

Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

Концепція осьового ходу доменних печей і розподіл температур на горизонті повітряних фурм

Метою роботи є уточнення даних про зміну температур на горизонті повітряних фурм доменних печей. Розглянуті обмеження, що пов'язані з реалізацією відомої концепції осьового ходу доменних печей в плані стабілізації температур в коксовій насадці горна. На основі співставлення результатів досліджень розподілу температури коксу і його фракційного складу на рівні повітряних фурм показано, що на доменних печах, обладнаних безкоштовними засипними пристроями і установками вдування вугільного пилу критичною зоною в розподілі температур і їх коливанні в часі, є проміжна зона між «пташиним гніздом» і центром горна. Тимчасове, але достатньо тривале зниження температури коксу до 1000 °С в проміжній зоні сучасних доменних печей не супроводжується небезпекою утворення тотерману, чому сприяють існування осьової коксової віддушини — своєрідної прогрітої серцевини коксової насадки і достатня теплова інерційність горна. Встановлено, що збільшення витрат дуття діє на розподіл температур коксу на горизонті повітряних фурм подібно тенденції погіршення гарячої міцності коксу — температури в проміжній зоні коксової насадки знижуються. Рекомендовано враховувати зміну якості завантаженого коксу при виборі розмірів коксової віддушини в центрі печі і ступеня форсування її ходу дуттям. В умовах застосування пиловугільного палива, при роботі на коксі посередньої якості, найбільш прийнятним режимом організації радіального газового потоку є периферійно-осьовий з перевагою в розвитку осьового над периферійним. Незважаючи на деяку умовність розглянутих у статті прикладів, можна стверджувати, що тривалий без порушень ходу осьовий хід може бути реалізований тільки при збереженні певної для конкретних умов інтенсивності периферійного газового потоку. Тобто в ідеальному вигляді осьовий хід доменної плавки є практично неможливим.

Ключові слова: доменна піч, повітряна фурма, горн, коксова насадка, температура, режим дуття, газовий потік.

Вступ. На важливість збереження активного руху газів в центрі печі за рахунок відмови від завантаження руди в центр колошника вперше в світовій металургії чавуну звернув увагу В.І. Гулига (колишній СРСР, 1934 р.). Надалі М.М. Чернов і І.Ф. Домницький (1956 р.) обґрунтували доцільність створення високої газопроникності біля осі печі необхідністю послаблення надмірного потоку газів біля периферії для забезпечення обробки газами серединних ділянок шихти, розміщених між периферією і центром. А.Д. Готліб (1966 р.) вважав, що кокс при опусканні і нагріві подрібнювався і розміщувався переважно у центральних ділянках нижньої частини печей з втратою їх газопроникності.

З розвитком можливостей створення коксової «віддушини» в центрі печей шляхом застосування на початку рухомих плит колошника, а надалі безкоштовних засипних пристроїв, концепція осьового ходу печей набула формату, представленою на рис. 1.

Виникає закономірне питання, якою мірою нова технологічна концепція вплинула на коксову насадку в горні і заплечиках, чи справдилися очікування — послаблення реакції газифікації коксу і заміни коксу в горні більш крупним коксом? І в кінцевому рахунку, як вплинула вказана концепція на температурний режим коксової насадки?

Концепція осьового ходу з подовженим вгору кокусом коксової насадки фірми «Kobe Steel» (Японія) може бути реалізована при використанні високоякісних залізородних матеріалів і коксу з високою гарячою міцністю, притаманних умовам доменного виробництва Японії, де використовують імпорتنі багаті залізні руди і якісне коксівне вугілля. «Нависання» кореня зони когезії над зонами горіння перед фурмами в таких умовах не є перешкодою для реалізації рівного ходу доменних печей.

Тривалий період проведення досліджень розподілу температур і складу фурменного і горнового газів

в радіальному перетині горна головна увага приділялась зонам горіння і центру печі, про що свідчать фундаментальні роботи ІЧМ та ДонНДІчормету на доменних печах Криворіжсталі та Азовсталі колективами дослідників під керівництвом З.І. Некрасова та М.І. Красавцева.

