНУТРІШНІХ ПОРОЖНИНАХ КОРПУСНИХ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ

Анотація. Недостатньо висока якість поверхні металевих виливків, які виготовляють в піщаних формах, обумовлена утворенням різних дефектів поверхні, з яких пригар є найпоширенішим. Очищення виливків від пригару призводить до додаткових витрат матеріальних і трудових ресурсів, які можуть сягати 40-60 % загальної трудомісткості виготовлення. Процес підвищення міцності протипригарного покриття ливарних форм і стрижнів можна реалізувати за рахунок оптимізації його складу. За результатом аналізу термохімічних реакцій на контактній межі «розплав – ливарна форма» в процесі теплообміну між виливком і ливарною формою та пов'язаних з ним фізичних процесів, а також гідродинамічних процесів взаємодії у контактній зоні, зокрема специфічних для графітізованого чавуну, після проведення дослідно-промислових робіт було розроблено і застосовано в ливарному виробництві для піщаних форм і стрижнів протипригарні покриття підвищеної стійкості з метою запобігання поверхневих дефектів на внутрішніх порожнинах корпусних чавунних виливків. Склади покриттів комплектували за тією концепцією, щоб енергія високотемпературного впливу металу частково спрямувати на хімічні перетворення в протипригарному покритті та контактній зоні піщаної форми з утворенням сполук, які б сприяли спіканню часток поверхневого прошарку форми при температурі його нагрівання від контактуючого металу. Це служило засобом запобігання тріщин в такому прошарку й уникнення просічень та механічного пригару на поверхні виливків. Також розроблено спосіб зменшення тиску металу від передусадкового розширення графітізованих чавунів на час його дії на поверхню стінок порожнин виливків шляхом своєчасного часткового знеміцнення вакуумованої ливарної форми без порушення заданої геометрії вилівка при застосуванні способу лиття за моделями, що газифікуються.

Ключові слова: виливки, чавун, протипригарне покриття, ливарні форми, дефекти виливків, лиття за моделями, що газифікуються.

Посилання для цитування: Дорошенко В. С., Калюжний П. Б. Запобігання появи поверхневих дефектів на внутрішніх порожнинах корпусних чавунних виливків. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 487-498. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-487-498.

Недостатньо висока якість поверхні металевих виливків, які отримують в піщаних формах, обумовлена утворенням різних дефектів поверхні, з яких пригар є найпоширенішим. Очищення виливків від пригару

призводить до додаткових витрат матеріальних і трудових ресурсів, які можуть сягати 40-60 % загальної трудомісткості виготовлення, що в результаті істотно збільшує собівартість готових виробів та знижує їх конкурентоспроможність [1]. Це аргументує важливість досліджень у галузі покриттів ливарних форм. Водночас застосування таких покриттів - одна із найважливіших умов досягнення точності та високої якості поверхні литих виробів, особливо поверхні внутрішніх порожнин виливка, що відтворюються ливарними стрижнями чи піщаними болванами. Тому, більшість ливарників одноставні в тому, що для забезпечення високої якості поверхні виливків (практично за будь-якого технологічного способу їх виготовлення) застосування ливарних покриттів – один із найефективніших засобів [1-3].

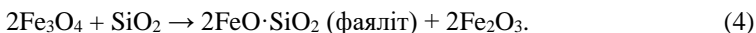
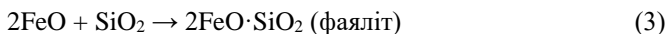
Аналіз процесів у контактній зоні «розплав-ливарна форма» при заливанні форми розплавом та його затвердінні на межі їхнього розділу виявляє різноманітні фізико-хімічні процеси взаємодії (теплофізичні, термохімічні та гідрогазодинамічні), природа та кінетика яких визначають формування властивостей виливка, у тому числі якість його поверхні. Взаємодія компонентів у системі «розплав – ливарна форма – навколишня атмосфера» визначається перепадом температури, зміною агрегатного стану сполук в контактній зоні, тепломасопереносом, фазовими переходами та механічним руйнуванням матеріалів. Фізико-хімічні процеси в контактній зоні «розплав-ливарна форма» як правило протікають у повному взаємозв'язку між ними, найчастіше протягом короткого проміжку часу з досить великими швидкостями та мають нестационарний характер [1].

