

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.162

DOI 10.31319/2519-2884.35.2019.35

КРЯЧКО Г.Ю., к.т.н., доцент
КУЗНЕЦОВ М.С.* , співшукач
ВАЛУЄВА Н.М., к.філол.н., доцент
СЕМЕНЧА С.М., магістр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
*ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПУЛЬСАЦІЙ ЯКОСТІ ЧАВУНУ В ПРОЦЕСІ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Вступ. У безперервному процесі доменної плавки внаслідок коливань якості шихти, використання теплової і відновлювальної енергії газового потоку, коливань експлуатаційних факторів температура і склад чавуну на випусках доменної печі зазначають значних, а іноді непередбачуваних змін. Задача технологів полягає у зменшенні розмаху коливань якості чавуну та, по можливості, запобіганні випадків різкого погіршення фізико-хімічних властивостей металу.

Оскільки доменний процес постійно зазнає управляючого впливу персоналу, то на суміжних випусках чавуну відбуваються певні зміни його температури і складу, які можна віднести до короткочасних пульсацій – мініпульсацій. Мініпульсації вмісту сірки і кремнію відбуваються, як правило, навколо заданого рівня якості чавуну.

Тривалі спостереження зміни вмісту сірки в чавуні на доменних печах різного об'єму (від 600 до 3000 м³) [1, с.19] дозволили виявити більш тривалі його пульсації – макропульсації, що повторювалися кожні 3-7 діб. Було зазначено, що період пульсацій на одній і тій же печі міг зменшуватися і повертатися до початкового рівня.

Причину макропульсацій середнього рівня вмісту сірки в чавуні автори [1, с.21] вбачали в зміні стану гарнісажу на огороженні печі. Посилаючись на наші дослідження [2] і власні спостереження, вони звертають увагу на шарову природу гарнісажу, який може мати шари товщиною від 20 до 200 мм, а також температури розм'якшення проб гарнісажу від 1150 до 1290⁰С, за яких міцне зчеплення зі стінкою печі періодично різко послабляється.

Внаслідок коливання складових доменного процесу товщина гарнісажу зазнає постійних змін. Причиною сповзання гарнісажу може бути як оплавлення за рахунок підвищення температури або активної дії шлаку, так і механічне руйнування, наприклад, при осадженні шихти. Автори [1, с.21] небезпідставно припускають, що при сталій ритмічній роботі печі процеси сповзання і поновлення гарнісажу повинні відбуватися періодично в режимі автоколивань, що і є найбільш вірогідною причиною макропульсацій температури і складу чавуну.

Теоретична модель коливань хімічного складу чавуну в сучасному розумінні [3] виглядає наступним чином. При опусканні шихтових матеріалів, що зазнають розм'якшення і плавлення, відбувається наростання гарнісажу переважно із мінеральної частини шихти. Кокс в цьому процесі участь не приймає, при цьому виникає деякий надлишок коксу, знижується рудне навантаження. У зв'язку зі зростанням гарнісажу цей процес супроводжується зниженням теплопередачі в напрямі до вогнетривкої кладки або холодильників, якщо кладка відсутня. В кінцевому рахунку це призводить до зниження теплових витрат. Йде додаткове розгойдування нагріву. По мірі підвищення температури шар утвореного гарнісажу розм'якшується і при наявності достатньо великої власної маси і дії сил тертя з боку стовпа шихти починається його сповзання. При цьому підвищуються теплові втрати, з урахуванням часу запізнення відбувається зменшення масової частки кремнію зі збільшенням частки сірки в чавуні.

У згаданій вище роботі [3] названа ще одна причина, що впливає на циклічність хімічного складу чавуну – це періодична зміна властивостей коксової насадки. Коливання в печі маси і переміщення коксової насадки в результаті сповзання гарнісажу або погіршення її дренажної здатності змінює частку чавуну на випуску, що знаходиться нижче осі чавунної льотки.

