
ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, МЕХАНІЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ

УДК 621.74:669.13.017

К. А. Сіренко, мол. наук. співроб.; e-mail: thermoexp.metal@gmail.com

В. Л. Мазур, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., гол. наук. співр.;
e-mail: prof.vlm@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ОЦІНКА СТАБІЛЬНОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОМИСЛОВИХ ПАРТІЙ СИНТЕТИЧНОГО ЧАВУНУ

Наведено огляд підходів щодо оцінки стабільності вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну і механічних властивостей виготовлених з нього гальмових колодок і фрикційного клину Ханіна для залізничних вагонів. Поняття «стабільність» визначено як здатність процесу виплавлення синтетичного чавуну і виготовлення з нього ливарних виробів функціонувати не змінюючи свої параметри, перебуваючи у рівновазі та підтримуючи сталість у часі. Встановлено, що коефіцієнти варіації вмісту вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, сірки у синтетичному чавуні для виготовлення гальмових колодок і клину Ханіна знаходяться у межах від $\sim 0,01$ до $0,21$, твердості HB і міцності гальмових колодок на злам складала $0,084$ і $0,124$. Це свідчить про достатню стабільність хімічного складу і механічних властивостей синтетичного чавуну. Показано, що коригування масивів первинної заводської інформації відносно вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну видаленням помилкових значень з масивів даних практично не змінює середні величини вмісту вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, сірки і це засвідчує достовірність зазначеної інформації. Встановлено, що величини вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну вказаного призначення не корелюють між собою. Твердість та міцність на злам гальмових колодок і твердість клину Ханіна не корелюють ні з вмістом окремих хімічних елементів, ні з вуглецевим еквівалентом такого чавуну. Рекомендовано шляхи посилення в стандартах вимог до рівня і дозволених діапазонів розподілу вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну, призначеного для виготовлення гальмових колодок для рухомого складу залізниці. Вміст сірки у синтетичному чавуні для виготовлення зазначених ливарних виробів доцільно зменшити з $0,20$ до $0,05$ %. Підкреслено, що для виключення надходження споживачам колодок з невиявленими поверхневими дефектами необхідно в стандартах на цю продукцію передбачити їх обов'язкову дробоструменеву обробку.

Ключові слова: синтетичний чавун, хімічний склад, технологія, стабільність, гальмові колодки, клин Ханіна, виробництво.

Вступ

Тенденція подальшого розвитку ливарного виробництва полягає в розширенні використання синтетичного чавуну, який виплавляють у сучасних індукційних тигельних печах, для виготовлення відповідальної продукції [1–3]. У статтях і тезах доповідей, наприклад [4–8], наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень хімічного складу, мікроструктури, властивостей та експлуатаційних характеристик ливарних виробів із синтетичного чавуну, призначених для використання на залізниці. Зокрема гальмових колодок для гальмівних систем рухомого складу та фрикційного клину Ханіна. Значна кількість публікацій присвячена результатам дослідження процесів формування мікроструктури синтетичних чавунів в цілому або її окремих складових, наявності і розташування включень графіту [9–14]. Суттєвий вклад у розвиток теорії виплавлення синтетичного чавуну внесли результати робіт вітчизняних і закордонних авторів щодо удосконалення методу термічного експрес-аналізу чавунів під час плавки, заснованого на розпізнаванні форми кривих охолодження [15–16]. Багато публікацій присвячено результатам досліджень експлуатаційних характеристик чавунних гальмових колодок у порівнянні з колодками із так званих композиційних матеріалів (гумоазбестових чи гумобезазбестових), впливу структури і властивостей чавуну на їх зносостійкість [5, 7, 17].

Постановка проблеми. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених синтетичним чавунам і виробам з них, недостатньо дослідженою є тема стабільності їх хімічного складу і механічних властивостей металу у різних партіях, плавках. Певною мірою стабільність хімічного складу і механічні властивості синтетичного чавуну, виплавленого на одному з українських ливарних заводів, розглянуто в ґрунтовній статті [12]. Але ця тема настільки велика, що потребує подальшого всебічного дослідження.

Термін «стабільність» стосовно технології виробництва і якості синтетичного чавуну використовується в науковому аспекті з позицій енциклопедичного трактування цього поняття. У дослідженні, результати якого розглянуто нижче, поняття «стабільність» характеризує здатність технології виплавлення синтетичного чавуну і виробництва з нього литва різного призначення функціонувати, не змінюючи свій стан, зберігати і проявляти свої властивості, перебувати у рівновазі, витримуючи вплив зовнішніх факторів, підтримуючи сталість у часі. При цьому поняття «стабільність» розглядається в прив'язці до суті питань у контексті теми дослідження ефективності виплавлення синтетичного чавуну і якості ливарної продукції, виготовленої з нього.

