

136 МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.162.2

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.13

© Каріков С.А.¹, Семакова В.Б.², Харченко І.І.³, Семаков В.В.⁴,
Рудь А.Г.⁵**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ
З НЕРІВНОМІРНИМ РОЗПОДІЛОМ КОКСУ ПО СКІПАХ**

Мета статті – аналітично дослідити розподіл рудних навантажень на кокс по радіусу колошника доменної печі, обладнаної конусним завантажувальним пристроєм, при завантаженні системами з нерівномірним розподілом коксу по скіпах. Проведено математичне моделювання розташування шарів агломерату і коксу прямих подач і подач «коксом вперед» за умов завантаження шихти на горизонтальну поверхню та укладання гребеню матеріалів біля стін колошника зі зміною маси коксу в скіпах. При варіюванні ступеня наповнення скіпів коксу подачі КААК↓ від 35 до 80% інтервал зміщення рудного гребеня перевищував 10% радіуса колошника, а змінювання відносного рудного навантаження у стін сягало більш 20%. Розглянуто перерозподіл рудних навантажень радіусом колошника при завантаженні шихти циклами з прямих подач і подач «коксом вперед» при варіюванні маси коксу в скіпах подачі КААК↓. Максимальна протяжність рудного матеріалу радіусом колошника при завантаженні шихти циклами з однаковим ступенем наповнення скіпів коксу подачі «коксом вперед» не змінюється. Збільшенню інтервалу варіювання ступеня наповнення скіпів коксу сприяє підвищення рудного навантаження в подачі, зменшення рудної колоши. Вдосконалений імпульсний режим завантаження печі циклом з прямих подач і подач «коксом вперед» сприяє створенню газопроникної осьової віддушини і покращенню використання відновного потенціалу газу. Розглянуто можливість регулювання радіального розподілу рудних навантажень методом нерівномірного наповнення скіпів коксу щодо систем завантаження з формуванням високих коксових і рудних шарів.

Ключові слова: доменна піч, конусний завантажувальний пристрій, агломерат, кокс, ступінь наповнення скіпа, радіальний розподіл рудних навантажень.

S.A. Karikov, V.B. Semakova, I.I. Kharchenko, V.V. Semakov, A.G. Rude. Investigation of the system of blast furnace charging with uneven coke distribution in skips. The objective of the article is to perform an analytical investigation of ore loads distribution upon coke along the radius of the furnace top, equipped with a bell-type charging device at charging by the systems with uneven coke distribution in skips. Mathematical simulation of the arrangement of sintered ore and coke layers at direct charging and charging with «coke ahead» when the charge was placed on the horizontal surface and the ridge of the materials was placed near the top walls and coke mass in the skips was varied. It was found that at varying the degree of filling of coke supply skips (CSSC↓) from 35 to 80% the interval of ore ridge displacement exceeded 10% of the top radius, while the value of relative ore load at the walls exceeded 20%. Redistribution of ore loads along the radius

¹ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, semakova-v@ukr.net

³ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁴ канд. техн. наук, ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, semakov_v@ukr.net

⁵ ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

of the top at charging with cycles consisting of direct supplies and supplies of «coke ahead» type at varying coke mass in supply skips CSSC↓ were analyzed. The maximum length of the ore material along the radius of the furnace top at charging in cycles with equal degree of coke skips filling at «coke ahead» charging is not altered. An increase in ore load in the charge and reduction in ore stock promoted the growth of the interval of varying the degree of coke skips filling. A modified impulse mode of the furnace charging, consisting of the cycle direct supplies and supplies of «coke ahead» type promotes creation of gas-permeability axial funnel and improves utilization of reducing potential gas. Also analyzed was an opportunity of regulating the radial distribution of ore loads by application of the method of uneven coke skips filling for the charging systems with formation of high coke and ore layers.

Key words: blast furnace, bell-type charging equipment, sintered iron ore, coke, degree of coke skips filling, radial distribution of ore loads.