За час, що минув після публікацій [1, 2], різко змінилися умови реалізації доменної плавки – перехід в ринкові умови призвів до вимушеного варіювання інтенсивності ведення печей. Крім того, суттєві зміни в робочому просторі печей виникли при заміні головного замітника коксу – природного газу – пиловугільним паливом. Одночасно ринкові умови призвели до посилення вимог стосовно якості металу, що викликало необхідність мати потужності для позадоменного рафінування чавуну. Якщо не зважати на макропульсації якості чавуну на випусках із кількох доменних печей, ритмічність роботи установок доведення чавуну буде під питанням.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження періодичності фізико-хімічних властивостей чавуну на діючих доменних печах. Новим в підході є те, що оцінка періодичності проводилася в один період часу в однакових умовах сировинного забезпечення при відносно інтенсивній роботі печей, що припало на грудень 2016 року. Новим також є те, що досліджено динаміку зміни складу шлаку в періоди максимальних значень збурення доменного процесу.

Результати роботи. Розгляд динаміки зміни насиченості чавуну сіркою на ДП №1 показав відсутність вираженої періодичності. Максимуми на кривій [S] спостерігалися на випусках, що були віддалені в часі на 64 години (2,67 діб) (рис.1, в), причому екстремальні значення розрізнялися більш ніж вдвічі. До першого максимуму фізичний нагрів чавуну зростав, перетнувши межу 1500°C , і поступово знижувався (рис.1, а). Це свідчить про погіршення умов відновлення кремнію і відповідно зменшенню основності шлаку. З однієї сторони погіршувалися умови переходу сірки в шлак, з другої – створювалися умови для розм'якшення і сповзання гарнісажу.

У досліджуваній період з 10.12.16 по 21.12.16 на ДП №9 відмічено існування сталої періодичності появи трьох максимумів на кривій [S] (рис.2, в). Тривалість періоду між випусками 26400 і 26447 склала 94 год. (3,92 доби), а між випусками 26447 і 26489 – 92 год. (3,83 доби). Така тривалість співпадає з даними раніше проведених досліджень [1, с.20]. В першому періоді між 11.12.16 і 15.12.16 між випусками 26400 і 26447 напрями в тенденціях змін фізичного і хімічного нагрівів чавуну співпадають (рис.2, а, б), що відповідає усталеним поглядам на зв'язок вмісту кремнію в чавуні з його температурою.

Другий період роботи між випусками 26447 і 26489 навпаки свідчить про протилежні напрями зміни температури чавуну (рис.2, а) і вмісту в ньому кремнію (рис.2, б). Зважаючи на послаблення відновлення кремнію і відповідне зменшення основності шлаку (вміст SiO_2 в шлаку зростав), температура чавуну підвищувалась. Це зростання температури, в свою чергу, обумовило зменшення величини максимуму на кривій [S] (рис.2, в).

Як і на ДП №1, на печі №12 була відсутня виражена періодичність коливання вмісту сірки в чавуні. На цій печі, на противагу іншим, екстремуми на кривих температури чавуну (рис.3, а), вмісту кремнію (рис.3, б) і сірки (рис.3, в) в чавуні співпадають, що знаходиться у відповідності з усталеними поглядами на формування чавуну.

Заслугує на увагу специфіка впливу процесу відновлення кремнію на ступінь коливання вмісту сірки в чавуні. Увесь період дослідження на ДП №12 спостерігалась тенденція зменшення вмісту кремнію в чавуні (рис.3, б) при коливанні температури чавуну біля середнього рівня 1450°C (рис.3, а). Зменшення переходу кремнію в чавун вело до збільшення вмісту кремнезему в шлаку і відповідно до зниження величини основності, що викликало погіршення десульфуючої здатності шлаку.