Зазначимо, поняття «стабільність» використовується у промисловості найчастіше по відношенню до стабільності механічних систем. Але нерідко це поняття застосовують й в інших, окрім техніки, наукових сферах, навіть в теорії державного управління, в економіці, при розгляді розвитку фінансових ринків тощо [18].

Аналізуючи виробництво ливарної продукції з синтетичного чавуну, першочерговим завданням стає виявлення показників (параметрів) цього процесу, які об'єктивно відображають його стабільність та/або характеризують якість виготовленого литва, а також змінні величини та фактори, від яких стабільність залежить. В подібному дослідженні необхідно визначити основні зовнішні фактори, які найбільше дестабілізують хімічний склад синтетичного чавуну, і механічні властивості виготовленої з нього продукції. До того ж предметом дослідження мають бути не тільки питання, які стосуються технології виплавки синтетичного чавуну, а й увесь цикл виробництва ливарної продукції відповідного призначення. Перелік названих питань є по суті програмою максимум в темі, що розглядається.

У даній статті продовжено аналіз результатів дослідження [17] хімічного складу і властивостей синтетичного чавуну, виплавленого на ливарному заводі ТОВ «М-ЛИТ», з якого виготовляють гальмові колодки і фрикційний клин Ханіна для залізниць [4–5, 8]. Особливість даної роботи полягає, окрім встановлення ступеня стабільності хімічного складу і механічних властивостей ливарних виробів, в намаганні оцінити вплив випадкових похибок фіксації, контролю в промислових умовах зазначених показників на загальні висновки щодо поставлених питань.

Об'єктом дослідження є хімічний склад синтетичного чавуну та механічні властивості гальмових колодок типу «М» і фрикційного клину Ханіна, виготовлених з такого чавуну [17]. Предметом дослідження є стабільність хімічного складу і механічних властивостей промислових партій зазначеної ливарної продукції з синтетичного чавуну, а також достовірність інформації щодо стану технології плавки синтетичного чавуну і показників якості виробленого з нього литва. Дослідження виконано на сучасному ливарному заводі ТОВ «М-ЛИТ» (м. Нікополь), оснащеному обладнанням провідних машинобудівних фірм, які спеціалізуються в галузі металургії [4, 5, 7, 8, 17].

Мета і задачі дослідження. В нашій роботі [17] наведено результати статистичної обробки масиву інформації щодо хімічного складу і механічних властивостей більше 200 партій (плавок) гальмових колодок типу «М» і клину Ханіна, які отримали безпосередньо в промислових умовах заводу ТОВ «М-ЛИТ». Під час статистичної обробки первинної інформації щодо вмісту хімічних елементів у чавуні та механічних властивостей виробів з нього будь-яку корекцію масиву даних шляхом видалення сумнівних значень ми не здійснювали, щоб не втратити відомості, цікаві з наукової й практичної точок зору. Тобто не викреслювали з аналізу інформацію, яка має прихований характер, але є важливою.

У зв'язку із зазначеним мета дослідження полягала у виявленні достовірності даних щодо вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну і його механічних властивостей, які отримали безпосередньо в умовах промислового виробництва, а також – в оцінці впливу на достовірність даних відсіву грубих і випадкових помилок з використанням методів прикладної статистики. Ґрунтовні результати досліджень процесу доменної плавки чавуну, виконані в Інституті чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України і представлені в монографії [19], засвідчили ефективність подібного наукового підходу.

Методи дослідження. Основним методом дослідження є системний аналіз даних промислової практики щодо розподілів величин вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну і механічних властивостей виготовлених з нього гальмових колодок та клину Ханіна. Під час виконання даної роботи, як і роботи [17], використано загальнонаукові підходи – статистичні методи збору та обробки інформації.

Оцінку даних стосовно хімічних елементів в синтетичному чавуні та механічних властивостей гальмових колодок типу «М» і клину Ханіна виконали за правилом «трьох сигм» для виключення з аналізу стабільності цих показників грубих помилок. Тобто з масиву даних видалили точки, які виходили за межі трьох сигм, де сигма – середньоквадратичне відхилення змінної від її середнього значення. З масиву первинних даних видалили звісно й помилкові значення також методом експертної оцінки. В програмному комплексі Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України передбачено процедуру їх виявлення і видалення [19, с. 80–82]¹. В роботі [12], наприклад, явні «викиди» видаляли з розподілів значень показників синтетичного чавуну, який досліджували, на підставі досвіду експертів. Це загальноприйнятий підхід при виконанні подібних досліджень.