Серед відомих теорій і гіпотез, які не лише у певних випадках адекватно відображають природу взаємодії розплаву та ливарної форми, але й пояснюють першопричини утворення дефектів поверхні виливків, на нашу думку, для залізовуглецевих сплавів найбільш актуальна окислювальна теорія. Вона пояснює причини утворення пригару на поверхні виливків зі сталі та чавуну в залежності від окислювальних процесів, що протікають при заливанні металу [4, 5]. При цьому сполучною ланкою між виливком та формою є продукти хімічних реакцій оксидів розплаву з матеріалом ливарної форми.

Вважається, що в результаті такої хімічної взаємодії з кварцовим піском форми при високих температурах, притаманних заливанню і кристалізації залізовуглецевих сплавів, утворюються комплексні сполуки, подібні до деяких природних мінералів з нижчою температурою плавлення, ніж температури заливання форми залізовуглецевими сплавами [1, 6]. У більшості випадків проміжними сполуками є мета- та ортосилікати металів, такі як метасилікат заліза - піроксен (FeSiO_3 , $T_{\text{пл}} = 1220 \text{ }^\circ\text{C}$) [1, 6], ортосилікат заліза – фаяліт (Fe_2SiO_4 , $T_{\text{пл}} = 1205 \text{ }^\circ\text{C}$) [7], а також метасилікат марганцю – родоніт (MnSiO_4) та ортосилікат марганцю –

тефроїт (Mn_2SiO_4). Більше того, дослідники, що аналізували міцність зчеплення металу з ливарною формою, встановили, що в процесі термохімічної взаємодії, крім зазначених силікатів, також можливе утворення евтектик, наприклад, складу $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ($T_{\text{пл}} = 1178 \text{ }^\circ\text{C}$), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ($T_{\text{пл}} = 1177 \text{ }^\circ\text{C}$), $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ($T_{\text{пл}} = 1142 \text{ }^\circ\text{C}$) [1, 7], які підвищують міцність пригарних кірок.

При окисленні заліза можуть існувати три оксиди заліза: FeO (оксид заліза II), Fe_2O_3 (оксид заліза III) та комплексна сполука Fe_3O_4 . Оксид Fe_2O_3 , як показують результати досліджень [4], на поверхні вилівка, що твердне, дуже хімічно нестійкий, що призводить до активного проходження реакції $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe} \rightarrow 3\text{FeO}$. Тому саме оксиди FeO та Fe_3O_4 відіграють основну роль у перебігу хімічних реакцій взаємодії з оксидом кремнію SiO_2 у вигляді кварцового піску ливарної форми. Хімічна взаємодія оксиду кремнію SiO_2 (наповнювача ливарної форми) з оксидами заліза FeO та Fe_3O_4 може бути описана таким чином [6]:



Аналіз розрахункових даних реакцій (1)-(4) (рис. 1) [6] свідчить, що в усьому досліджуваному інтервалі температур ізобарно-ізотермічний потенціал ΔG^0_T (енергія Гіббса) приймає від'ємні значення.

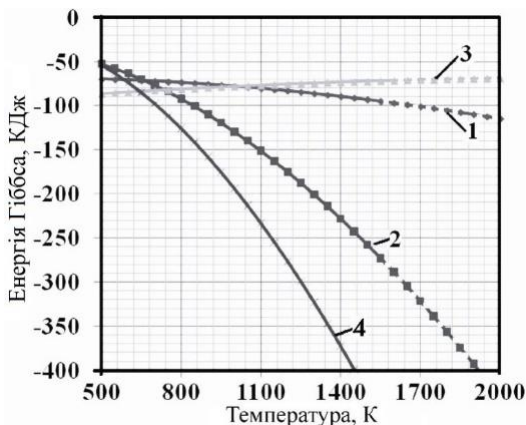


Рисунок 1 - Зміна ізобарно-ізотермічного потенціалу (енергії Гіббса) реакцій утворення силікатів заліза: 1-4 – номери реакцій [6].