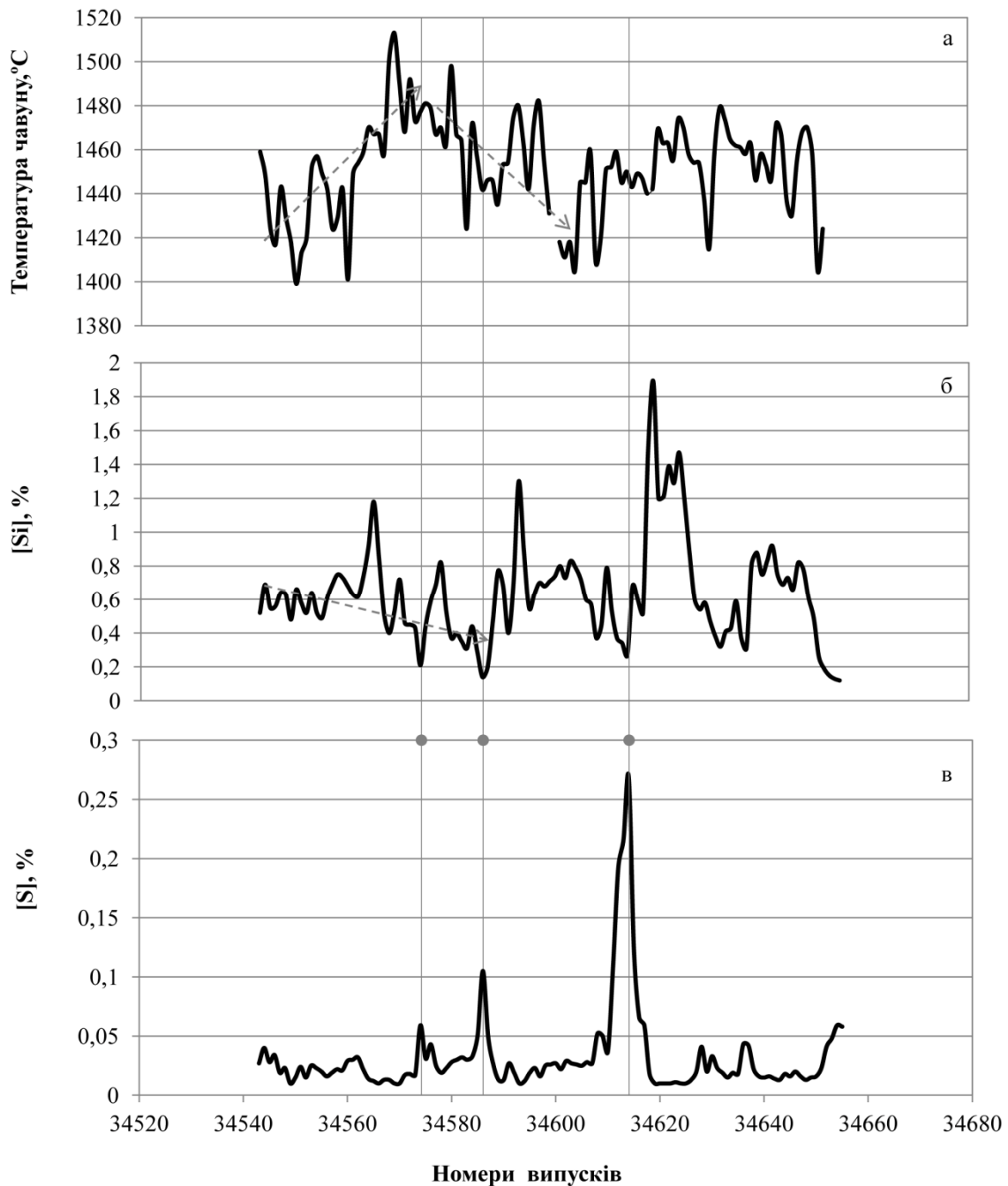


Рисунок 1 – Динаміка зміни температури чавуну (а), вмісту в чавуні кремнію (б) і сірки (в) на ДП № 1 ДМК в грудні 2016 р. Стрілками показані напрями зміни характеристик чавуну

Звертає на себе увагу наближене в часі (16.12.2016) різке підвищення вмісту сірки в чавуні на ДП №1 і 12. Вочевидь така синхронізація в динаміці гарнісажу на різних печах свідчить про зовнішній чинник впливу. На наш погляд, не досить представницькі дані про хімічний склад агломерату місцевої фабрики не дозволив операторам вказаних вище печей своєчасно запобігти збуренню доменного процесу. Внаслідок цього температура чавуну на випуску ДП №12 сягнула небезпечної межі 1350°C , за якої випуск шлаку і подальше використання чавуну стають проблемними. Наслідком збурення на ДП №1, що має більший об'єм та теплову інерційність при задовільній температурі чавуну ($\sim 1440^{\circ}\text{C}$) є зростання вмісту сірки в металі до 0,27%.

