

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 залізорудну сировину, яка вдувається через фурми разом з вугіллям і флюсами в плавно-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 дефосфорация низьковуглецевої сталі, яку подають до наступної обертної 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 залізрудного 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 одиничної 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.

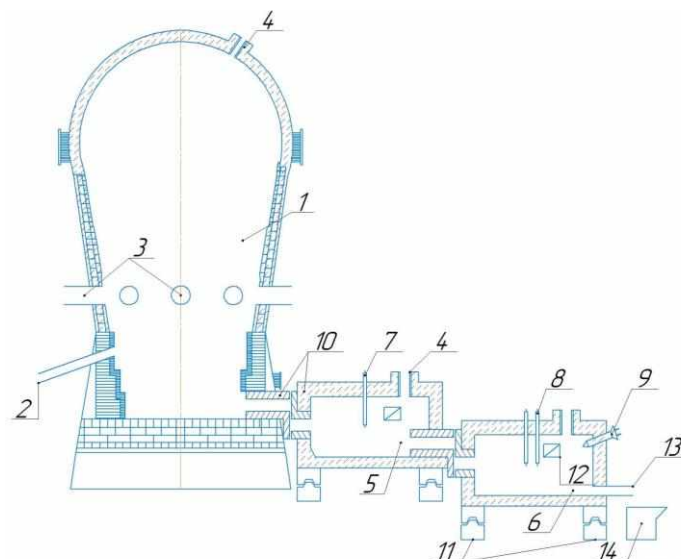


Рис. 1. Схема установки безперервного виробництва сталі

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 притисні склянки – затвори 10, які забезпечують перетікання металу між вузлами агрегату. Обертові камери встановлені на роликах 11 та оснащені шиберами 12 для скачування високоосновного шлаку. Для випуску металу в сталерозливний ківш 14 або (за потреби) безпосередньо в ливарно-прокатний модуль використовується льотка 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 плаவில்но-вiдновному реакторi-газифiкаторi верхня та середня зони активно барботуються газоносiєм з бульбашками монооксиду вуглецю, якi утворюються при вiдновленнi залiза. В результатi значна частина обсягу плаவில்ного реактора-газифiкатора зайнята шлакометалевою емульсiєю, яка мiстить частинки вугiлля та сажi, що брали участь у процесi вiдновлення металу.

У запропонованому варiантi технологiчної схеми процес вiдбувається в однiй установцi, яка складається з трьох агрегатiв, завдяки чому спрощується логiстика виробництва отриманого металу за рахунок вiдмови вiд використання залiзничного транспорту для транспортування металу мiж агрегатами у рiзних цехах.

Використання запропонованої установки має ще одну дуже важливу перевагу, яка полягає в тому, що процес, здiйснюваний в реакторi-газифiкаторi, не вимагає використання руд i концентратiв з дуже високою масовою часткою залiза, у порiвняннi з агрегатами твердофазного вiдновлення, наприклад, Hyl, Midrex та iнших, що здешевлює як виробництво залiзородної сировини, так i сталi.

Як уже згадувалося, перiодичний характер роботи створює значнi труднощi як у самих печах, так i в цiлому на підприємствi при узгодженнi роботи цехiв, у тому числi, мiксерного вiддiлення. Частка роботи конвертера, яка припадає на завалку шихти, досягає 30% вiд загального часу виробництва, що знижує продуктивнiсть плавки.

Розробка та впровадження безперервних процесiв дозволить досягти високої iнтенсивностi виробництва та збiльшити ефективнiсть використання площi при застосуваннi агрегатiв порiвняно невеликих обсягiв.

Висновки та напрямок подальших дослiджень.

1. Передбачувана технологiя виробництва сталi, яка є одночасно безкоксовою, безперервною та сумiщеною, мiстить iх переваги та складностi реалiзацiї.

2. Важливими перевагами перед iснуючими технологiями є вiдмова вiд використання коксу при виплавцi промпродукту та вiд обгрудкування тонкоподрiбнених залiзовмиcних руд та концентратiв. Крім того, можливе використання рудної сировини з не дуже високим вiстом залiза, яке потрiбно, наприклад, при твердофазному вiдновленнi в технологiях Hyl, Midrex та iнших. Також можливо переробляти руди з пiдвищеним вiстом в них фосфору. Таким чином, немає необхідностi споруджувати коксохімічні заводи та фабрики обгрудкування, якi завдають великої шкоди навколишньому середовищу.

3. Пропонована технологiя може бути застосована як при мало-, так i великомасштабному виробництвi сталi.

Для розробки оптимальної конструкцiї обладнання та технологiчної схеми необхідно створення та випробування напiв-промислової установки, що забезпечить передумови заміни iснуючих металургiйних виробництв повного циклу, якi вимагають величезних коштiв та забруднюють довкiлля.

Список лiтератури

1. **Минаев А.А.** Совмещенные металлургические процессы. Монография // Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕК, 2008. – 552 с.
2. **Ивашенко В.П.** Безкоксовая металлургия железа // **В.П. Ивашенко, О.Г. Величко, В.С. Терещенко** та iн. / Днiпропетровськ: Днiпро-ВАЛ, 2002. - 338 с.
3. **Губiн Г. В.** Сучаснi промисловi способи безкоксової металургiї залiза / **Г. В. Губiн, В. О. Пiвень** ; КТУ, ВАТ “iнгулецький гiрничо-збагачувальний комбiнат” ; пiд наук. ред. Г. В. Губiна. – Кривий Рiг : [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 сталеплавленный процесс // **Г.П. Иванцова, А.В. Василивицкий, 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 сталеплавленные 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. **Губiн Г.В.** Спосiб неперервного виробництва сталi з руж та концентратiв в агрегатах рiдкофазного вiдновлення залiза. // **Губiн Г.В., Скiдiн И.С. Короленко М.К.** та iн., Патент на корисну модель №146605. Бюл.№9 03.03.2021,