Результати дослідження та їх обговорення. Хімічний склад синтетичного чавуну промислових плавок, з якого виготовлені гальмові колодки типу «М» згідно з вимогами ГОСТ 30249-97 і клину Ханіна згідно з ГОСТ 1412-85 (приблизно по 100 партій кожного виробу), представлено в таблицях 1, 2 нашої статті [17]. У цих таблицях також наведено значення твердості HB та руйнівної сили на злам виробів кожної партії. В таблиці 3 статті [17] наведено статистичні характеристики (мінімальні, максимальні, середні значення) вмісту хімічних елементів у складі чавуну та механічних властивостей цих виробів. Підкреслимо, що в статті [17] статистичні характеристики та гістограми відображають розподіли величин вмісту елементів у хімічному складі чавуну і твердості виробів без будь-якої корекції первинних заводських даних. В таблиці наведено для порівняння статистичні характеристики того ж масиву після фільтрації даних і видалення грубих помилкових значень показників відповідно до процедури, викладеної в монографії [19].

Наведені в таблиці порівняння статистичних характеристик розподілів величин вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну свідчать, що видалення з

¹ Статистичну обробку масиву даних виконано під керівництвом Д. М. Тогобицької

Таблиця

Статистичні параметри розподілів показників вмісту хімічних елементів (%) в різних партіях (плавках) чавуну при виготовленні гальмових колодок і клину Ханіна до і після коригування даних на предмет видалення грубих помилок

Елементи	Гальмові колодки типу «М»		Фрикційний клин Ханіна	
C	<u>2,76–3,04</u> 2,889	<u>2,85–2,96</u> 2,894	<u>2,75–3,06</u> 2,948	<u>2,89–3,01</u> 2,955
Si	<u>1,04–1,20</u> 1,17	<u>1,14–1,20</u> 1,18	<u>1,08–1,55</u> 1,329	<u>1,17–1,54</u> 1,325
Mn	<u>0,68–0,96</u> 0,867	<u>0,76–0,96</u> 0,878	<u>0,69–1,01</u> 0,844	<u>0,75–1,01</u> 0,845
P	<u>0,61–0,83</u> 0,699	<u>0,61–0,79</u> 0,700	<u>0,019–0,059</u> 0,034	<u>0,023–0,049</u> 0,033
S	<u>0,0–0,044</u> 0,031	<u>0,02–0,044</u> 0,031	<u>0,018–0,041</u> 0,030	<u>0,018–0,039</u> 0,029

Примітка. У чисельнику – мін-макс, у знаменнику – середні значення показників; в перших колонках – показники первинних даних; в других колонках – показники після коригування масиву даних

масиву даних грубих помилок суттєво не впливало на загальні результати аналізу. Середні величини вмісту C, Si, Mn, P, S майже не змінювалися після очищення даних від випадкових значень. Це позитивна особливість. В той же час, коригування даних показало, що фактичні діапазони розподілу хімічних елементів у синтетичному чавуні суттєво менші, ніж згідно з первинними даними заводського контролю.

Згідно з результатами, наведеними в таблиці, уточнення первинної інформації дає підстави стверджувати, що в чавуні, з якого виготовлені гальмові колодки, діапазони розмаху вмісту C, Si, Mn помітно вужчі, порівнюючи з первинними даними. Діапазон вмісту C зменшився з (2,76–3,04) до (2,85–2,96), тобто з 0,28 до 0,11 %; діапазон Si – з 0,16 до 0,06; Mn – з 0,28 до 0,20. При цьому показники вмісту фосфору і сірки залишаються незмінними. Аналогічні результати отримано і відносно вмісту хімічних елементів у виробках «клин Ханіна». Так, діапазон вмісту вуглецю скоротився від (2,75–3,06) до (2,89–3,01), тобто на 0,19 %.

Таким чином, дані таблиці свідчать, по-перше, про відносно високу стабільність вмісту хімічних елементів у синтетичному чавуні для виготовлення литва зазначеного призначення і про відповідність хімічного складу чавуну вимогам стандартів із врахуванням допустимих відхилень. По-друге, наведені дані надають підстави для рекомендацій щодо зменшення вмісту і діапазонів розподілу окремих хімічних елементів у стандартах на ливарну продукцію, яка досліджувалася. Зокрема зменшення допустимого вмісту сірки з 0,20 до 0,05 %. По-третє, практична рекомендація виробникам полягає у доцільності зміщення діапазонів розподілу вмісту Si та Mn у складі синтетичного чавуну для гальмових колодок в бік менших величин.

Ці результати свідчать також про достатню достовірність і надійність даних заводського контролю вмісту елементів у хімічному складі синтетичного чавуну в промислових партіях ливарних виробів з нього.

Стабільність вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну характеризують не тільки їх середні значення та діапазони коливань (таблиця), а й загально визнаний за подібних досліджень – коефіцієнт варіації (відношення середньоквадратичного відхилення до середньої величини показника). Згідно з даними цієї таблиці коефіцієнт варіації вмісту C, Si, Mn, P, S у чавуні, з якого були виготовлені гальмові колодки, складав 0,016; 0,027; 0,058; 0,059; 0,185 для первинних даних. Видалення помилкових значень з масиву даних практично не впливало на значення цього коефіцієнту: 0,0098; 0,0155; 0,0446; 0,0515; 0,1943.