Це підтверджує те, що протікання таких взаємодій теоретично можливе. На підставі поясень механізму утворення пригару передусім за участю силікатів заліза відомі методи його профілактики, засновані на регулюванні

окислювальних процесів у контактній зоні за двома підходами:

– 1-й полягає у збільшенні ступеня окислення розплаву у процесі взаємодії з ливарною формою, що реалізується шляхом застосування у складах протипригарних покриттів та формувальних сумішей модифікуючих добавок матеріалів-окислювачів;

– 2-й ґрунтується на процесі відновлення оксидів розплаву, шляхом створення в контактній зоні «розплав – ливарна форма» відновлювальної атмосфери. Саме відновлювальна атмосфера у контактній зоні «розплав – ливарна форма» (реалізація другого варіанта підходу) притаманна для лиття чавунів завдяки наявності в них вуглецю [4]. А описані вище реакції нами в подальшому були застосовані не з огляду утворення в контактній зоні «розплав – ливарна форма» оксидної плівки та цементуючих шар сполук для утворення шару оксидів достатньої товщини, щоб пригарна кірка легко відокремлювалася від виливка (як умови утворення легко відокремлюваного пригару на виливках зі сталі), а з огляду отримання при литті чавуну протипригарних покриттів, які спікаються при нагріванні металом, що заливається. Як приклад таких покриттів, в монографії [8] описано (за яп. пат. № 57-42410) склад протипригарної фарби, мас. долі, %: SiO_2 – 5-40, Fe_2O_3 – 3-20, MgO – решта, змішані з водою чи спиртом.

Покриття з високою здатністю протистояти проникненню металу в пори форми особливо важливе для запобігання появи поверхневих дефектів на внутрішніх порожнинах корпусних чавунних виливків, тим паче з тонкими каналами (які виконуються піщаними болванами чи стрижнями), що розглянемо далі на прикладі виливків апаратури гідравлічних систем - моноблочних гідророзподільників, як на рис. 2.



Рисунок 2 – Чавунні моноблочні гідророзподільники: а – виливок чотирисекційного розподільника і його деталь (нижче) з вирізом для показу каналів; б – деталь трисекційного розподільника розрізана навпіл для демонстрації каналів; в – виливок односекційного розподільника з вирізом і його пінополістирольна ливарна модель з двох половин.

Габаритні розміри найбільшого з показаних трьох видів виливків -

гідророзподільника (рис. 2, а) складає, мм: $516 \times 312 \times 141$ [9]. Вказані деталі гідроапаратури застосовуються в гідросистемах, зокрема землерийної техніки (екскаваторах, тракторах) та гідроприводах інших машин і верстатів, випускаються десятками тисяч на рік різного виду. Якість поверхні каналів таких чавунних виливків нелегко контролювати і очистити за наявності дефектів, які у вигляді просочення піщаного стрижня досить нерідкі. Іноді брак виливків сягав 30 % при нанесенні на стрижні водної графітової фарби з рідкоскляним зв'язувальним.

Приливи на поверхні вилівка, викликані затіканням металу в пори форми чи тріщини, називають просіченнями, приклади показано на рис. 3. В технічній літературі серед іншого для боротьби з ними відоме введення в формувальну суміш добавок, які збільшують її теплоакumulюючу здатність, що прискорює затвердіння металу, наприклад, пилоподібну фракцію залізних оксидів [10].



Рисунок 3 – Просічення на внутрішній поверхні чавунного вилівка при ЛГМ.

