

Процес електрошлакового відновлення забезпечує високу якість продукції та можливість безвідходного виробництва. Інвестиції в обладнання для цього процесу відносно низькі.

Список літератури

1. Simandl G. J. (2022) Vanadium as a critical material: economic geology with emphasis on market and the main deposit types. *Applied Earth Science*. 131 (4). 218–236. DOI: 10.1080/25726838.2022.2102883
2. Vanadium: Extraction, Manufacturing and Application. (2021) Elsevier. DOI: 10.1016/C2018-0-03399-X
3. Gasik M. (2013) Technology of vanadium ferroalloys. *Handbook of Ferroalloys*. Elsevier.
4. Swinbourne D. R., Richardson T. Cabalteja F. (2016) Understanding ferrovanadium smelting through computational thermodynamics modelling. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 125 (1). pp. 45-55. DOI: 10.1179/1743285515Y.0000000019.
5. Wenfang G., Zhi S., Hongbin C., He D., Yujiao Z., Pengge N., Gaojie X., Yi Z. (2020) Economic evaluation of typical metal production process: A case study of vanadium oxide production in China. *Journal of Cleaner Production*. 256. 120217. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120217
6. Gasik M., Dashevskii V., Bizhanov A. (2021) *Ferroalloys: Theory and Practice*. Springer.
7. Lyakishev N.P., Pliner Yu.L. (1978) *Aluminothermia*. Moscow: Metallurgy.
8. Kostetskyi Yu. at al. (2023) Features of the Process of Obtaining Ferrovanadium under Conditions of Electroslag Melting.
9. Hallstedl B. (1990) Assessment of the CaO-Al₂O₃ System. *Journal of the American Ceramic Society*. 73(1). pp. 15-23. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1990.tb05083.x

УДК 669.162.013

Г. Ю. Крячко, Є. М. Сігарьов, М. Р. Руденко, В. В. Філіп'єв

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ДУТТЬОВИХ І ГАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ

ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ

Протягом тривалого періоду розвитку конструкцій доменного комплексу і технології плавки за виключенням постійного зростання корисного об'єму доменних печей принаймні тричі виникали ситуації, коли зростання тиску газів в печі пов'язувалось з можливостями повітродувних засобів. Виникнення першої ситуації пов'язане з винайденням колошникового затвору для уловлювання колошникових газів і утилізації їх хімічної енергії (середина XIX ст.), виникнення другої - з впровадженням технології роботи печей з підвищеним тиском газу на колошнику, а третьої ситуації - з винайденням газових утилізаційних безкомпресорних турбін (ГУБТ) для використання фізичної енергії колошникових газів (середина XX ст.).

Для оцінки взаємозалежності дуттьових і газових параметрів доменного процесу доменний комплекс, що крім печі містить засоби компримування і нагріву повітря, запропоновано [1] розглядати як аналог теплової газової машини, в котрій робоче тіло спочатку стискається, а затим підігрівається і розширюється, виконуючи корисну роботу.

Дуття для доменної печі компримується, нагрівається у повітронагрівниках, окислює паливо на фурмах, відбувається розширення - утворення фурменного газу, котрий виконує технічну роботу: нагріває, відновлює, плавить шихту, приводить в рух газову утилізаційну безкомпресорну турбіну.

У відповідності з підходом до доменної печі як до теплової газової машини технічна робота пічного газу може бути визначена за зміною повних абсолютних тисків до і після печі. Іншими словами, чим більше ступінь зниження тиску газу в доменній печі, тим ефективніше організовано протипотік шихти і газів при інших рівних умовах. Такий підхід свідчить на користь обґрунтованості напряму у форсуванні ходу доменної печі з підвищенням загального перепаду тисків.

Однак, на нашу думку, і ступінь зниження тиску слід відносити до об'ємної витрати пічного газу, наприклад фурменного. Внаслідок дотримання принципу відносності такий критерій буде більш представницьким, ніж використовуваний в якості показника степені зниження тиску загальний перепад тисків між кільцевою трубою гарячого дуття і колошником.

Для оцінки ефективності використання енергії стисненого дуття запропоновані також показники, що являють собою відношення ступенів зниження тиску газу в печі і в газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні (якщо остання працює на печі) до ступенів стискання дуття.