Коефіцієнти варіації цих хімічних елементів у складі чавуну для клину Ханіна виявилися ще меншими. А саме: 0,017; 0,070; 0,079; 0,210; 0,160 відповідно для первинних даних, і 0,013; 0,064; 0,073; 0,167; 0,145 після видалення помилкових значень з вибірки. Аналогічні результати отримані щодо коефіцієнтів варіації твердості HB гальмових колодок (0,073–0,084) відповідно до первинних даних і (0,069–0,082) після видалення помилок з масиву вибірок. Трохи більші значення коефіцієнтів варіації щодо величини міцності на злам колодок: до коригування даних – 0,124, після – 0,128. Усі ці дані свідчать про достатньо високу стабільність хімічного складу синтетичного чавуну зазначеного призначення і механічних виробів з нього.

Результати виконаного дослідження не виявили кореляції між величинами вмісту C, Si, Mn, P, S в синтетичному чавуні, призначеному для виготовлення гальмових колодок і клину Ханіна. В цьому полягає основна відмінність синтетичного чавуну від доменного. В монографії [19, с. 81–82], наприклад, підкреслено, що численними дослідженнями встановлено зв'язок вмісту кремнію і сірки в доменному чавуні. Аналогічно встановлено зв'язок коефіцієнтів розподілу кремнію і марганцю, сірки і марганцю, вмісту фосфору і кремнію тощо в доменному чавуні. Суттєві залежності коефіцієнтів розподілу сірки і марганцю від коефіцієнта розподілу кремнію, а також вмісту фосфору у доменному чавуні від вмісту кремнію і марганцю представлено на рис. 5, 6 монографії [19]. Зазначені особливості хімічного складу доменного чавуну створюють складнощі при використанні його як шихти для виплавлення ливарного чавуну у вагранках. Небажано високий вміст сірки, відсутність можливості регулювання хімічного складу і складнощі з дотриманням заданого стандартами вмісту інших елементів в ливарному чавуні при виплавленні його з доменного чавуну призводять до неможливості виготовлення високоякісного литва. Незалежність вмісту кожного хімічного елемента від інших у складі чавуну, виплавленого в індукційних тигельних печах, та коригування вмісту конкретного елемента окремо, безпосередньо у процесі плавки, створюють переваги синтетичного чавуну над ваграночним.

На окрему увагу заслуговує питання впливу очищення масиву первинних даних щодо хімічного складу синтетичного чавуну на гістограми розподілу кожного хімічного елемента. Коригування масиву інформації щодо вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну шляхом видалення помилкових значень не тільки уточнює статистичні характеристики, які досліджуються. При цьому змінюються медіана, мода, коефіцієнти асиметрії та ексцесу розподілів. Зазвичай після процедури виявлення і виключення викидів форма розподілу показників вмісту хімічних елементів в чавуні наближається до класичного нормального вигляду. Іноді спостерігаються випадки, коли після видалення недостовірних даних з первинного масиву інформації форма розподілів віддаляється від симетричного, близького до нормального.

В статті [17] представлено гістограми розподілу вмісту вуглецю, кремнію, марганцю та відношення вмісту вуглецю до вмісту кремнію в партіях синтетичного чавуну, з якого були виготовлені гальмові колодки типу «М» для рухомого складу залізниці. Наведені у статті [17] гістограми побудовано на базі масиву первинних заводських даних без будь-якої їх корекції. Гістограми розподілу цих показників не повною мірою відповідають нормальному закону Гаусса чи будь-якому іншому закону розподілу випадкових величин. На рис. 1 і 2 показано вплив видалення 26 помилкових значень з масиву 105 первинних даних на гістограму розподілу вмісту фосфору в синтетичному чавуні гальмових колодок. Як і очікувалося, коригування масиву первинних даних наблизило розподіл вмісту фосфору в синтетичному чавуні до нормального закону Гаусса.

Аналогічні результати отримано також внаслідок коригування масиву даних щодо вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну в партіях клину

Ханіна. Приклад впливу коригування вибірки вмісту марганцю у складі синтетичного чавуну, призначеного для виготовлення клину Ханіна, надано на рис. 3, 4. Вхідний масив даних складався з 107 величин Мп. Після видалення з вибірки значень, визнаних помилковими, залишилося 85 величин. Середнє, мінімальне і максимальне значення вмісту Мп зазнали незначних змін (табл.). Ексцес, медіана, мода в результаті коригування даних майже не змінилися і склали відповідно 3,047; 0,830; 0,790, в той час, як асиметрія збільшилася з 0,500 до 0,773. Ця тенденція відображена на гістограмах (рис. 3 і 4).