Також для усунення на поверхні виливків браку від просічень до складу протипригарної фарби вводять відходи хімічного виробництва – колчеданний огарок, що містить (мас. частка, %): залізо 51,9-52,4; кальцій 1,77-1,86; магній 0,31-0,42; мідь 0,35-0,60; кремній 11,9-12,6; олово 0,009-0,012; сульфати 0,87-0,95; сульфіді 0,58-0,63; сірку 0,0014 – 0,0020; кисень – інше [10]. Під дією металу, що заливається у форму, оксиди зазначених металів викликають спікання компонентів протипригарного покриття та утворення однорідної мало здатної до деформації кірки з алюмоферитів, фаяліту і т.п. Це значно підвищує ерозійну стійкість шару фарби, наслідком чого є запобігання на поверхні чавунних виливків (типу корпусу гідропідсилювача) пригару та просічень

[10]. Дисперсні порошки оксидів заліза чи діоксиду марганцю також перешкоджають насиченню поверхні, особливо сталевих виливків вуглецем [10].

Також для запобігання поверхневих дефектів виливка відоме застосування алюмосилікатів, оскільки під впливом температури ці матеріали схильні до утворення єдиної термодинамічно стійкої сполуки – муліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) [1]. При високій вогнетривкості муліту 1830°C він хімічно стійкий до різних агресивних середовищ, включно з розплавами металів. Одним з найбільш близьких аналогів муліту являється природний мінерал – дистен-силіманіт з загальною хімічною формулою $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ [1]. Це комплексна сполука, що складається з двох мінералів: кіаніту (дистену) и силіманіту. Утворення муліту з дистену (кіаніту) протікає при температурах $900\text{--}1400^\circ\text{C}$, а утворювана в діапазоні температур від $1000\text{--}1500^\circ\text{C}$ мулітова фаза [1] підвищує термостійкість покриття.

Просочення стрижня металом з утворенням просічень, особливо для виливків типу на рис. 2, активізує передусадкове розширення металу, що притаманно кристалізації графітованих чавунів з виділенням в них графіту. Передусадкове розширення в межах $0,6\text{--}1,2\%$, що виміряне на лінійній зміні твердих зразків, починається ще в рідкому металі, який охолоджується нижче 1200°C , закінчується при близько 900°C і залежить в основному від хімічного складу чавуну та швидкості його охолодження [11]. Про наслідок передусадкового розширення свідчить те, що густина сталі приблизно на 10% більша ніж у графітованого чавуну. Це корелюється з тим, що, наприклад, графіт у такому чавуні з вуглецем $3,5\%$ займає об'єм $10\text{--}12\%$ при тому, що за густина графіту приблизно втричі менша ніж у металевої матриці чавуну.

Вплив передусадкового розширення на якість виливків розподільника (рис. 2, а) досліджували при виготовленні цих виливків двома способами: в піщано-глинистій формі з відкритими екзотермічними надливами, що виходили на верхню поверхню форми і підживлювали виливок при його твердненні, та у вакуумованій піщаній формі з сухого піску з випорами на верхній частині виливка замість надливів.

Методами виливання рідкого залишку з виливка при кантуванні щойно залитої форми досліджували процеси, що проходили при заливанні цих форм і твердінні виливків. Виявлено наступні відмінності формоутворення виливка. В піщано-глинистій формі після заливання металом форми внутрішня порожнина її розширюється від металостатичного тиску, випаровування в стінках форми вологи і термодеструкції зв'язувальних компонентів. Рідкий метал в центральні частини підживлюється з надливів, компенсує усадкові процеси, блокуючи утворення усадкової пористості в затверділому металі.