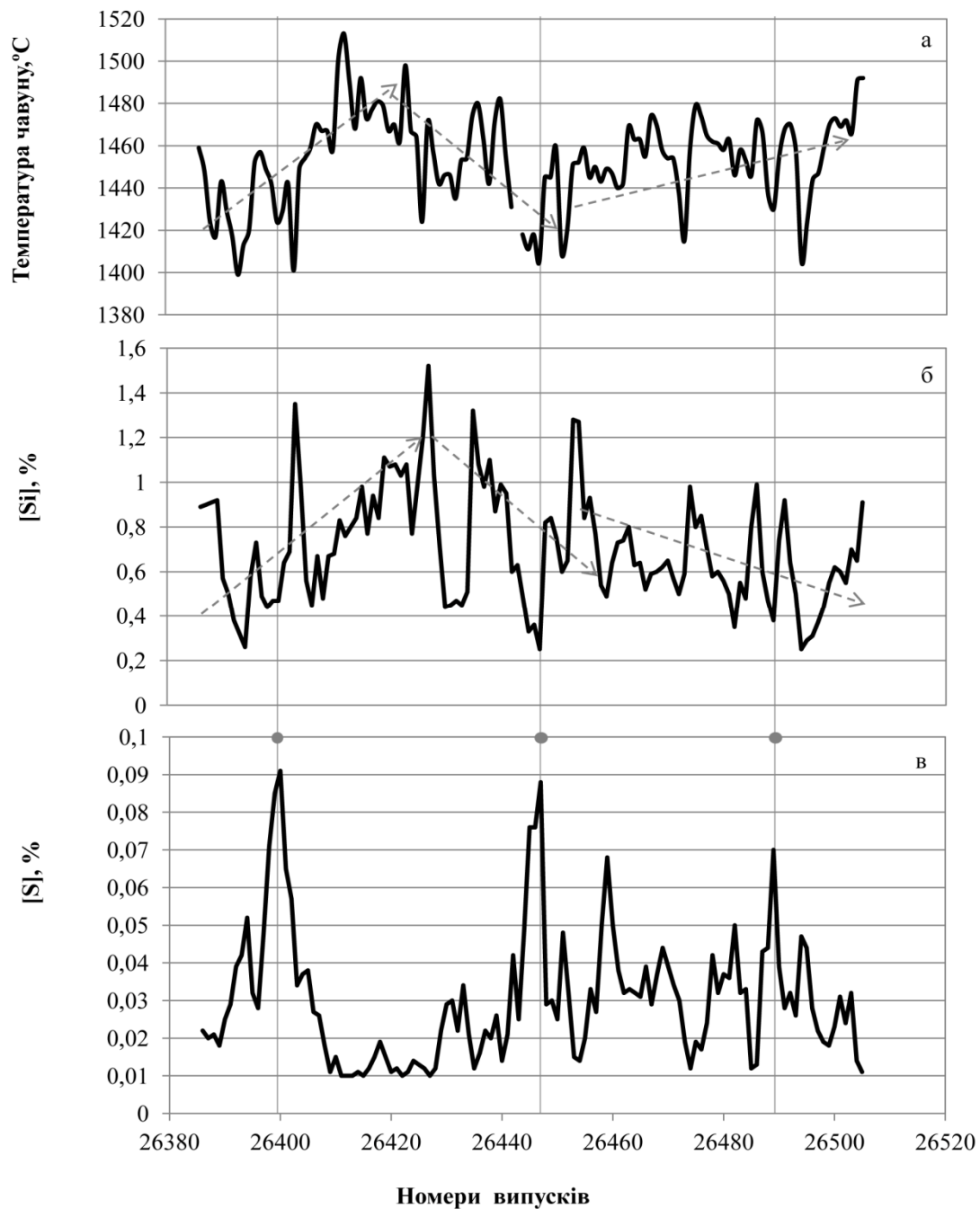


Рисунок 2 – Динаміка зміни температури чавуну (а), вмісту в чавуні кремнію (б) і сірки (в) на ДП № 9 ДМК в грудні 2016 р. Позначення такі ж, як і на рис.1

Відсутність чітко виражених циклів коливання сірки в чавуні на ДП №1 і 12 в порівнянні з ДП №9 свідчить про невеликі об'єми накопичення гарнісажу, обумовлені специфікою дуттьового режиму з використанням пиловугільного палива і периферійністю газового потоку, що неуможливорює стабілізацію утворення гарнісажу.