Наведені дані приводять до висновку, що основними шляхами підвищення стабільності хімічного складу синтетичного чавуну є посилення ретельності сортування металобрухту за його марками, який використовується в якості шихти для виплавлення чавуну. Вирішенню цієї задачі сприятиме оснащення ливарного виробництва автоматизованими системами коригування хімічного складу чавуну безпосередньо під час плавки. Алгоритми таких систем мають враховувати у ймовірнісному аспекті непостійність вмісту хімічних елементів у феросплавах, які є матеріалом для коригування складу розплаву чавуну. На першому етапі досліджень і впровадження таких систем у промисловості їх доцільно використовувати в режимі радника. На шляху реалізації заходів щодо підвищення надійності й достовірності контролю якості литва з синтетичного чавуну, зокрема гальмових колодок для рухомого складу залізниці, необхідно в стандартах, технічних умовах, іншій нормативній документації, яка регламентує вимоги до якості зазначених виробів, передбачити обов'язкову їх дробоструменеву обробку. Галтування поверхні

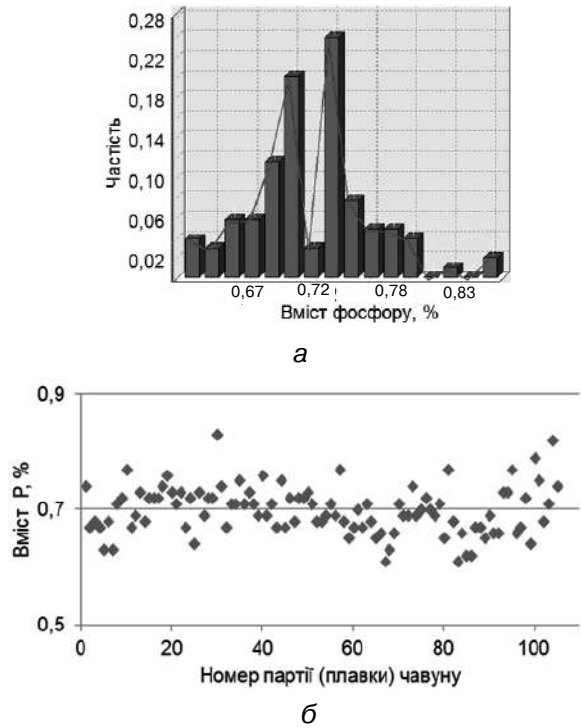


Рис. 1. Гістограма (а) і розподіл величини (б) вмісту фосфору, побудовані на базі первинного масиву даних, в партіях чавуну, з якого виготовлені гальмові колодки

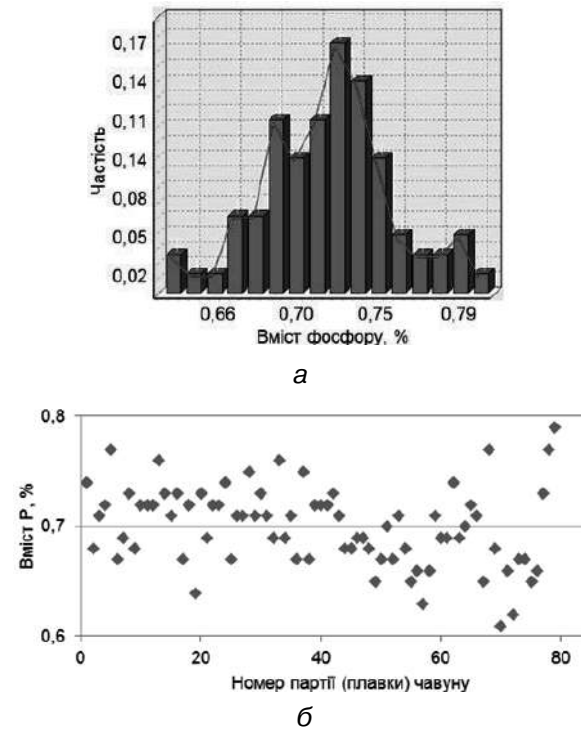


Рис. 2. Гістограма (а) розподілу вмісту фосфору і його величини (б), після видалення помилкових значень з масиву даних, в партіях чавуну, з якого виготовлені гальмові колодки