Постановка проблеми. Після появи інформації про структуру стовпа шихти заморожених доменних печей в поле зору дослідників потрапила характерна зона за межами прифурменної порожнини — так зване «пташине гніздо», утворене з дрібного коксу [2]. На проміжну зону між «гніздом» і центром звернули увагу після досліджень вмісту ядер буріння коксової насадки на горизонті повітряних фурм [3]. Являє теоретичний і, перш за все, практичний інтерес, яка з перерахованих зон є визначальною в сучасних умовах доменної плавки, коли використання безконусних засипних пристроїв поєднується з вдуванням пиловугільного палива. Також на сьогодні не зовсім ясно, як поширена концепція осьового ходу співвідноситься з очікуваними змінами в коксовій насадці доменних печей, в чому полягає протиріччя в оцінці витрати дуття на розподіл температур в горні.

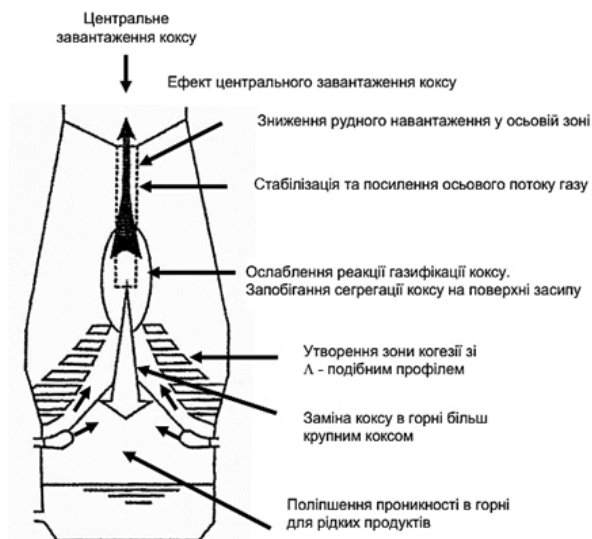


Рис. 1. Схема впливу центрального завантаження коксу на доменний процес відповідно до концепції осьового ходу печі, запропонована фірмою «Kobe Steel» (Японія) [1]

Відсутня однозначність в питанні про вплив витрати дуття на перерозподіл температур у фурменній зоні та за її межами. Так, зондування фурменної зони доменної печі Дніпровського металургійного заводу об'ємом 1033 м³ у трьох напрямках [4] показало, що збільшення витрати дуття з 2310 до 2600 м³/хв призвело до збільшення довжини окислювальної зони з 1,3 до 1,56 м і вирівнюванню максимальних температур 1860—1880 °С протягом від 0,2 до 1,1 м від торця повітряної фурми.

Протилежні результати впливу витрати дуття на розподіл температур на горизонті повітряних фурм було отримано на заводі в Мурорані (Японія) [5]. Зондування на зупинках доменної печі за допомогою зонда з оптоволоконними стрижнем і кабелем, а також двохкольорового радіаційного пірометра пока-

зало, що збільшення витрати дуття на піч з 3250 до 3500 м³/хв супроводжувалось зниженням температури коксу як в зоні горіння, так і за її межами.

Зазвичай вважали, що граничне форсування ходу доменних печей обмежують утворення каналів в стовпі шихти (О.Н. Рамм, 1980 р.) або перехід шихти в окремих локаціях на колошнику у псевдозріджений стан (В.П. Тарасов, 1982 р.). Обидва фактори суттєво погіршують використання теплової і відновлювальної енергії газового потоку, що супроводжується зростанням питомої витрати палива. Враховуючи появу даних про вплив витрати дуття на розподіл температур в коксовій насадці [5], слід розглянути можливість використання критичного стану насадки в якості обмежувального фактору.

Мета дослідження. Метою роботи, викладеної нижче, є вирішення наступних задач:

— дослідити, як концепція осьового ходу доменних печей вплинула на температурний стан коксової насадки;

— з'ясувати, чи може рівень температур в проміжній зоні між «пташиним гніздом» і центром горна бути одним із факторів обмеження форсування ходу доменної печі дуттям.

