

Г.В. ГУБІН, д-р техн. наук, проф., І.Е. СКІДІН, канд. техн наук, ст. викладач,
Л.Н. САЙГАРЕЄВ, Г.Г. ГУБІН, кандидати. техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ДО ПИТАННЯ ПРО БЕЗПЕРЕРВНІ ТА СУМІЩЕНІ МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ

Мета. В даний час вважається, що безперервними є процеси виробництва чавуну в доменних печах та розливання сталі на МБЛЗ. Поряд із поняттям «безперервного процесу», з'явилося словосполучення «сумісний металургійний процес», основною ознакою якого є збереження та використання високої температури металу за рахунок внутрішнього тепла попередніх переділів та наявність у системі мінімум двох процесів.

Оскільки тепло рідкого чавуну використовується при конвертерному процесі для зниження енергоспоживання виробництва сталі, то можна говорити про суміщені процеси виплавки чавуну та сталі. Однак, це не дає права вважати сталеплавильний переділ безперервним.

Методи дослідження. Очевидно, метою дослідження безперервних процесів виробництва сталі є умови отримання кращих показників при тривалій безперебійній роботі агрегату, часткова проблема в роботі якого дезорганізує роботу всієї лінії. Тому найважливішою вимогою є надійність та стійкість обладнання, синхронність роботи суміжних ланок тощо.

Наукова новизна. Найкращим для безперервних процесів є дозування живлення суворо стандартизованою сировиною і налаштування агрегату на видачу незмінної за складом продукції. Також необхідно узгодити ці умови з потребами переробки достатньої кількості сировини та випуску сталі великої кількості марок.

Практична значимість. У цій статті представлена нова технічна схема та обладнання безперервно-суміщеного безкоксового виробництва металу з руд і концентратів в агрегатах рідкофазного відновлення заліза. Вона включає такі стадії, як: термічна дія на залізородну сировину, яка вдувається через фурми разом з вугіллям і флюсами в плавильно-відновлювальний реактор-газифікатор, для відновлення заліза та науглецювання металу в шарі вугілля; розплавлення науглецюваного заліза та проходження його крізь шар вугілля й шлаку; скачування шлаку з плавильного реактора-газифікатора.

Результати. У результаті роботи на запропонованій установці отримується високоякісна і за необхідності легрована сталь з чавуну, який після реактору-газифікатора спрямовується у камеру, де завдяки потокам кисню через фурму відбувається декарбонізація і залишкова глибока дефосфорація низьковуглецевої сталі, яку подають до наступної оберткової камери для відновлення рідкого металу і десульфурзації.

Ключові слова: сталь, безперервне виробництво, рідкофазне відновлення заліза, реактор-газифікатор, камера, що обертається.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-168-172

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Нині у світі виробляється понад 1.5 млрд. тон сталі. При цьому витрачаються великі кошти як на капітальне будівництво, так і на експлуатацію металургійного обладнання.

Одним із напрямків численних дослідницьких проектних робіт зі зниження цих витрат, в останню чверть двадцятого століття стало будівництво, експлуатація та удосконалення міні-заводів та установок безкоксової металургії. Міні-заводи є в США, Мексиці, Великій Британії, Іспанії, Німеччині та інших країнах [1,2]. Скрізь вони використовують як сировину металобрухт, а основним обладнанням є дугові електропечі. Сталь розливають на установках безперервного розливання, за якими розташовуються прокатні стани. Установки безкоксової металургії знайшли застосування у Китаї, ЮАР, Індії, Південній Кореї, Лівії, Ірані, тощо [3,4].

У минулому столітті дослідниками велося вивчення можливості виробництва сталі на безперервних агрегатах, проте такий спосіб не набув поширення на практиці, тому що великих успіхів вдалося досягти на циклічних установках з великими конвертерами. Однак, виробництво сталі в кисневих конвертерах із застосуванням ківш-печей, вакуумування з використанням іншого технологічного обладнання, мабуть, досягло свого максимуму.

У зв'язку з цим знову виникає інтерес до безперервних установок. Один із варіантів такої установки безкоксової металургії розглядається в даній публікації.

