

лошника. Дисертантом вказано перспективу розробки нових методів оперативного визначення параметрів пластичної зони із застосуванням різних засобів контролю розподілу шихти та газового потоку на доменних печах. Показано, що до теперішнього часу відсутні результати досліджень кількісної оцінки зв'язків параметрів пластичної зони з показниками плавки, тому особливу актуальність набувають розробки способів коригування режимів завантаження шихти на основі інформації про параметри пластичної зони, отриманій за допомогою математичних моделей та розрахункових методів. На основі проведеного огляду, автор обґрунтував напрям та сформулював завдання своїх досліджень.

Другий розділ присвячено розробці нового методу визначення положення і форми пластичної зони у доменній печі, заснованого на показниках розподілу температур газового потоку по радіусу колошника, які можуть бути отримані від термозондів, встановлених над поверхнею засипу шихти. Запропонований автором оригінальний метод заснований на синтезі ряду математичних моделей, які охоплюють процеси розподілу компонентів шихти по радіусу печі, їх фізико-хімічні високотемпературні перетворення та утворення поверхні плавлення під впливом тепла у нижній зоні доменної печі. Автором використані математичні моделі, розроблені в Інституті чорної металургії, а також удосконалена математична модель визначення площі поверхні плавлення, запропонована Г.В. Гуденау. Для цього дисертантом запропоновано розвинути її розрахунком тепла, яке утворюється у нижній зоні печі.

В третьому розділі автором, з використанням запропонованого нового методу, виконані розрахункові дослідження з визначення параметрів пластичної зони у доменній печі. За допомогою оригінального показника ефективності плавки обґрунтовано вибір дослідницьких періодів з різними технологічними умовами ведення доменної плавки. Автором розраховані площі поверхні плавлення для цих періодів та з використанням системи автоматизованого проектування реалізовані основні положення нового методу, що дозволило візуалізувати межі пластичної зони, утвореної при роботі доменної печі у чотирьох дослідницьких періодах.

Для підтвердження достовірності отриманих результатів визначення параметрів пластичної зони у чотирьох періодах роботи печі дисертантом використано методику факторного аналізу. Її результати, а також аналіз технологічних умов, під впливом яких сформована пластична зона, показали адекватність запропонованого методу.

В четвертому розділі дисертантом запропоновано новий критерій оцінки форми та положення пластичної зони у доменній печі. На основі результатів кореляційного аналізу зв'язків параметрів, що характеризують пластичну зону, з технологічними показниками плавки, складено комплекси, які прийняті у якості аргументів критерію оцінки пластичної зони. За допомогою приведення аргументів до нормального закону розподілу та логіперетворення кожного аргументу отримано вираз для визначення запропонованого критерію.

Автором виявлені зв'язки критерію з основними технологічними параметрами процесу плавки, що дозволило підтвердити адекватність критерію та можливість його використання для оцінки форми та положення пластичної зони у доменній печі.

П'ятий розділ присвячено розробці способу обґрунтованого коригування характеристик режиму завантаження шихти, що забезпечує формування раціональних параметрів пластичної зони у доменній печі.

Автором виконано значний об'єм досліджень, в результаті яких встановлені кореляційні зв'язки параметрів пластичної зони з показниками розподілу шихтових матеріалів по радіусу колошника доменної печі (рудне навантаження та вміст компонентів шихти в зонах колошника). Дослідження також дозволило встановити, що в якості регулюючого параметру при коригуванні температурного рівня поверхонь розм'якшення та плавлення у різних кільцевих зонах доменної печі може використовуватися відношення кількості окатишів і агломерату у цих зонах. Показано, що зміна співвідношення основних залізовмісних компонентів у кільцевій зоні може бути використана для коригування геометричних параметрів зони розм'якшення – плавлення. Крім варіювання розподілу вздовж радіусу колошника основних залізорудних ма-

теріалів автором розглянуто також потрібне коригування параметрів пластичної зони у певних межах шляхом зміни розподілу добавок.

Запропонований дисертантом новий спосіб обґрунтованого коригування характеристик режиму завантаження шихти на основі інформації про параметри пластичної зони представляє новий підхід до вибору характеристик режиму завантаження багатокomпонентної шихти, оснований на формуванні раціональних параметрів пластичної зони шляхом коригування розподілу рудних навантажень та компонентів залізорудної частини шихти в об'ємі печі.