Результати дослідження. На відміну від раніше проведених порівняльних аналізів розподілу температур газу в радіальному перетині горна (наприклад І.З. Козлович, 1951 р.; М.І. Красавцев та ін., 1966 р.; З.І. Некрасов та ін., 1971 р.) орієнтувалися на оцінку розподілу температур в горні за вимірами температури коксу, як більш надійним показником, ніж температура газу. На наш погляд, внаслідок коливання швидкості газу в коксовій насадці, внаслідок зрушень в її масиві в результаті руху дослідницького зонда і пульсації фурменного та горнового газу, викликаних нестаціонарністю зони горіння, отримується умовно «миттєвий» профіль температур, наприклад, як в дослідженні Г.В. Коршикова зі співавторами, 1965 р. Щоб підвищити показовість розподілу температур газу за допомогою термопар занурення збільшують частоту вимірів і усереднюють дані за характерний період досліджень (З.І. Некрасов зі співавторами, 1971 р.).

Перевага методики оцінки розподілу температур в коксовій насадці за температурою коксу полягає в тому, що кокс для прогріву перед виміром потребує тривалих руху газів і часу в конкретній локації, тобто отримана інформація є більш показовою.

Для оцінки розподілу температур коксу в коксовій насадці були залучені результати дослідження доменної печі № 1 об'ємом 2000 м³ заводу в Фос-сюр-Мер фірми «Sollac» (Франція) в січні 1999 р., виконаних оптичним пірометром за допомогою водоохолодженого зонда, що вводився крізь фурму на працюючій печі. Графічні матеріали (рис. 2) запозичені з видання Є.Ф. Вегмана зі співавторами (2004 р.).

Як видно з рис. 2, а, у прифурменній порожнині печі існували дві різко виражені температурні області: в першій половині температура коксу зростала з 1700 до 1900 °С, у другій падала з 1900 до 1400 °С. В «пташиному гнізді» (відстань між 1 і 2 метрами від тор-

ця фурми) температура була стабільною — на рівні 1350—1500 °С, а за його межами в коксовій насадці температура варіювала від 1000 до 1400 °С, причому температурний мінімум знаходився на відстані 3 м від фурми, а максимум ~ 1400 °С в центрі насадки.

Застосування коксу з підвищеною гарячою міцністю поступово ліквідувало холодну зону в коксовій насадці (рис. 2, б). На рисунку виразно прослідковується динаміка підвищення температури в проміжній зоні з критичних 950—1200 °С до стабільних 1300—1400 °С.

Аналіз інформації, що наведена на рис. 2, дозволив виявити наступне. По-перше, видно, що тимчасове, але достатньо тривале зниження температур коксу до 1000 °С не викликало утворення тотермана, коксова насадка не втрачала сипучого стану. По-друге, при застосуванні коксу різної якості температура в зоні «пташиного гнізда» залишалась стабільною в порівнянні з іншими зонами. По-третє, найбільші коливання температур коксу були зафіксовані у проміжній зоні.

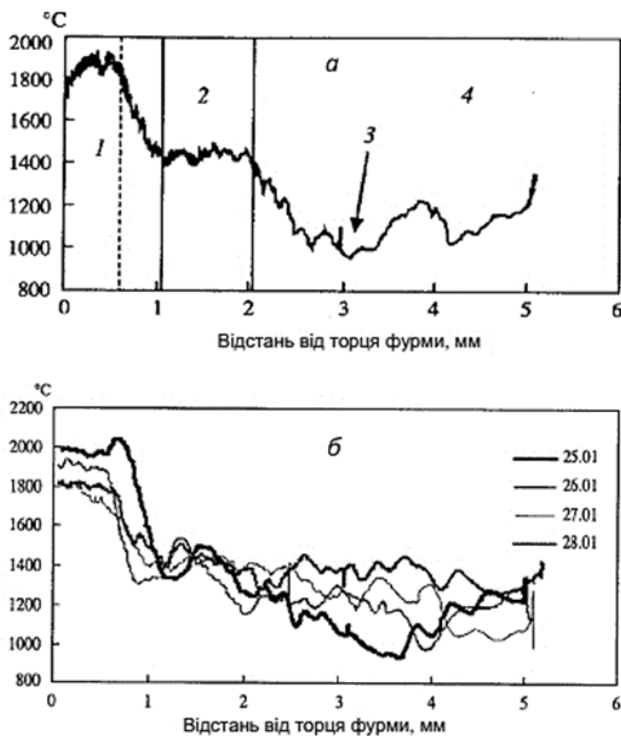


Рис. 2. Зміна температури коксу в коксовій насадці по осі повітряної фурми (а) і приклади температурних профілів в масиві насадки ДП № 1 заводу у Фос-сюр-Мер після початку застосування коксу з підвищеною гарячою міцністю