Аналіз досліджень і публікацій. У другій половині двадцятого століття точилася дискусія щодо необхідності удосконалення сталеплавильних процесів. Однією з тем цієї дискусії була пропозиція переходу на безперервне виробництво сталі на відміну від періодичних технологій, що існували на той час: мартенівської та киснево-конвертерної. У доповідях та публікаціях наголошувалося, що для масового виробництва стали характерним є циклічний процес. Основні

операції здійснюються в єдиному замкнутому просторі. Параметри металу у часі протікання процесу змінюються, тоді як у просторі вони різняться несуттєво. Така природа процесу визначає його відносну універсальність, організовану простоту та надійність. Але вона ж і обмежує можливість суттєвого покращення його показників, принаймні, основними шляхами: збільшенням ємності агрегатів, інтенсифікацією, вдосконаленням технології та управління процесом, а також параметрами якості.

Пошук шляхів удосконалення сталеплавильних процесів, з одного боку, ведеться у сфері киснево-конвертерного виробництва, а з іншого, - у різних варіантах безперервних суміщених технологій.

Ще у 1957 році Д.Ф. Елліот запропонував безперервну схему, в якій процеси видалення домішок чавуну відбуваються у різних агрегатах. Його пропозиція стала певною передумовою для створення різних варіантів сталеплавильних процесів. Першою фундаментальною роботою, у якій докладно розглянуті теоретичні причини безперервних сталеплавильних процесів та його можливі варіанти, була монографія Г.П. Іванцова та ін. [5]. Пізніше шведський учений Свен Екторп, виходячи з термодинамічного аналізу металургійних процесів, запропонував до широкого обговорення безперервний суміщений процес виробництва сталі із залізородного концентрату минаючи доменну піч [6].

Проте, у змаганні безперервного та періодичного процесів перемога виявилася за останнім. Це можна пояснити тим, що до удосконалення та модернізації киснево-конвертерного процесу було залучено великі колективи вчених, порівняно з епізодичними роботами над безперервними процесами. При виробництві сталі в кисневих конвертерах відбулося збільшення одиначної потужності агрегатів та спеціалізація їх на певних операціях технологічного циклу, що дозволило значно збільшити їхню продуктивність і ємність з широким застосуванням кисню.

Також слід зазначити, що в останній чверті ХХ століття набули розвитку процеси рафінування та доведення металу із застосуванням установок позапічної обробки рідкого металу, які винесені за межі сталеплавильних агрегатів для виключення зниження їх продуктивності. При цьому забезпечується вирівнювання та регулювання складу та температури металу, його розкислення та легування, видалення газів, неметалевих включень та шкідливих домішок. Для цього використовують, наприклад, таке обладнання як ківш-печі, де можна здійснювати ряд операцій, наприклад, продування інертним газом, обробку металу синтетичними шлаками, вакуумування, продування газо-порошковими струменями тощо. Звичайно, зростання ємності агрегатів призводить до збільшення виробничих площ, потужності кранового та іншого обладнання, що у результаті може зробити виробництво економічно недоцільним.

Проте, при позапічній обробці сталі залишилася низка питань щодо якості металу. При отриманих досягненнях такої технології, що є періодичною, вона обмежує можливість суттєвого покращення показників цього виробництва: подальшого збільшення ємності агрегатів, інтенсифікації процесів, удосконалення технологій, управління процесом та параметрами якості.

Зростання ємності агрегатів створює проблеми, що ведуть з часом до погіршення якості сталі. Інтенсифікація процесу може виявитися не вигідною, навіть якщо це не погіршує якість сталі, оскільки обладнання потрапляє в несприятливий режим роботи з різкими піками навантажень.

Автори публікацій [5,7-10]. зазначали, що періодичність процесів виплавки сталі та проблеми управління ними призводять до нестабільності складу металу. Безперервні процеси, на відміну від циклічних, завжди реалізуються в умовах потоку в проточному реакторі або ланцюгах таких реакторів.

Вихідні матеріали, що безперервно вводяться в такий процес, обробляються і перетворюються на готовий продукт у міру свого просування по технологічній лінії, тоді як у кожній просторовій зоні цього потоку параметри реагуючої системи не узгоджені за часом. Ці параметри визначаються динамічною рівновагою масо- та теплообміну, що протікають при одночасному введенні в цю зону сирого матеріалу та речовин реагентів.

В цих умовах поділу не створюється проблем синхронізації, як при циклічних процесах.

Постановка задачі. Обґрунтування доцільності застосування безперервних процесів виробництва сталі, а також розробка заходів та обладнання, які дозволяють досягати високої інтенсивності плавок, раціонального використання площ та об'єму агрегатів, а також усунення цехових та внутрішньо-цехових перевезень металу.

Викладання матеріалу та результати. Автори цієї публікації розробили, запатентували і пропонують до широкого обговорення технологію виробництва сталі, яка є безкоксовою, суміщеною та безперервною [11].