Таким чином існування періодичних пульсацій вмісту сірки в чавуні та аперіодичних, викликаних зовнішніми чинниками, дозволяє припустити доцільність прогнозування екстремальних погіршень якості чавуну на окремих печах з метою забезпечення ритмічної роботи установки доведення чавуну.

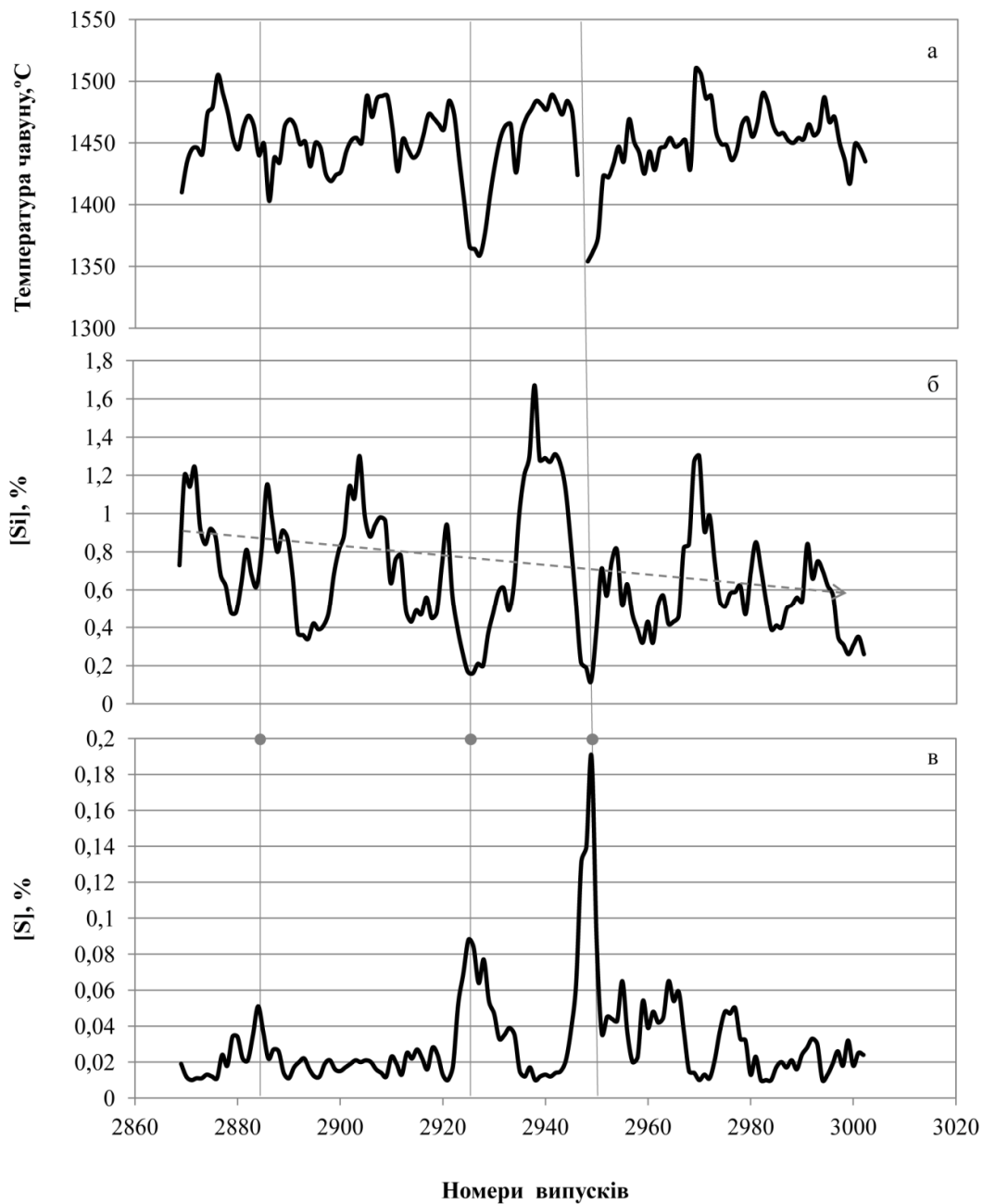


Рисунок 3 – Динаміка зміни температури чавуну (а), вмісту в чавуні кремнію (б) і сірки (в) на ДП № 12 ДМК в грудні 2016 р. Позначення такі ж, як і на рис. 1