Пояснення виявлених закономірностей наступні. Збереження газопроникності шару коксу в окремих зонах коксової насадки сучасних печей середнього і великого об'єму обумовлюється значним резервом акумульованого тепла, оскільки тепловими конденсаторами в працюючій печі є як сама коксова насадка, так і розплави в її нижній частині [6]. На малих печах минулого з низьким рівнем конденсаційного запасу зниження температур газу до 1200 °С і нижче приводило до утворення в центрі горна застиглого коксо-розплавного моноліту — тотермана.

З іншої сторони центральне завантаження коксу і обумовлений цим осьовий газовий потік підтримують достатній рівень температур ~ 1400 °С в центрі горна, завдяки чому коксова насадка зберігає робочий стан в періоди погіршення гарячої міцності коксу (рис. 2, б).

Очікуване авторами концепції осьового ходу [1] ослаблення реакції газифікації коксу і його подрібнення внаслідок центрального завантаження коксу не сталося, оскільки в доменній печі, як показав К.М. Бугайов (1972 р.), відбувається перерозподіл кисню, відібраного від відновлюваних оксидів. Цей перерозподіл відбувається між газопроникними зонами (периферія і ось) та малопроникною (проміжною). В результаті нівелюється вплив центрального завантаження коксу на збереження останнього від газифікації.

Для пояснення інших перелічених вище закономірностей були залучені результати дослідження гранулометричного складу коксової насадки доменної печі № 3 «SAAB EMEA» (Швеція) [3]. Досліджувана піч мала об'єм 2540 м³, діаметр горна 11,4 м і 32 повітряні фурми, працювала з витратою палива (кокс + пиловугільне паливо) в розмірі 459 кг/т чавуну і продуктивністю 6400 т/доб. Після зупинки печі за допомогою бурильної машини з трубою діаметром 200 мм і довжиною 6 м було проведено відбори кернів на горизонті розміщення повітряних фурм. Довжина кернів складала 2,25—2,75 м. Після свердління керни герметизувалися і охолоджувалися азотом всередині і зовні водою. Фото керна, відібраного крізь фурменний холодильник фурми № 1, представлено на рис. 3, а. Починаючи з локації 1,5 м до локації 2,75 м виразно проглядається деградація коксової насадки — різке зменшення крупності кусків і засміченість дрібняком.

Для кількісної оцінки розподілу фракцій коксу вуглецевмісного дрібняку керни було поділено авторами [3] на підпроби довжиною по 0,25 м з просіюванням і відокремленням шлаку і металу. Результати представлені на рис. 3, б, з якого видно, що кількість фракцій > 20 мм зменшувалась не тільки до кінця прифурменної порожнини, але і далі у напрямку центру. Це протирічить раніше проведеним дослідженням, за якими зменшення крупності коксу спостерігалось лише до «пташиного гнізда» [7]. Таку різницю можна пояснити різницею в розподілі окремих фракцій коксу в перетині печі в процесі його завантаження.

Дані, показані на рис. 3, б, кількісно підтверджують візуальну оцінку стану проміжної зони коксової насадки — починаючи з локації 1,5 м від стін горна різко зростає вміст вуглецевистого дрібняку < 0,5 мм, причому для кернів, пробурених перед різними фурмами. Бажано було б дослідити походження вуглецевистого дрібняку, звідки він — з коксу або з вугільного пилу.

Неочікувано виявилось, що в конкретних умовах ДП № 1 заводу в Фос-сюр-Мер найбільш стабільною була температура в зоні «пташиного гнізда» (рис. 2, б). Це пояснюється особливостями гранулометричного складу вуглецевистих матеріалів цієї

зони, дослідженій на шведській печі, перш за все помірною кількістю дрібняку і суттєво — фракції > 20 мм (рис. 3, б).

Таким чином, показано, що критичною зоною в плані розподілу і коливання температур по радіусу горна на горизонті повітряних фурм доменних печей, обладнаних безконусними засипними пристроями і установками вдування вугільного пилу, є проміжна — між «пташиним гніздом» і центром печі.