Дана технологія має ряд переваг, серед яких головною є виведення коксу з процесу одержання металу внаслідок його заміни недефіцитним та недорогим паливом, а також відмова від окискування залізорудної сировини та робота на одній комплексній установці.

Суть пристрою та технології отримання сталі із залізорудних концентратів пояснюється рис. 1.

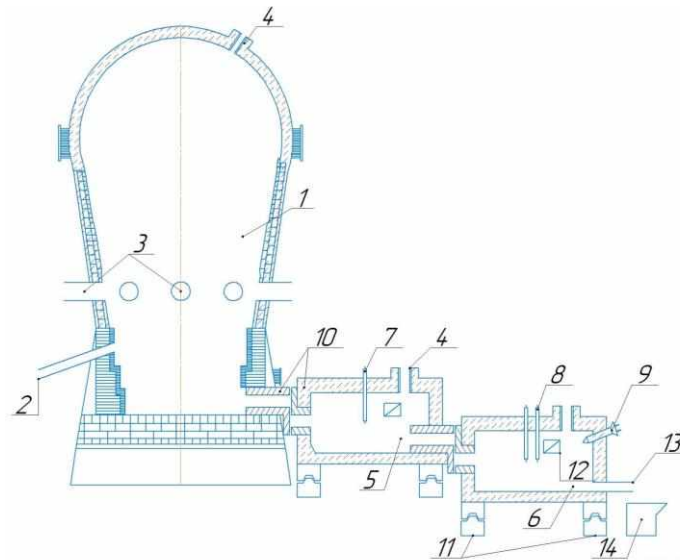


Рис. 1. Схема установки безперервного виробництва сталі

Установка складається з: плавильний реактор-газифікатор 1 для отримання чавуну із застосуванням термічного впливу на залізорудну сировину, який забезпечений сифонним пристроєм для скачування шлаку 2, фурмами для вдування компонентів шихти 3 та газовідведенням 4. Реактор-газифікатор 1 з'єднаний послідовно з двома обертовими камерами 5 та 6. Обертова камера 5 забезпечена дуттьовою кисневою фурмою 7, а обертова камера 6 - системою подачі флюсів та легуючих добавок 8. Для подачі газу, який відходить з плавильного реактора-газифікатора 1 та обертових камер 5 і 6, в обертовій камері 6 застосовується пальник 9. З торців обох обертових камер встановлені притискні склянки – затвори 10, які забезпечують перетікання металу між вузлами агрегату. Обертові камери встановлені на роликах 11 та оснащені шибєрними вікнами 12 для скачування високоосновного шлаку. Для випуску металу в сталерозливний ківш 14 або (за потреби) безпосередньо в ливарно-прокатний модуль використовується лійка 13.

Залізорудну сировину вдувають у плавильно-відновлювальний реактор-газифікатор через дуттьові фурми разом із вугіллям та флюсами. Оксиди заліза швидко відновлюються до крапель металу, внаслідок чого утворюється ванна розплавленого чавуну, який насичує вуглець, що міститься у вугіллі.

Частина залізовмісних матеріалів розплавляється у газовій суміші в плавильному реакторі-газифікаторі, а інші матеріали переходять у шлак. Частинки відновленого заліза, проходячи через зону шлаку, науглецьовуються і опускаються як краплі на подіну печі, створюючи металеву ванну з температурою приблизно 1450 °С.

Високий вміст кисню заліза в шлаку (3-6%) та відсутність коксової насадки в горні апарату дозволяє отримувати чавун із низьким вмістом кремнію, марганцю та фосфору. Типовий чавун містить 4,1-4,5% вуглецю, 0,02-0,06% марганцю, а ступінь дефосфорації досягає 80-95%. Слід зазначити, що за пропонованою технологією можна переробляти менш багаті руди з підвищеним вмістом фосфору.

Певний відсоток пилоподібних матеріалів, що подаються в реактор-газифікатор у процесі рідкофазного відновлення, виноситься з агрегату з газами, що відходять. Їхня присутність не перешкоджає повторному використанню газів у камері 6.

У плавильно-відновному реакторі-газифікаторі верхня та середня зони активно барботуються газом з бульбашками монооксиду вуглецю, які утворюються при відновленні заліза. В результаті значна частина обсягу плавильного реактора-газифікатора зайнята шлакометалевою емульсією, яка містить частинки вугілля та сажі, що брали участь у процесі відновлення металу.