З метою виявлення причин, що могли сприяти сповзанню гарнісажу проаналізовано зміну складу шлаку в період максимального переходу сірки в метал. Оскільки зміна основності шлаку і вмісту в ньому лугів можуть бути як причиною, так і наслідком в динаміці зміни стану гарнісажу, то аналіз проводили, вивчаючи динаміку зміни саме цих показників в часі. Проаналізовано по три періоди по кожній доменній печі з умовою, що всі періоди не виходили за часові рамки загального досліджуваного періоду.

Для прикладу на рис.4 наведено дані про зміну складу шлаку в один із періодів екстремального викиду сірки в метал. Звертає на себе увагу майже дзеркальний характер кривих зміни основності шлаку CaO/SiO_2 і вмісту в ньому лугів, перш за все K_2O . У всіх досліджених періодах як на ДП №9, так і на інших печах при нормальному режимі вміст K_2O і Na_2O був майже однаковим і лише в аномальних періодах вміст в шлаку

K_2O був більшим, ніж Na_2O . Таку відмінність можна пояснити різним надходженням речовин в піч, різницею фізичних властивостей вказаних лугів і специфікою накопичення K_2O в гарнісажі.

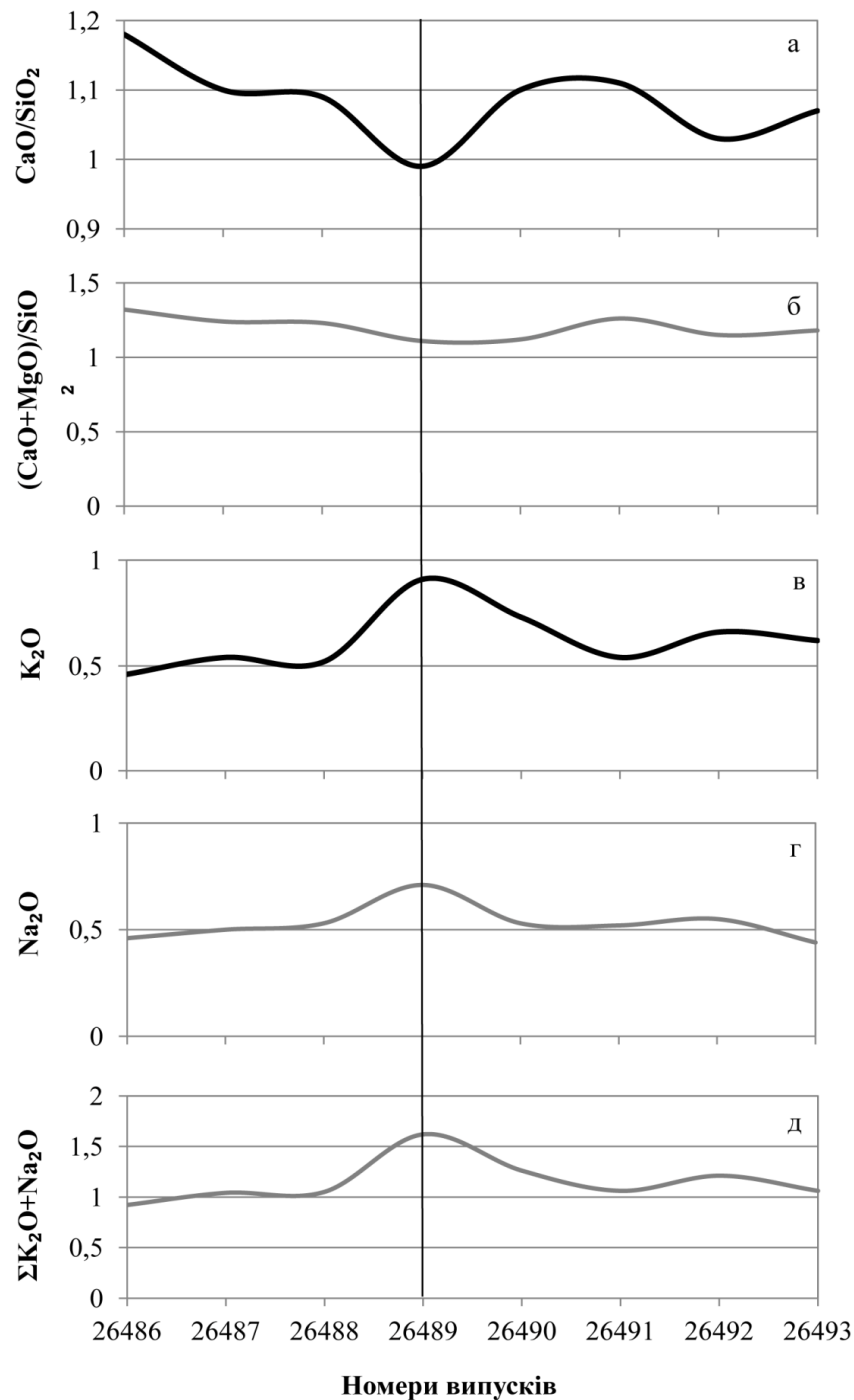


Рисунок 4 – Динаміка зміни основності шлаку і вмісту в ньому лугів на ДП №9 під час екстремального переходу сірки в метал 19.12.2016.

Загальним для всіх печей і майже всіх періодів, за виключенням одного, виявлено наступне:

- найбільші значення вмісту сірки в металі спостерігались при різкому переході від полуторних до кислих шлаків;

- максимальний викид лугів зі шлаком на випуску з екстремальними кількістю сірки в чавуні та основністю шлаку;
- синхронна зміна основності як за CaO/SiO_2 , так і за $\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2$ з вмістом лугів у шлаку, однак у протилежних напрямках;
- переважаюча кількість K_2O в порівнянні з вмістом Na_2O в шлаку.