Повертаючись до графічної інформації, наведеної на рис. 2, слід зазначити, що концепція осьового ходу доменної печі не виключає важливості підготовки шихти, перш за все якісного коксу. У випадку погіршення гарячої міцності коксу можна рекомендувати більше розкриття центру печі розширенням коксової віддушини. Цей засіб зменшує ширину коксової насадки і деградацію коксу в її проміжній зоні.

Виміри температури коксу при різних витратах дуття на заводі в Мурорані [5] очікувано показали загальний знижений рівень нагріву коксу в порівнянні з працюючою піччю в Фос-сюр-Мер. Тим не менш закономірності, виявлені на останній печі, залишились без змін — найменший розкид температур коксу і найбільший розмах їх коливань спостерігались в «пташиному гнізді» і в проміжній зоні за ним.

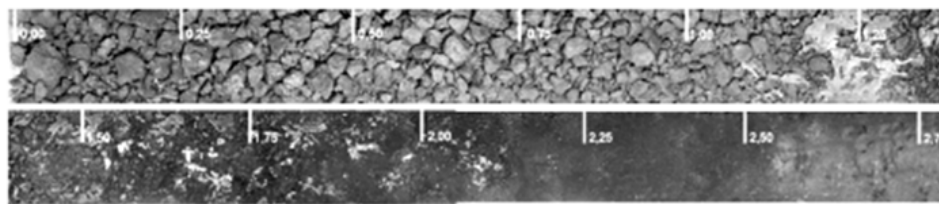
Недоліками роботи [5] є відсутність даних про тривалість роботи печі з постійною витратою дуття, а

також даних про режим завантаження шихти під час досліджень. Справа в тому, що розподіл температур горнових газів і відповідно коксу залежить не тільки від дуттьового режиму, але й режиму завантаження шихти і формування зони когезії.

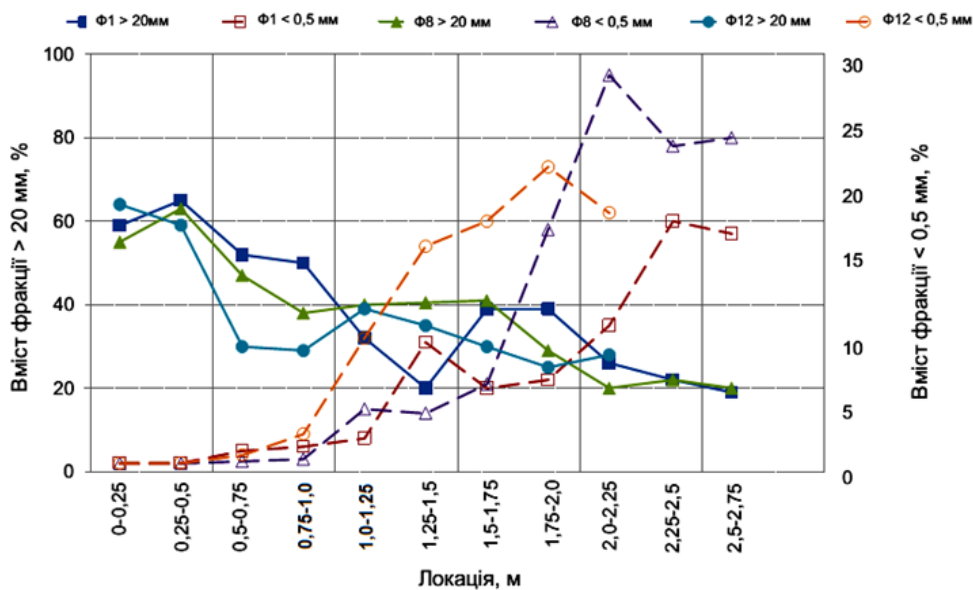
Порівнюючи графічну інформацію, представлену на рис. 2, б і рис. 4, можна зробити висновок про те, що збільшення витрати дуття діє на розподіл температур коксу на горизонті повітряних фурм подібно до тенденції погіршення гарячої міцності коксу — температури в проміжній зоні коксової насадки знижуються. Це означає, що для конкретних умов плавки витрата дуття повинна бути оптимізована відносно якості завантажуваного коксу.