У запропонованому варіанті технологічної схеми процес відбувається в одній установці, яка складається з трьох агрегатів, завдяки чому спрощується логістика виробництва отриманого металу за рахунок відмови від використання залізничного транспорту для транспортування металу між агрегатами у різних цехах.

Використання запропонованої установки має ще одну дуже важливу перевагу, яка полягає в тому, що процес, здійснюваний в реакторі-газифікаторі, не вимагає використання руд і концентратів з дуже високою масовою часткою заліза, у порівнянні з агрегатами твердофазного відновлення, наприклад, Hyl, Midrex та інших, що здешевлює як виробництво залізничної сировини, так і сталі.

Як уже згадувалося, періодичний характер роботи створює значні труднощі як у самих печах, так і в цілому на підприємстві при узгодженні роботи цехів, у тому числі, міксерного відділення. Частка роботи конвертера, яка припадає на завалку шихти, досягає 30% від загального часу виробництва, що знижує продуктивність плавки.

Розробка та впровадження безперервних процесів дозволить досягти високої інтенсивності виробництва та збільшити ефективність використання площі при застосуванні агрегатів порівняно невеликих обсягів.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Передбачувана технологія виробництва сталі, яка є одночасно безкоксовою, безперервною та суміщеною, містить її переваги та складності реалізації.

2. Важливими перевагами перед існуючими технологіями є відмова від використання коксу при виплавці промпродукту та від обгрудкування тонкоподрібнених залізистих руд та концентратів. Крім того, можливе використання рудної сировини з не дуже високим вмістом заліза, яке потрібно, наприклад, при твердофазному відновленні в технологіях Hyl, Midrex та інших. Також можливо переробляти руди з підвищеним вмістом в них фосфору. Таким чином, немає необхідності споруджувати коксохімічні заводи та фабрики обгрудкування, які завдають великої шкоди навколишньому середовищу.

3. Пропонована технологія може бути застосована як при мало-, так і великомасштабному виробництві сталі.

Для розробки оптимальної конструкції обладнання та технологічної схеми необхідно створення та випробування напів-промислової установки, що забезпечить передумови заміни існуючих металургійних виробництв повного циклу, які вимагають величезних коштів та забруднюють довкілля.

Список літератури

1. **Минаев А.А.** Совмещенные металлургические процессы. Монография // Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕК, 2008. – 552 с.
2. **Івашенко В.П.** Безкоксова металургія заліза // **В.П. Івашенко, О.Г. Величко, В.С. Терещенко** та ін. / Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2002. - 338 с.
3. **Губін Г. В.** Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза / **Г. В. Губін, В. О. Півень** ; КТУ, ВАТ “Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат” ; під наук. ред. Г. В. Губіна. – Кривий Ріг : [б. в.], 2010. – 335 с.
4. **Бондаренко Б.И.** Теория и технология бескоксовой металлургии // **Б.И. Бондаренко, В.А. Шаповалов, Н.И. Гармаш** / К.: Наукова думка, 2003. - 536 с.
5. **Иванцова Г.П.** Непрерывный сталеплавильный процесс // **Г.П. Иванцова, А.В. Васильвицкий, В.И. Смирнов**. / М., Металлургия, 1967, - 148, с.
6. **Eketorp S.**—Ironand Itul Instit, Steel Making, The Chapman Conference, Cambridge, Massachusetts, June, 180, V1, 1972, - P.1-9.
7. **Голиков И.Н.** Перспективы развития технологии горной металлургии (научные предпосылки). // И.Н. Голиков, Г.В. Губин, А.К. Карклит и др. / М.: Металлургия, - 568 с.
8. **Козаков А.А.** Непрерывные сталеплавильные процессы. М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
9. **Баптизманский З.И.** Технология и установки непрерывного способа производства стали. Под редакцией В.И. Баптизманского. // **З.И. Баптизманский, И.В. Лысенко, Ю.С. Понтов** и др. / К.: Техника. , 1978. — 192 с.
10. **Дигонский С.В.** Теоретические основы и технология восстановительной плавки металлов из неокискованного сырья // СПб.: Наука, 2007. — 322 с.
11. **Губін Г.В.** Спосіб непрерывного виробництва сталі з руж та концентратів в агрегатах рідкофазного відновлення заліза. // **Губін Г.В., Скідін І.Є. Короленко М.К.** та ін., Патент на корисну модель №146605. Бюл.№9 03.03.2021, Рукопис подано до редакції 12.04.22