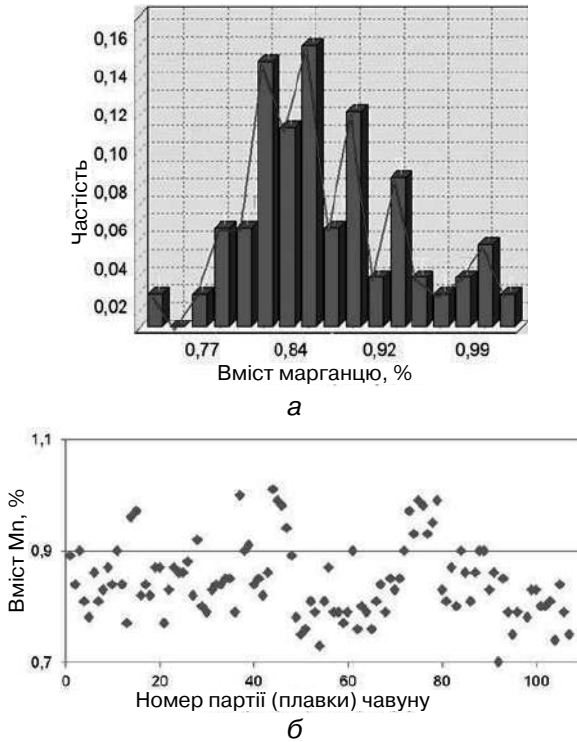


Рис. 3. Гістограма (а) і розподіл величини (б) вмісту марганцю, побудовані на базі первинного масиву даних, в партіях чавуну, з якого виготовлені вироби клин Ханіна

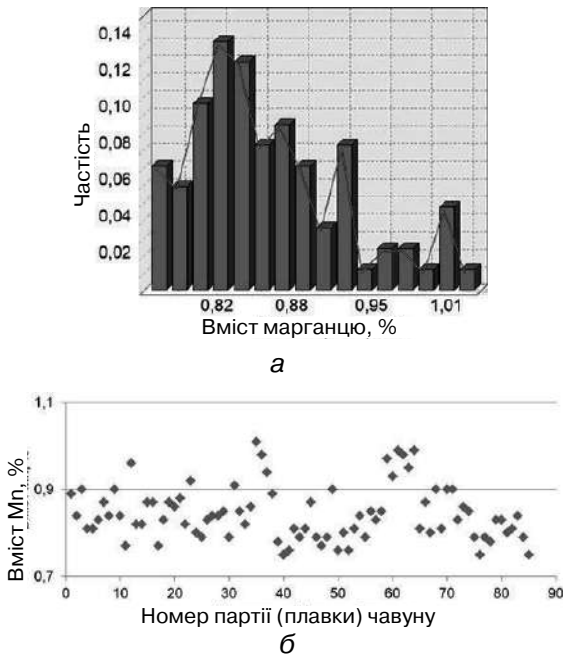


Рис. 4. Гістограма (а) розподілу вмісту марганцю і його величини (б), після видалення помилкових значень з масиву даних, в партіях чавуну, з якого виготовлені вироби клин Ханіна

гальмових колодок не тільки не виявляє дефекти на поверхні, як це відбувається під час дробо-струменевої обробки, а навпаки їх приховує, що негативно відображається на експлуатаційних характеристиках.

Висновки

- Технологія виплавлення в індукційних тигельних печах синтетичного чавуну, призначеного для виготовлення гальмових колодок і фрикційного клину Ханіна рухомого складу залізниці, забезпечує необхідну стабільність вмісту хімічних елементів і механічних властивостей готових виробів при порівняно незначних коливаннях хімічного складу металобрухту, феросплавів, температурних режимах плавки. Коефіцієнти варіації вмісту вуглецю, марганцю, кремнію, сірки, фосфору не перевищували 0,21. Твердості НВ і міцності гальмових колодок з чавуну складали 0,084 і 0,124.

- Порівняння статистичних характеристик розподілів первинних даних з характеристиками, отриманими після видалення сумнівних значень показників із первинної інформації, засвідчило надійність методики контролю вмісту хімічних елементів у складі синтетичного чавуну в умовах промислового виробництва. Середні значення вмісту C, Si, Mn, P, S залишаються майже незмінними. Діапазони розташування значень вмісту цих елементів у складі чавуну після уточнення первинних даних скориговуються на $\sim 0,1-0,2\%$.

- Непостійність вмісту хімічних елементів у металобрухті, який служить шихтою у виробничому процесі, є фактором найбільш дестабілізуючим хімічний склад і механічні властивості синтетичного чавуну та виробів з нього.