В роботі [8] автори намагались показати вплив швидкості витоку дуття з повітряної фурми на розподіл температур коксу по радіусу горна. Ліворуч на рис. 5 наведено залежності, отримані для трьох рівнів швидкості дуття і продуктивності печі, праворуч в таблиці — наш коментар, віднесений до характеристики ходу печі і наслідки його реалізації. Явним протиріччям є те, що поряд з твердженням про неможливість реалізації режиму дуття зі швидкістю 210 м/с автори [8] показали достатньо високу результативність його реалізації, а саме 2,1 т/м³.доб.

За першим варіантом (швидкість дуття $V_d = 230$ м/с) при периферійному ході стійка робо-



а



б

Рис. 3. Загальний вигляд вмістимого керну, отриманого при бурінні коксової насадки в горні крізь фурму № 1 (а) і розподіл фракцій коксу > 20 мм і вуглецевистого дрібняку < 0,5 мм по довжині досліджених кернів (б) на ДП № 3 «СААВ ЕМЕА» за даними [3]: а — цифри біля вертикальних рисок — відстань від стін горна, м

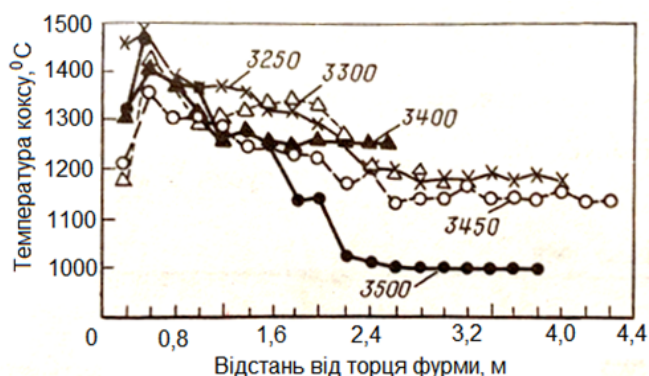


Рис. 4. Зміна температури коксу по радіусу доменної печі заводу в Мурорані (Японія) після зупинок при роботі з різною витратою дуття за даними [5]: цифри біля кривих — витрата дуття, м³/хв

та повним перетином горна не можлива внаслідок зниження температури коксу в центрі нижче 1300 °С. При таких температурах шлаки втрачають текучість, а коксова насадка — дренажну здатність. Тобто надмірно розвинений периферійний хід печі означає втрату центру насадки.

Другий варіант (в прикладі $V_d = 220$ м/с) являє собою класичний, перевірений часом периферійно-осьовий хід, при якому на фурми біля стін печі надходить прогрітий до температур 1700—1750 °С кокс, а в центральному крузі нагрів коксу не знижується менше 1400 °С.

Третій варіант [8] ($V_d = 210$ м/с), який на думку авторів [8] призводить до деградації доменного процесу, є прикладом виникнення хронічного осьового ходу, при якому проміжна зона з центром характеризуються достатнім прогріванням коксу 1400—1500 °С, тоді як периферія охолоджується внаслідок різкого скорочення зони горіння перед фурмами.

Слід зазначити, що незважаючи на деяку умовність розглянутих прикладів, можна стверджувати, що тривалий без порушень ходу осьовий хід може бути реалізований тільки при збереженні певної для конкретних умов інтенсивності периферійного газового потоку. Тобто в ідеальному вигляді осьовий хід

доменної плавки є практично неможливим.

Висновки

Відома концепція осьового ходу, спрямована на стабілізацію температур в коксовій насадці горна, запропонована фірмою «Kobe Steel», має обмеження, оскільки може бути реалізована тільки при використанні високоякісних залізородних матеріалів і коксу з високою гарячою міцністю. Показано, що згадана концепція не усуває необхідності застосування високоякісного коксу навіть при використанні безконусних завантажувальних пристроїв. При погіршенні якості коксу рекомендується посилювати осьовий потік газів шляхом розширення центральної коксової віддушини за умови збереження інтенсивності периферійного потоку газів.

На основі співставлення результатів досліджень розподілу температур коксу і його фракційного складу показано, що критичною зоною в плані по радіусу горна на горизонті повітряних фурм доменних печей, обладнаних безконусними засипними пристроями і установками вдування вугільного пилу, є проміжна — між «пташиним гніздом» і центром печі.