Також відмічено зв'язок температури чавуну з вмістом лугів в шлаку (табл.1, ДП № 9). Зрозуміло, що температура чавуну в даному випадку – посередній показник, але показник, який тісно пов'язаний із температурою шлаку, що і визначає разом із його основністю перехід лугів в розплав. Якщо температура чавуну і шлаку майже однакові, зменшення основності шлаку суттєво збільшує вихід лугів (табл.1, ДП №12), що відповідає усталеним поглядам [4]. Однак наші дані свідчать про те, що інтенсивному виходу лугів зі шлаком при однаковій його основності сприяє не знижена температура продуктів плавки [4], а підвищена.

Таблиця 1 – Вплив температури чавуну і основності шлаку на вміст в ньому лугів під час максимального переходу сірки до металу

Показник	Номер печі			
	9		12	
Номер випуску	26447	26489	2925	2949
Температура чавуну, °C	1405	1430	1366	1362
Шлак:				
CaO/SiO ₂	0,99	0,99	1,09	1,01
CaO+MgO/SiO ₂	1,22	1,11	1,25	1,15
Вміст:				
K ₂ O	0,88	0,91	0,98	1,43
Na ₂ O	0,55	0,71	0,57	0,65
K ₂ O+Na ₂ O	1,43	1,62	1,55	2,08

Висновки. Одночасне дослідження пульсацій якості чавуну на випусках із трьох доменних печей, що працювали в однакових сировинних умовах з вдуванням пиловугільного палива, дозволило виявити наступне.

Тільки на одній печі виявлено стали періодичність появи максимумів на кривій зміні вмісту сірки в чавуні, що свідчить про можливість утворення і руйнування гарнісажу у відповідності до відомих залежностей в режимі автоколивань. На двох інших печах спостерігалася аперіодичність різких змін якості чавуну, залежно, вочевидь, від зовнішніх чинників, а не від самоплинних процесів в робочому просторі печі. Таким чином, результати досліджень попередників і дані представленої вище роботи свідчать про доцільність прогнозування екстремальних викидів сірки в чавун на окремих печах для забезпечення ритмічної роботи установки доведення чавуну.