В цілому, дослідження відзначаються високим рівнем методичності та представляють ще один важливий крок в обґрунтуванні та коригуванні режимів завантаження шихти у доменну піч з метою підвищення ефективності її роботи.

У загальних висновках дисертації викладено найбільш важливі наукові та практичні результати, що були отримані в дисертаційній роботі і сприяли розв'язанню сформульованого науково-прикладного завдання.

Перелік посилань, які були використані здобувачем в аналітичному огляді завдання, достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає основні напрями розвитку досліджень у напрямку вдосконалення управління завантаженням багатокomпонентної шихти у доменну піч.

Оцінка оформлення, мови і стилю дисертації.

Матеріали дисертації викладені послідовно, а їх оформлення відповідає вимогам щодо дисертацій на присвоєння наукового ступеня доктора філософії. Мова і стиль дисертації забезпечують доступність сприйняття викладених матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертація написана та оформлена відповідно до вимог щодо дисертацій доктора філософії.

Наукові результати дисертації

Виконано наукове обґрунтування використання інформації о параметрах пластичної зони в доменній печі для вибору характеристик режиму завантаження багатокomпонентної шихти, включаючи програму розподілу порцій та параметри їх формування, які забезпечують раціональний розподіл компонентів шихти по радіусу колошника.

1. Вперше для визначення параметрів пластичної зони в доменній печі застосовано підхід, який заснований на комплексному використанні інформації про розподіл температур газового потоку над поверхнею засипу шихти (або температур поверхні засипу) та математичних моделей процесу завантаження доменної печі, температурно-відновлювальної обробки шихти з утворенням розплавів та моделі поверхні плавлення, що дозволило розробити новий метод визначення параметрів пластичної зони у доменній печі. На відміну від відомих методів запропонований враховує розподіл компонентів шихти по кільцевим зонам колошника, відмінності складу сумішей компонентів у різних зонах колошника та обумовлену цим різницю температурних умов агрегатних перетворень по перерізу печі. Адекватність запропонованого методу підтверджена виконаними аналітичними дослідженнями, в результаті яких встановлені (виявлені) зв'язки параметрів пластичної зони, розрахованих на основі запропонованого методу, з основними технологічними параметрами процесу плавки.

2. Вперше встановлені зв'язки рудного навантаження в кільцевих зонах колошника доменної печі з координатами положення точок лінії плавлення у цих зонах та показано, що залежність цих параметрів може бути представлена степеневою функцією. Встановлено, що зміна рудного навантаження на одну й ту ж величину у різних зонах доменної печі може обумовлювати зміщення лінії плавлення, яке відрізняється у 3 – 5 рази: для заданої зміни вертикальної координати лінії плавлення в осьовій та приосьовій зонах потрібна, як правило, значно менша зміна рудного навантаження, ніж у проміжній та периферійній зонах.

3. Вперше встановлені особливості зміни координат лінії плавлення при зміні рудного навантаження в різних кільцевих зонах колошника при роботі доменної печі з використанням пиловугільного палива – зміна координати лінії плавлення на одиницю зміни рудного навантаження в осьовій та приосьовій зонах в 1,7, а у проміжній та периферійній зонах – в 2,2 рази менше, ніж при роботі доменної печі без використання пиловугільного палива.

4. Вперше встановлені зв'язки величини вмісту залізовмісних компонентів шихти в кільцевих зонах печі з параметрами пластичної зони. Показано, що величина температурного інтервалу пластичної зони у будь якій кільцевій зоні печі прямо пропорційна співвідношенню кількості окатишів та агломерату у даній кільцевій зоні. Встановлено, що зміна співвідношення кількості окатишів та агломерату у кільцевій зоні печі на 0,1 обумовлює в ній зміну температурного інтервалу пластичної зони на 5 – 7 °С.

5. Для підвищення ефективності плавки запропоновано та обґрунтовано новий підхід до вибору характеристик режиму завантаження багатоконпонентної шихти, оснований на формуванні раціональних параметрів пластичної зони шляхом коригування розподілу рудних навантажень та компонентів залізорудної частини шихти в об'ємі печі.

Практичні результати дисертації

Практичне значення мають розроблені новий метод визначення параметрів пластичної зони у доменній печі та спосіб обґрунтованого коригування характеристик режиму завантаження шихти, який забезпечує формування раціональних параметрів пластичної зони в доменній печі. Ці розробки можуть бути використані у технологічній практиці для вибору характеристик режиму завантаження багатоконпонентної шихти, включаючи програму розподілу порцій та параметри їх формування, які забезпечують раціональний розподіл компонентів шихти по радіусу колошника для підвищення ефективності доменної плавки.