Встановлено, що збільшення витрат дуття діє на розподіл температур коксу на горизонті повітряних фурм подібно до тенденції погіршення гарячої міцності коксу — температури в проміжній зоні коксової насадки знижуються. Це означає, що для конкретних умов плавки витрата дуття повинна бути оптимізована відносно якості завантажуваного коксу.

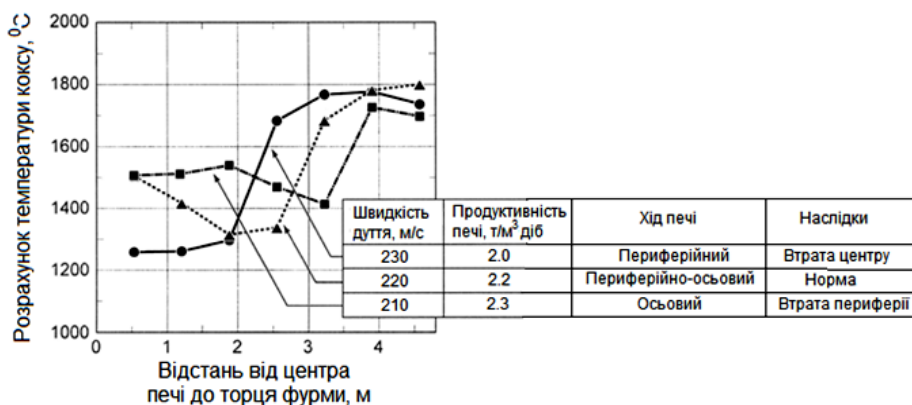
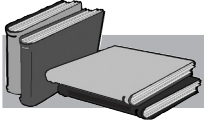


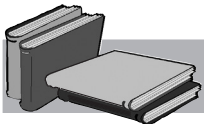
Рис. 5. Вплив швидкості дуття на температуру коксу в коксовій насадці за даними [8] з характеристиками ходу печі і наслідками прийнятого розподілу температур в коксовій насадці горна



ЛІТЕРАТУРА

1. Матсуки Ю., Шибата К., Йошида Ю. и др. Развитие технологии доменной плавки на фирме «Kobe Steel» и концепция осевого хода печи. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2006. № 4. С. 25—29.
2. Гуденау Г.-В., Сасабе М., Крайбих К. Исследования на охлажденных доменных печах в Японии. *Черные металлы*. 1977. № 6/7. С. 13—17.
3. Lundgren M., Ökvist L.S., Hyllander G., Jansson B., Björkman B. High temperature coke characteristics in the blast furnace — evaluation of coke properties in the raceway area. 2012. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1003300/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення: 12.04.2024).
4. Васильев П.Г., Левченко В.Е., Дышлевич И.И. Характер формирования газовой фазы и температурного поля в горне доменной печи по экспериментальным исследованиям. В сб. *тр. Международного конгресса доменщиков*. Днепропетровск — Кривой Рог. 7—12 июня 1999 г. Днепропетровск: Пороги, 1999. С. 282—286.
5. Sugisaki Y., Sugawara N., Yaku T. Measuring the temperature of the coke layer in the axial part of the blast furnace. Development of a method for measuring temperature in a coke layer in the axial part of a blast furnace. *Tetsu-to-Hagane*. 1987. Vol. 73. No. 12. 832 p.
6. Крячко Г.Ю., Андриенко С.Ю., Похил Н.В. О роли тепловых конденсаторов в доменной плавке. *Теория и практика металлургии*. 2010. № 1—2. С. 14—19.
7. Meng S., Jiao K., Zhang J., Wang C., Zhang L., Guo Z., Xiao Z. Analysis of the coke distribution characteristics in hearth based on blast furnace dissection. *Fuel Processing Technology*. 2023. Vol. 242. 107650. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107650>
8. Matsui Y., Yamaguchi Y., Sawayama M., Kitano S., Nagai N., Imai T. Analyses on Blast Furnace Raceway Formation by Micro Wave Reflection Gunned through Tuyere. *ISIJ International*. 2005. Vol. 45. No. 10. P. 1432—1438. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.1432>