Показано, що екстремальному переходу сірки в чавун, що розглядається як ознака зміни стану гарнісажу в печі, відповідають і інші ознаки: різкий перехід від полоторних до кислих шлаків, максимальний вихід лугів зі шлаком, перш за все K_2O , синхронна зміна основності шлаку зі зміною вмісту лугів в ньому, однак у протилежних напрямках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ефименко С.П., Мачикин В.И., Лифенко Н.Т. Внепечное рафинирование металла газлифтах. М.: Металлургия, 1986. 264с.
2. Логинов В.И., Крячко Г.Ю., Ярошенко Н.М. Оползание настывлей в доменных печах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1978. №2. С.6-9.

3. Курбатская Е.М., Сысоев Н.П. Влияние динамики состояния гарнисажа и коксовой насадки на периодичность химического состава чугуна. *Металлургия – интехэко – 2010*: сб. докл. третьей международной конференции, г. Москва, 30-31 марта 2010 г. М., 2017. С.21-22.
4. Гуденау Г.В., Йоханн Г.П., Маймет Ш. Удаление щелочей в доменной плавке. *Черные металлы*, 1997. №2. С.14-22.

Надійшла до редколегії 15.07.2019.

УДК 669.162.267

DOI 10.31319/2519-2884.35.2019.36

СІГАРЬОВ Є.М., д.т.н., професор
ПОХВАЛТИЙ А.А., к.т.н., доцент
ДОВЖЕНКО О.В., аспірант
ЧУБІНА О.А., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЕВИХ КОРОЛЬКІВ У ШЛАКУ ПІСЛЯ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ ЗА СХЕМОЮ КОІНЖЕКЦІЇ РЕАГЕНТІВ

Вступ. Втрати чавуну з покривними шлаками, що скачують з поверхні розплаву після ковшової десульфурації переробного чавуну, суттєво впливають на собівартість металопродукції. За результатами аналізу досвіду українських та зарубіжних металургійних підприємств [1, 2] втрати чавуну зі шлаком складають, кг/т чавуну: при вдуванні гранульованого магнію – від 0,2 до 0,6; суміші магнію та вапна – від 1,8 до 2,6; суміші магнію та карбїду кальцію – 1,5-1,7 відповідно.

Найбільш впливовими на втрати факторами визначені кількість та фізико-хімічний стан покривного шлаку. При вдуванні магнію без пасивуючих добавок (CaO , CaC_2) фізико-хімічні властивості ковшових шлаків істотно не відрізняються від початкових шлаків [3, 4]. Це пов'язано з наявністю значної кількості початкового ковшового шлаку перед десульфурацією (10-15 кг/т чавуну) і відносно незначною кількістю (0,6-1,0 кг/т чавуну) шлаку, що додатково утворюється в ковші. Такі шлаки, збагачені до 40% корольками чавуну і графітом, є вельми в'язкими. Використання реагентів на основі сумішей із CaO призводить до підвищення як в'язкості, так і маси ковшових шлаків з відповідним збільшенням вмісту заліза до 50-60%, а, наприклад, в умовах конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» – і до 65-78% [6] і втрат чавуну з шлаком. Авторами проведених раніше досліджень [3, 5] показано, що максимальні втрати чавуну – з фракцією корольків діаметром менш ніж 2,5 мм.

Певні втрати чавуну обумовлені технологічним процесом скачування шлаку, і повністю уникнути їх неможна. З метою зменшення вмісту металевих корольків у шлаку розробниками установок ковшової десульфурації випробувані різні методи: використання «триінжекції» реагентів; додавання у десульфуруючу суміш компонентів, що сприяють розрідженню шлаку; оптимізація дуттьового режиму рафінування та конструкції наконечника заглибної фурми тощо.

Постановка задачі. Необхідно відмітити, що на сьогодні не розроблено рекомендації та не відпрацьовано комплекс надійних заходів для забезпечення інтенсифікації ковшової десульфурації із одночасним зменшенням втрат чавуну зі шлаком. Наведені обставини набувають особливого змісту з точки зору пошуку шляхів зменшення питомих витрат десульфураторів при забезпеченні формування шлакового покрову із заданими властивостями [6]. Теоретичне обґрунтування та удосконалення шлакового режиму десульфурації зі схемою коінжекції реагентів на основі CaO та магнію з враху-