Розрахунок характеристик дуття і пічного газу за даними робіт Н. Тимофєєва (публікація 1952 р.) та З. І. Некрасова (публікація 1957 р.) показав, що в початковій період освоєння технології плавки з підвищеним тиском газів на колошнику питомий ступінь стиснення дуття збільшувався при підвищенні тиску газів в робочому просторі. Таке явище пояснюється наявністю невеликого резерву потужності повітродувок, розрахованих на роботу доменних печей з нормальним тиском газу на колошнику.

Практикою підтверджено, що недооцінка ролі повітродувних засобів і якості виробленого дуття призводить до суттєвих втрат у виробництві чавуну і неефективному використанні основних фондів. Згідно з результатами порівняння роботи потужних печей колишнього СРСР з використанням компресорів різної потужності (використали дані про роботу у 1990 р. печей 5000 та 5500 м³ відповідно з публікацій В. А. Шеремета (1999 р.) та А. К. Ікконена зі співавторами (1995 р.)) обидві печі в аналізованих періодах працювали у відносно стабільних енергосировинних умовах із застосуванням безконусних завантажувальних пристроїв фірми «PAUL WURTH».

Незважаючи на більш ефективне використання стисненого дуття в ДП №9 «Криворіжсталі» недостатня потужність компресорів, перш за все, за тиском дуття примушувала працювати з меншим тиском газу на колошнику з меншою інтенсивністю плавки за дуттям (1,873 м³/м²-год) проти 2,058 м³/м²-год на більш потужній череповецькій печі (рф). Намагання підвищити продуктивність ДП №9 «Криворіжсталі» за рахунок збільшення концентрації кисню в дутті до 30 % супроводжувалося подорожчанням чавуну в результаті зростання витрат на додатковий технічний кисень.

Наслідки необґрунтованого вибору повітродувних засобів недостатньої потужності із-за проєктної помилки у встановленні низького робочого перепаду тисків в ланці «пристрій для введення дуття в піч - колошник» до 180 кПа відчувалися не тільки на зменшенні інтенсивності дуття і його подорожчанні, але й обумовили незадовільну роботу горна і прискорене горіння фурм.

Прикладом ігнорування необхідності дотримання відповідності між параметрами дуття і тиском газу на колошнику можна вважати і невдалу спробу форсування плавки підвищенням тиску дуття на ДП №2 об'ємом 5245 м³ (Оіта, Японія) за даними Такао М. зі співавторами [2]. Так, при підвищенні надмірного тиску дуття вище 440 кПа з'являлась сильна пульсація тиску, передчасний продув газів крізь льотку заважав повному випуску продуктів плавки. Пульсацію дуття автори пояснювали проривом газу крізь купол зони когезії в момент розплавлення чергового шару залізородних матеріалів. Більш вірогідною, на наш погляд, є інша причина: поршневий режим псевдозрі-

дження, що виникає при критичних швидкостях горнового газу в зоні розрихленого коксу, яка розміщується над куполом осьової зони малорухомих матеріалів в заплечиках доменної печі.

Пульсації, як і більш розповсюджене порушення ходу печі - підвісання шихти, мають загальну природу - неприпустиме збільшення швидкості газу в стовпі шихти. Тому єдиним способом форсування плавки в таких умовах є підвищення тиску газів в робочому просторі печі. Судячи за низькою якістю стисненого дуття перепоною для підвищення тиску на колошнику ДП №2 в Оіта була недостатня для форсованого режиму потужність повітродувної машини.

На прикладах експлуатації великих доменних печей колишнього СРСР і Японії доведено, що недооцінка значення повітродувних засобів і якості холодного дуття обмежує можливості застосування підвищеного тиску і форсування процесу. Удосконалення конструкцій і режимів роботи повітродувних машин є одним із вирішальних умов подальшого розвитку технології плавки на підвищеному тиску.

Список літератури

1. Крячко Г. Ю. Оценка качества дутья и технической работы газа в доменном процессе. Черные металлы. 2002. №10. С. 11-16.
2. Такао М., Тоигути М., Хага Т. Работа доменной печи №2 в Оита с суточной производительностью 12550 т // Новости черной металлургии за рубежом. 1995. №1. С. 35-37.

УДК 669.546.1

І. Ю. Навольнєв, В. В. Кухар, Є. В. Чупринов

ТОВ «Технічний Університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя

ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ DRI-ПРОДУКТУ

Боротьба з вуглецевим слідом стає головною вимогою сучасного розвитку промисловості. Не обійшла ця тенденція й металургійний комплекс. На заміну існуючому, розповсюдженому доменному виробництву, одним з варіантів пропонується більш