Для коригування та досягнення раціональних геометричних параметрів зони розм'якшення – плавлення без коригування розподілу рудного навантаження запропоноване використання зміни співвідношення основних залізовмісних компонентів – агломерату та окатишів у кільцевих зонах колошника.

Для доменних печей з різними структурами систем завантаження отримані формули для визначення уставки розташування дози компонента в об'ємі порції при заданих вмісті компонента у кільцевій зоні та вмісті його у шихті. Визначена уставка може використовуватися у якості управляючого

параметру для регулювання розподілу конкретного компонента змішаної залізорудної порції та направленою формування складу сумішей шихтових матеріалів у різних зонах колошника.

Практичне значення для коригування положення лінії плавлення має встановлена різниця її зміщення у різних зонах доменної печі, яке при зміні рудного навантаження на одну й ту ж величину, може відрізнятись у 3 – 5 рази: для заданої зміни вертикальної координати лінії плавлення в осьовій та приосьовій зонах потрібна, як правило, значно менша зміна рудного навантаження, ніж у проміжній та периферійній зонах, що повинно враховуватись технологом при зміні параметрів режиму завантаження.

Для застосування запропонованого способу визначення та коригування параметрів пластичної зони у сучасних технологічних умовах встановлені особливості зміни координат лінії плавлення при роботі доменної печі з використанням пиловугільного палива - зміна координати лінії плавлення на одиницю зміни рудного навантаження в осьовій та приосьовій зонах в 1,7, а у проміжній та периферійній зонах – в 2,2 рази менше, ніж при роботі доменної печі без пиловугільного палива.

Розроблені методи є складовими інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень по управлінню доменною плавкою та експертної системи вибору оптимального складу шихти, які розроблені в ІЧМ НАНУ.

Розроблені методи можуть бути реалізовані у складі АСУ ТП доменних печей, оснащених системами контролю температури газового потоку та поверхні засипу шихти на колошнику.

Подана заявка до Українського національного офісу інтелектуальної власності та інновацій на державну реєстрацію винаходу «Спосіб визначення параметрів пластичної зони у доменній печі» (заявка U 2026 00325 від 20.01.26 р.).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в рамках виконання науково-дослідницьких робіт та впроваджені в навчальний процес

Українського державного університету науки і технологій при підготовці магістрів за спеціальністю 136-Металургія.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації опубліковано в 12 наукових працях: з них 2 статті в журналах, включених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та WoS; 5 статей у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України; 5 тез доповідей науково-практичних конференцій.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У роботі не зроблено досить впевненого висновку про можливість використання запропонованих методів та не визначені особливості їх застосування на доменних печах з конусними завантажувальними пристроями.

2. У роботі запропоновано метод визначення параметрів пластичної зони на основі температур газового потоку над поверхнею засипу шихти. Доцільно було б більш детально розглянути питання точності такого підходу та впливу можливих похибок вимірювань температури на результати розрахунків.

3. При розробці критерію оцінки форми та положення пластичної зони бажано було б навести більш детальний аналіз його чутливості до змін основних технологічних параметрів доменної плавки.

4. У п'ятому розділі розглянуто коригування параметрів режиму завантаження шихти. Разом з тим доцільно було б більш детально описати алгоритм практичного використання запропонованого підходу у складі автоматизованих систем управління доменною піччю.

Однак, зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Дисертаційна робота Щербачова В.Р. «Вдосконалення управління завантаженням доменної печі багатокomпонентною шихтою на основі інформації

про параметри пластичної зони» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 136 - «Металургія».

Загальний висновок та оцінка роботи

Дисертаційна робота **Щербачова В.Р.** «Вдосконалення управління завантаженням доменної печі багатокomпонентною шихтою на основі інформації про параметри пластичної зони» є завершеним науково – прикладним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та відповідає вимогам, передбаченим «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р.), положенням Вимог до оформлення дисертації (затверджених наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р.), а здобувач **Щербачов Вадим Родіонович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю **136 – «Металургія».**

Офіційний опонент:

завідувач кафедри металургійних технологій,
д.т.н, професор Державного університету
економіки та технологій



Дар'я КАССИМ

Підпис Кассім Д.О. засвідчую.