В вакуумованій формі з сипкого піску після заливання металом форми, метал вакуумом з залишковим тиском близько 50 кПа присмоктується до

стілки форми і швидко утворює поверхневу металеву кірку. Стінка форми з віброущільненого піску непорушна, навіть від термічного розширення кварцу при нагріванні можливий додатковий тиск стінки на метал. Після затвердіння металу на поверхні відкритих випорів, що видно на верхньому контрляді форми, вилівок знаходиться в формі з неподатливими стінками, на яких утворена металева кірка. Це підтверджує зважування придатних виливків, з піщано-глинистої форми вилівок важив $93,9 \pm 1,2$ кг, а вакуумованої – $86,4 \pm 1,0$ кг при зменшенні припусків на механічну обробку. При цьому економиться близько 80 кг металу на 1 тонні виливків та скорочуються витрати на механообробку за рахунок підвищення точності виливка [9]. Проте, в затиснутому таким чином у вакуумованій формі виливкові, практично як у замкнутому об'ємі, неможливо послабити тиск від передусадкового розширення чавуну.

В обох випадках тонкостінний піщаний стрижень тривалий час знаходиться в оточенні рідкого металу, який прогріває стрижень до температури вище температури солідуса. Внутрішні зони металу тверднуть останніми, бо майже весь тепловідвід проходить через зовнішні поверхні виливка. Якщо в першому випадку тиск від передусадкового розширення чавуну ослаблюється деякою деформацією форми і наявністю рідкого металу у надливах, то в другому випадку необхідно зразу припинити вакуумування форми при затвердненні металу на поверхні випорів для зменшення міцності форми і ослаблення тиску від передусадкового розширення чавуну завдяки деякій деформації стінок форми з сухого піску для уникнення просочення стрижня металом під дією тиску від передусадкового розширення [12].

Важливість врахування ролі передусадкового розширення чавуну, особливо при литті за моделями, що газифікуються (ЛГМ, Lost Foam Casting Process), у вакуумованих формах для забезпечення якості виливків відмічено у монографії В.С. Шуляка з ілюстрацією на графіку усадки виливків чавуну при ЛГМ (рис. 4) [13]. Чим вища міцність форми і швидкість охолодження виливка, тим менше його зовнішнє розширення і вища усадка. Також при ЛГМ контакт металу з формою проходить у відновлювальній атмосфері газів від термодеструкції разової моделі з вуглеводневих пінополімерів, тому із двох зазначених вище підходів регулювання окислювальних процесів у контактній зоні слід реалізувати саме другий. Значення впливу передусадкового розширення чавуну на якість виливків підтверджено цеховою ливарною практикою в тому, що за однакових формувальних умов і однаковій протипригарній фарбі одні і ті ж виливки з чавуну при ЛГМ мають дефекти на внутрішніх поверхнях, а виливки зі сталі їх не мають. Переважній більшості марок сталей не властиве передусадкове розширення.

Враховуючи вплив передусадкового розширення чавуну, для попередження появи поверхневих дефектів на внутрішніх порожнинах

корпусних чавунних виливків було розроблено склади протипригарних покриттів водних з рідким скло (ГОСТ 13078-81) і з розчинниками швидкого висихання (табл. 1, 2). Добавка дрібнодисперсного порошку залізного сурика, основу якого складає Fe_2O_3 (ГОСТ 8135-74), крім створення умов спікання, сприяє оптимізації гранулометричного складу покриття при зменшенні у ньому пор, а також підвищує його теплопровідність. Також позитивну роль відіграє дистен-силіманітовий концентрат, з якого можливе утворення муліту за достатніх для цього термо-часових умов.

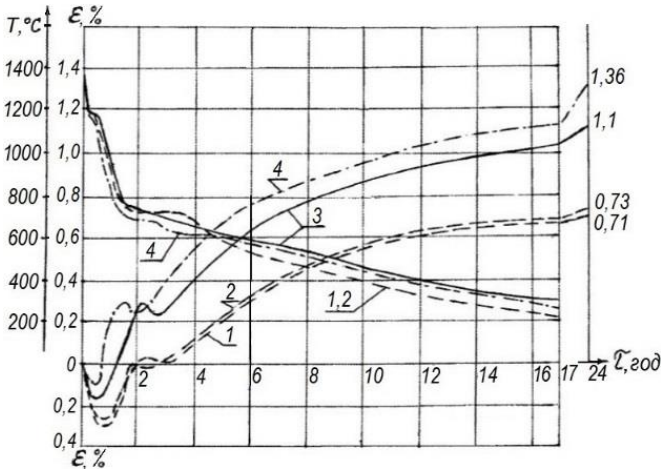


Рисунок 4 – Усадка ϵ вилівка з чавуну (від нуля) відповідно до його температури T за час τ : 1, 2 – піщано-глиниста форма; 3 – вакуумована форма з кварцового піску при ЛГМ; 4 – форма з металевого піску [13].