Список літератури

- 1 Шумихин В. С., Лузан П. П., Жельнис М. В. Синтетический чугу́н. К.: Наукова думка, 1971. 159 с.
- 2 Неижко И. Г., Найдек В. Л., Гаврилюк В. П. Тормозные колодки железнодорожного транспорта. К., 2009. 121 с.
- 3 Смирнов А. Н., Лейрих И. В. Производство отливок из чугуна. Монография. Донецк. Норд-Пресс, 2005. 245 с.
- 4 Попов Е. С., Шинский О. И. Анализ показателей качества колодок тормозных и композиционных для железнодорожного подвижного состава. *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 27–37.
- 5 Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов Е. С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. *Метал і литво України*. 29. 2021. № 2 (325). С. 30–39.
- 6 Сіренко Е. А. Ливарне виробництво: невирішені задачі та перспективи розвитку. «Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві». Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ. ДДМА, 21–24 вересня 2021 р. С. 109–111.
- 7 Сіренко К. А. Удосконалення нормативно-технічної документації на ливарні вироби з чавуну. *Процеси лиття*, 2021. № 3 (145). С. 69–76.
- 8 Попов Е. С., Мазур В. Л., Шинський О. Й. Удосконалення ливарного виробництва в Україні. Литво. Металургія, 2021. Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво-2021». Запоріжжя, 2021. С. 160–164.
- 9 Кимстач Г. М. Синтетический чугу́н. *Заготовительное производство в машиностроении*, 2007. № 2. С. 7–14.
- 10 Иванов В. Г., Голтвяница В. С. Морфологія графіту у заевтектичному синтетичному чавуні. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 2012. № 2. С. 23–27.
- 11 Соценко О. В. Особенности агрегативного механизма формирования структуры шаровидного и вермикулярного графита в модифицированных чугунах. *Металл и литье Украины*, 2012. № 2. С. 3–10.
- 12 Дёмин Д. А. Исследование прочности чугуна с пластинчатым графитом в факторном пространстве «углерод (С) – углеродный эквивалент (Секв)» в диапазонах $C = 4,214 - 4,372$ % . *Технологічний аудит та резерви виробництва*, 2017. № 1/1 (33).
- 13 Тэн Э. Б., Коль О. А. Зависимость отбела чугуна от его углеродного эквивалента. Изв. вуз. *Черная металлургия*, 2020. № 1. С. 57–62.
- 14 Баженов В. Е., Пикунов М. В. Определение углеродного эквивалента чугунов с помощью программы thermo-calc. Изв. вуз. *Черная металлургия*. 2011. № 11. С. 20–23.
- 15 Zakharchenko, E., Sirenko E., Goncharov A., Bogdan A. New Computer Method of Derivative Thermal Express Analysis of Cast Iron for Operational Prediction of Quality. *Journal of Casting and Materials Engineering*, 2019. Vol. 3. No. 2. P. 31–42.
- 16 Захарченко Э. В., Жуков Л. Д., Сиренко Е. А., Богдан А. В., Гончаров А. Л., Кравченко Е. В. Усовершенствование универсального метода термического экспресс-анализа жидких чугунов, основанного на распознавании формы кривых охлаждения. *Процессы литья*, 2015. № 2. С. 3–9.
- 17 Сіренко К. А., Мазур В. Л. Ідеологія коригування хімічного складу синтетичного чавуну в процесі виготовлення литва. *Метал та литво України*, 2021. Т. 29 (327). № 4.
- 18 Клименко О. В. Стійкість і стабільність ринків небанківських фінансових послуг України. *Економіка України*. 2017. № 7. С. 49–63.
- 19 Муравьева И. Г., Тогобицкая Д. Н., Семенова Ю. С., Иванча Н. Г., Белькова А. И., Шумельчик Е. И., Степаненко Д. А. Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой: новые подходы. Киев. Наукова думка, 2019. 272 с.