Надійшла 24.04.2024



REFERENCES

1. Matsuki, Yu., Shibata, K., Yoshida, Yu. et al. (2006). Development of blast furnace technology at Kobe Steel and the concept of axial furnace running. *News of ferrous metallurgy abroad*, 4, 25-29 [in Russian].
2. Gudenau, G.-V., Sasabe, M., Kraibikh, K. (1977). Research on cooled blast furnaces in Japan. *Stahl Eisen*, 6/7, 13-17 [in Russian].
3. Lundgren, M., Ökvist, L.S., Hyllander, G., Jansson, B., Björkman, B. (2012). High temperature coke characteristics in the blast furnace — evaluation of coke properties in the raceway area. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1003300/FULLTEXT01.pdf> (last accessed: 12.04.2024).
4. Vasiliev, P.G., Levchenko, V.E., Dishlevitch, I.I. (1999). The nature formation of gas phase and temperature field in hearth of a blast furnace according to experimental studies. *International Congress of Domain Developers*. Dnepropetrovsk — Krivoy Rog. Dnepropetrovsk: Porogi, 282-286 [in Russian].
5. Sugisaki, Y., Sugawara, N., Yaku, T. (1987). Measuring the temperature of the coke layer in the axial part of the blast furnace. Development of a method for measuring temperature in a coke layer in the axial part of a blast furnace. *Tetsu-to-Hagane*, 73(12), 832 p. [in Japanese].
6. Kryachko, G.Yu., Andrienko, S.Yu., Pohil, N.V. (2010). On the role of thermal capacitors in blast furnace smelting. *Theory and Practice of Metallurgy*, 1-2, 14-19 [in Russian].
7. Meng, S., Jiao, K., Zhang, J., Wang, C., Zhang, L., Guo, Z., Xiao, Z. (2023). Analysis of the coke distribution characteristics in hearth based on blast furnace dissection. *Fuel Processing Technology*, 242, 107650. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107650>
8. Matsui, Y., Yamaguchi, Y., Sawayama, M., Kitano, S., Nagai, N., Imai, T. (2005). Analyses on Blast Furnace Raceway Formation by Micro Wave Reflection Gunned through Tuyere. *ISIJ International*, 45(10), 1432-1438. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.1432>

Received 24.04.2024

Summary

G.Yu. Kryachko, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor of the Department, e-mail: krachkogennadij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>

Ye.M. Sigarev, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, e-mail: en_sigarev@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>

Dniprovsky State Technical University (Kamianske, Ukraine)

The concept of axial movement of blast furnaces and temperature distribution on the horizon of air tuyeres

The purpose of the work is to clarify the data on temperature changes on the horizon of the air tuyeres of blast furnaces. The limitations associated with the implementation of the well-known concept of axial movement of blast furnaces in terms of temperature stabilization in the coke nozzle blast furnace are considered. Based on the comparison of the results of studies on the temperature distribution of coke and its fractional composition at level of air tuyeres, it is shown that on blast furnaces equipped with coneless filling devices and coal dust blowing units, the critical zone in the distribution of temperatures and their fluctuations in time is the intermediate zone between "bird's nest" and the center of the furnace. A temporary, but sufficiently long-term decrease in the temperature of coke to 1000 °C in the intermediate zone of modern blast furnaces is not accompanied by the danger of toterman formation, which is facilitated by the existence of an axial coke vent — a kind of heated core of the coke nozzle and sufficient thermal inertia of the furnace. It has been established that the increase in blowing costs affects distribution of coke temperatures on the horizon of air tuyeres in a similar way to the tendency of the hot strength of coke to deteriorate — the temperatures in the intermediate zone of the coke nozzle decrease. It is recommended to take into account the change in the quality of the loaded coke when choosing dimensions of the coke vent in the center of the furnace and the degree of forcing its course by blowing. In the conditions of using pulverized coal fuel, when working on coke of average quality, the most acceptable mode of organization of the radial gas flow is peripheral-axial with an advantage in the development of axial over peripheral. Despite some conventionality of the examples discussed in the article, it can be argued that a long axial stroke without stroke disturbances can be realized only if the intensity of the peripheral gas flow is maintained for specific conditions. That is, in an ideal form, axial movement of blast furnace melting is practically impossible.

Keywords

Blast furnace, air tuyere, furnace, coke vent, temperature, blowing mode, gas flow.