Таблиця 1 – Водні протипригарні покриття з рідким скло.

Матеріал	Склад, мас. частини		
	Покриття 1	Покриття 2	Покриття 3
Маршаліт (пилевидний кварц)	24,2	-	-
Дистен-силіманітовий концентрат	-	19,8	28
Графіт чорний марки ГЛС-3	-	13,6	7
Графіт чорний марок ГЛС-1, ГЛС-2	16,2	-	-
Сурик залізний	6,0	5,6	5
Рідке скло	29,5	34,0	30
Вода	23,7	27,0	30
Всього	100,0	100,0	100
Густина фарби, г/см ³	1,67 – 1,69	1,68 – 1,70	1,68 – 1,71

Таблиця 2 – Протипригарні покриття швидкого висихання.

Матеріал	Покриття № 1		Покриття № 2	
	Склад, мас. ч	В кг на 100 кг рідкого	Склад, мас. ч	В кг на 100 кг рідкого
Ізопропіловий чи етиловий спирт (розчинник 646)	46	100	48	100
Графіт чорний	33	72	4	9
Пульвербакеліт ПК-104	4	9	4	9
Маршаліт (пиловидний кварц)	13	28	-	-
Дистен-силіманітовий концентрат	-	-	40	80
Сурик залізний	4	9	4	9
Всього	100	218	100	217
Густина фарби, г/см ³	1,30-1,33	-	1,30-1,33	-

Також запропоновано дослідно-промислове протипригарне покриття (табл. 3) з метою поліпшення умов спікання аналогічних з рецептур з патентів України №№ 31134, 58824, 150466, розроблених у відділі проф. О. Й. Шинського, для ЛГМ виливків типу (рис. 2, в). Склад цього покриття включає: вогнетривкий наповнювач – дистен-силіманітовий концентрат, зв'язувальні компоненти – декстрин кислотний і бентоніт, регулятор газопроникності покриття – перліт, добавка для підвищення тріщиностійкості при термічній деформації (термоміцності) – сурик залізний, стабілізатор – альгінат натрію, засіб дезінфекції для підвищення живучості – формалін, дисперсійне середовище – вода. Склад покриття підтримують товщиною 0,5-0,8 мм і уточнюють для виливків конкретної маси і марки чавуну.

Таблиця 3 – Протипригарне покриття для моделей, що газифікуються

Матеріал	Склад, мас. частини
Дистен-силіманітовий концентрат	35-40
Декстрин кислотний	10-20
Бентоніт	5-15
Перліт	0-10
Сурик залізний	5-6
Вода	решта до густини 1,55-1,65 г/см ³
Альгінат натрію	0,3-4,0 (від маси готового покриття)
Формалін	0,5-3,0 (від маси готового покриття)

Висновки

В результаті аналізу термохімічних реакцій на контактній межі «розплав – ливарна форма» в процесі теплообміну між виливком і ливарною формою та пов'язаних з ним фізичних процесів, а також

гідродинамічних процесів взаємодії у контактній зоні, специфічних для графітізованого чавуну, після проведення дослідно-промислових робіт було розроблено і застосовано в ливарному виробництві для піщаних форм і стрижнів протипригарні покриття високої стійкості з метою запобігання поверхневих дефектів на внутрішніх порожнинах корпусних чавунних виливків. Склади покриттів комплектували за тією концепцією, щоб енергію високотемпературного впливу металу частково спрямувати на хімічні перетворення в протипригарному покритті і контактній зоні піщаної форми з утворенням сполук, які б сприяли спіканню часток поверхневого прошарку форми при температурі його нагрівання від контактуючого металу. Це служило засобом запобігання тріщин в цьому прошарку і уникнення просічень та механічного пригару. Також розроблено спосіб зменшення тиску від передусадкового розширення графітізованих чавунів на час його дії на поверхню порожнин виливків шляхом своєчасного часткового знеміцнення вакуумованої ливарної форми без порушення заданої геометрії виливка.