Надійшла 22.11.2021

References

- 1 Shumikhin, V. S., Luzan, P. P., Zhelnis, M. V. (1971). Synthetic cast iron. Kyiv: Naukova dumka, 159 p. [in Russian].
- 2 Neizhko, I. G., Naydek, V. L., Gavrilyuk, V. P. (2009). Railway brake pads. Kiev. 121 p. [in Russian].
- 3 Smirnov, A. N., Leirikh, I. V. (2005). Production of cast iron castings. Monograph. Donetsk. Nord-Press. 245 p. [in Russian].
- 4 Popov, E. S., Shinsky, O. I. (2021). Analysis of quality indicators of brake and composite pads for railway rolling stock. *Casting and metallurgy*. No 1. P. 27–37 [in Russian].
- 5 Mazur, V. L., Naydek, V. L., Popov, E. S. (2021). Chavunnyh and composition with chavunny inserts of alvanized pads for a rugged warehouse of zaliznitsy. *Metal and casting of Ukraine*. Vol. 29. No. 2 (325). P. 30–39 [in Ukrainian].
- 6 Sirenko, E. A. Foundry production: unsolved problems and prospects of development. «Prospective technologies, materials and equipment in foundry production». Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference. Kramatorsk. DDMA, September 21–24 2021. P. 109–111 [in Ukrainian].
- 7 Sirenko, K. A. Development of production of casting from synthetic cast iron. (2021). *Casting Processes*, vol. 145, No. 3 (145). P. 69–76 [in Ukrainian].
- 8 Popov, E. S., Mazur, V. L., Shinsky, O. I. Improving foundry production in Ukraine. Lithuania. Metallurgy, 2021 Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference «Casting-2021». Zaporozhye, 2021. P. 160–164 [in Ukrainian].
- 9 Kimstach, G. M. (2007). Synthetic pig iron. *Blank production in mechanical engineering*. No. 2. P. 7–14 [in Russian].
- 10 Ivanov, V. G. Goltvyanitsa, V. S. (2012). Morphology of graphite in trans-eutectic synthetic cast iron. *New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*. No 2. P. 23–27 [in Ukrainian].
- 11 Sotsenko, O. V. (2012). Features of the aggregate mechanism of formation of the structure of nodular and vermicular graphite in modified cast iron. *Metal and casting of Ukraine*. No. 2. P. 3–10 [in Russian].
- 12 Demin, D. A. (2017). Investigation of the strength of cast iron with lamellar graphite in the factor space carbon [C] – carbon equivalent [Ceq] in the ranges $C = (3.425–3.563) \%$ and $Ceq = (4.214–4.372) \%$. *Technological audit and production reserves*, no 1/1 (33) [in Russian].
- 13 Ten, E. B., Kol', O. A. (2020). Dependence of cast iron chill from its carbon equivalent. (Izvestiya University). *Ferrous Metallurgy*, 2020. Vol. 63. No 1. P. 57–62 [in Russian].
- 14 Bazhenov, V. E., Pikunov, M. V. (2011). Determining the carbon equivalent of cast iron by the thermo-calc program. (Izvestiya University). *Ferrous metallurgy*. No. 11. P. 20–23 [in Russian].
- 15 Bazhenov, V. E., Pikunov, M. V. (2011). Determining the carbon equivalent of cast iron by the thermo-calc program. (Izvestiya University). *Ferrous metallurgy*. No. 11. P. 20–23 [in Russian].
- 16 Zakharchenko, E., Sirenko, E., Bogdan A., Goncharov, A., Kravchenko E. (2015). Improvement of the universal method of thermal express analysis of liquid iron based on recognition of the shape of cooling curves. *Casting processes*. No. 2. P. 3–9.
- 17 Sirenko, E.A, Mazur, V.L. (2021). Ideology of adjusting the chemical composition of synthetic cast iron in the manufacturing process of casting. *Metal and casting of Ukraine*. Vol. 29 (327). № 4. [in Ukrainian].
- 18 Klymenko, O. V. (2017). Sustainability and stability of non-bank financial services markets in Ukraine. *Ekonomika Ukrainy*. Vol. 7. P. 49–63 [in Ukrainian].
- 19 Muravyova, I. G., Togobitskaya, D. N., Semenov, Yu. S., Ivancha, N. G., Belkova, A. I., Shumelchik, E. I., Stepanenko, D. A. (2019). Creating intelligent decision support systems for blast furnace management: new approaches. Kiev: Naukova Dumka. 272 p. [in Russian].

Received 22.11.2021

K. A. Sirenko, Junior Researcher, e-mail: thermoexp.metal@gmail.com

V. L. Mazur, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chief Researcher; e-mail: prof.vlm@ukr.net

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

ASSESSMENT OF STABILITY OF CHEMICAL COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF INDUSTRIAL LOTS OF SYNTHETIC IRON

An overview of approaches to assessing the stability of the content of chemical elements in the composition of synthetic cast iron and the mechanical properties of brake pads made of it and friction Khanin wedge for railway cars. The concept of «stability» is defined as the ability of the process of smelting synthetic cast iron and making castings from it to function without changing its parameters, being in equilibrium and maintaining consistency over time. It was found that the coefficients of variation of the content of C, Si, Mn, P, S in synthetic cast iron for the manufacture of brake pads and Khanin wedge are in the range from ~ 0.01 to 0.21, the hardness of HB and the strength of brake pads to fracture was 0.084 and 0.124. This indicates sufficient stability of the chemical composition of synthetic cast iron. It is shown that the adjustment of the arrays of primary factory information regarding the content of chemical elements in the composition of synthetic cast iron by removing erroneous values from the data arrays does not change the average content of C, Si, Mn, P, S, and this certifies the reliability of this information. It is established that the values of the content of chemical elements in the composition of synthetic cast iron for this purpose do not correlate with each other. The hardness and fracture toughness of the brake pads and the hardness of the Khanin wedge do not correlate with the content of individual chemical elements or with the carbon equivalent of such cast iron. The ways of strengthening the requirements in the standards for the level and permitted ranges of distribution of the content of chemical elements in the composition of synthetic cast iron, intended for the manufacture of brake pads for railway rolling stock, are recommended. The sulfur content in synthetic cast iron for the manufacture of these foundries should be reduced from 0.20 to 0.05 %. It is emphasized that in order to prevent consumers from receiving pads with undetected surface defects in the standards for these products, it is necessary to provide for their mandatory shot blasting.

Keywords: synthetic cast iron, chemical composition, technology, stability, brake pads, Khanin wedge, production.