Перелік посилань

1. Марукович Е. И., Николайчик Ю. А. Повышение эффективности покрытий литейных форм путем модифицирования наноструктурированными материалами. *Актуальные проблемы прочности* : монография. В 2 т. НАН Беларуси, Витебский ГТУ; под ред. В. В. Рубаника. Витебск: ВГТУ, 2018. Т. 2. Гл. 12. С. 231-253.
2. Оболенцев Ф. Д. *Качество литых поверхностей*. М. : Машгиз, 1961. 183 с.
3. Сварика А. А. *Покрyтия литейных форм*. М.: Машиностроение, 1977. 216 с.
4. Дорошенко С. П., Дробязко В. Н., Ващенко К. И. *Получение отливок без пригара в песчаных формах*. М. : Машиностроение, 1978. 233 с.
5. Васин Ю. П., Иткис З. Я. *Окислительные смеси в конвейерном производстве сталеного литья*. Челябинск : Южно-Уральск. кн. изд-во, 1973. 154 с.
6. Кукуй Д. М., Николайчик Ю. А., Судник Л. В. Термодинамический анализ химических реакций в контактной зоне металл – протипригарное покрытие. *Литье и металлургия*. 2010. № 3. С. 51-56.
7. Журавлев Ф. М., Лялюк В. П., Ступник Н. И., Моркун В. С. и др. *Подготовка металлургического сырья для доменной и бездоменной металлургии железа*. Т. 2. Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 380 с.
8. Дорошенко С. П., Авдокушин В. П., Русин К. Машашек И. *Формовочные материалы и смеси*. К. : Выща шк., 1990. Прага СНТЛ. 415 с.
9. Дорошенко В. С., Шинский В. О. Особенности литья высокопрочного чугуна в вакуумируемые формы. *Металл и литье Украины*. 2015. № 9. С. 18 – 21.
10. Кукуй Д. М., Андрианов Н. В. *Теория и технология литейного производства формовочные материалы и смеси* : Учебн. Пособие. Мн.: БНТУ, 2005. 361 с.
11. Нандори Г., Дьюл Дж. Контроль измерения объема серого и высокопрочного чугунов при их затвердевании. *Экспресс-информация ВИНТИ*, 1980. ТОЛП № 9. С. 1-8.
12. А.с. 1792791 СССР: МКИ В22С 9/02. *Способ получения отливок без прибылей из чугуна с шаровидным графитом в вакуумно-пленочных формах*. Опубл.

07.02.1993, Бюл. № 5.

13. Шуляк В. С. *Литьё по газифицируемым моделям*. Санкт-Петербург: Профессионал, 2007. 405 с.

References

1. Marukovich E. I. Nikolaichik Iu. A. Increasing the efficiency of casting mold coatings by modifying with nanostructured materials. *Aktualnye problemy prochnosti: monografiia*. NAN Belarusi, Vitebskii GTU; pod red. V. V. Rubanika. Vitebsk: VGTU, 2018. Vol. 2. Chapter 12. P. 231-253.
2. Obolentsev F. D. *Quality of cast surfaces*. Moskva: Mashgiz, 1961. 183 p.
3. Svarika A. A. *Coatings of casting molds*. Moskva: Mashinostroenie, 1977. 216 p.
4. Doroshenko S. P., Drobiazko V. N., Vashchenko K. I. *Obtaining castings without burning in sand molds*. Moskva: Mashinostroenie, 1978. 233 p.
5. Vasin Iu. P., Itkis Z. Ia. *Oxidative mixtures in the conveyor production of steel casting*. Cheliabinsk Iuzhno-Uralsk kn izd-vo, 1973. 154 p.
6. Kukui D. M., Nikolaichik Iu. A., Sudnik L. V. Thermodynamic analysis of chemical reactions in the contact zone metal - non-stick coating. *Lite i metallurgiiia*. 2010. No. 3. P. 51-56.
7. Zhuravlev F. M., Lialiuk V. P., Stupnik N. I., Morkun V. S., et al. *Preparation of metallurgical raw materials for blast-furnace and non-domain metallurgy of iron*. Vol. 2. Moskva; Vologda Infra-Inzheneriia, 2021. 380 p.
8. Doroshenko S. P., Avdokushin V. P., Rusin K. Matsashek I. *Molding materials and mixtures*. K[^]yiv: Vyscha shk., 1990. Praga SNTL. 415 p.
9. Doroshenko V. S., Shinskii V. O. Features of high-strength cast iron casting in vacuum molds. *Metall i lite Ukrainy*. 2015. No. 9. P. 18 – 21.
10. Kukui D. M., Andrianov N. V. *Theory and technology of foundry production, molding materials and mixtures*: Uchebn Posobie. Minsk: BNTU, 2005. 361 p.
11. Nandori G., Diul Dzh. Control of measuring the volume of gray and high-strength cast irons during their hardening. *Ekspress-informatsiia VINITI*, 1980. TOLP No. 9. P. 1-8.
12. A.S. 1792791 USSR: MKI B22C 9/02. *A method for producing castings without heads from cast iron with nodular graphite in vacuum-film molds*. Publ. 02.07.1993, Bull. 5.
13. Shulyak V.S. *Casting on gasified patterns*. Sankt-Peterburg: Professional, 2007. 405 p.

V. S. Doroshenko, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-0070-5663

P. B. Kaliuzhnyi, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0002-1111-4826

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine

PREVENTION OF SURFACE DEFECTS ON THE INTERNAL CAVITIES OF CASING IRON CASTINGS

Summary. The insufficiently high quality of the surface of metal castings, which are made in sand molds, is due to the formation of various surface defects, of which galling is the most common. Cleaning castings from scorch leads to additional costs of material and labor resources, which can reach 40-60% of the total labor intensity of production.

"Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії". 2022. Випуск 36
"Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy". 2022. Collection 36

The process of increasing the strength of the non-stick coating of casting molds and rods can be implemented by optimizing its composition. According to the result of the analysis of thermochemical reactions at the contact interface "melt - mold" in the process of heat exchange between the casting and the casting mold and related physical processes, as well as hydrodynamic processes of interaction in the contact zone, in particular, specific for graphitized cast iron, in order to prevent surface defects on the internal cavities of body cast iron castings, after experimental and industrial work, non-stick coatings of increased resistance were developed and applied in foundry production for sand molds and rods. Coating compositions were completed according to the concept of partially directing the energy of the high-temperature exposure of the metal to chemical transformations in the non-stick coating and the contact zone of the sand mold with the formation of compounds that would contribute to the sintering of the particles of the surface layer of the mold at the temperature of its heating from the contacting metal. This served as a means of preventing cracks in such a layer and avoiding cracks and mechanical burning on the surface of castings. A method of reducing the metal pressure from the pre-shrinkage expansion of graphitized cast irons during its action on the surface of the walls of the casting cavities by the timely partial weakening of the vacuumed casting mold without disturbing the given geometry of the casting when applying the method of casting according to gasifying patterns has also been developed.

Key words: castings, cast iron, non-stick coating, molds, casting defects, Lost Foam Casting Process.

For citation: Doroshenko V. S., Kaliuzhnyi P. B. Zapobihannia poiavy poverkhnevyykh defektiv na vnutrishnikh porozhnynakh korpusnykh chavunnykh vylyvkviv [Prevention of surface defects on the internal cavities of casing iron castings]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 487-498. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-487-498.

*Стаття надійшла до редакції збірника 02.11.2022 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*