Постановка проблеми. Основною функцією завантажувальних пристроїв (ЗП), поряд з герметизацією робочого простору, є формування в робочому просторі доменних печей (ДП) газопроникного стовпа шихтових матеріалів раціональної структури, що забезпечує досягнення високих техніко-економічних показників доменної плавки. Структура стовпа шихти визначається, в першу чергу, порядком завантаження рудних і коксових скіпів [1, 2]. На доменних печах, обладнаних конусними ЗП, перерозподіл шихти і газів по радіусу колошника також здійснюють шляхом зміни величини маси подачі, рівня засипу матеріалів, вплив яких достатньо вивчено за певних умов плавки [1-4]. Однак інтенсифікація процесу виплавки чавуну, що привела до суттєвого скорочення питомої витрати коксу, потребує додаткових досліджень і розробки методів щодо більш гнучкого регулювання розподілу шихти і газів по радіусу колошника [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Раціональний радіальний розподіл шихти і газів має сприяти більшому контакту відновних газів і рудних матеріалів, не перешкоджаючи плавному сходженню шихти у доменній печі. При рудних навантаженнях (РН) на кокс від 3 до 4 кг/кг об'ємна частка коксу в доменній шихті близька 50% [6]. За цих умов використання періодичних режимів завантаження (циклічного, імпульсного, зі змінним рудним навантаженням на кокс) забезпечує підвищення ступеня використання відновного потенціалу газового потоку.

Циклічне завантаження доменної печі, що здійснено періодичною зміною об'єму подачі (дві або чотири подачі меншого і одна подача більшого об'єму в циклі), сприяло більш рівномірному розподілу шихти і газів радіусом колошника зі зростанням площі їх зіткнення, внаслідок чого було досягнуто значне зниження витрати коксу на 4,4% і підвищення продуктивності печі на 15,1% в умовах роботи з низьким рудним навантаженням ~2 кг/кг [7].

Імпульсний режим передбачає періодичне завантаження холостих подач – збільшених подач коксу («імпульсів») [1, 6]. Режими завантаження зі змінною масою колош коксу або залізородних матеріалів у циклі подач реалізовано на доменних печах, обладнаних конвеєрною подачею шихти на колошник, яка дозволяє варіювати параметрами завантаження в широких межах без підвищення інтенсивності роботи обладнання системи шихтоподачі [6]. Випробування періодичних режимів завантаження шихти сприяло підвищенню ступеня використання відновної енергії газового потоку в доменних печах та зниженню витрати коксу на виплавку 1 т чавуну в рівних умовах на 1,2-2,8% без скорочення продуктивності плавки [6, 8].

Режими роботи зі змінними параметрами завантаження мають певні обмеження у застосуванні на доменних печах зі скіповою подачею шихти на колошник та потребують додаткових досліджень в умовах роботи з підвищеним рудним навантаженням на кокс.

Мета статті – аналітично дослідити розподіл рудних навантажень на кокс по радіусу колошника доменної печі, обладнаної конусним завантажувальним пристроєм, при завантаженні системами з нерівномірним розподілом коксу по скіпах.

Виклад основного матеріалу. На доменних печах, обладнаних конусними завантажувальними пристроями, як найбільш економічну систему використовують завантаження прямими подачами ААКК↓ або ААККК↓ (А – скіп агломерату; К – скіп коксу; ↓ – опускання конусу), коли на поверхню засипу першим укладається рудний матеріал, при рівномірному розподілі маси коксу по скіпах [9]. Використання п'ятискіпових подач як основних у системах заванта-

ження було доцільно в умовах роботи доменних печей з низьким рудним навантаженням, коли об'єм коксової колоші перевищував об'єм рудної колоші [1, 7].

З діаграми (рис. 1) видно, що за обраних умов (насіпна маса коксу 500 кг/м³, залізної руди 2500 кг/м³, окатишів 2000 кг/м³, агломерату 1500 кг/м³) при рудному навантаженні на кокс 2 кг/кг об'єм коксу в подачі перевищує об'єм рудних матеріалів. Об'єм агломерату дорівнює об'єму коксу при РН = 3 кг/кг, а при використанні окатишів об'єми рудного матеріалу і коксу вирівнюються при РН = 4 кг/кг. При подальшому зростанні рудного навантаження на кокс об'єми рудних матеріалів перевищують об'єм коксу.

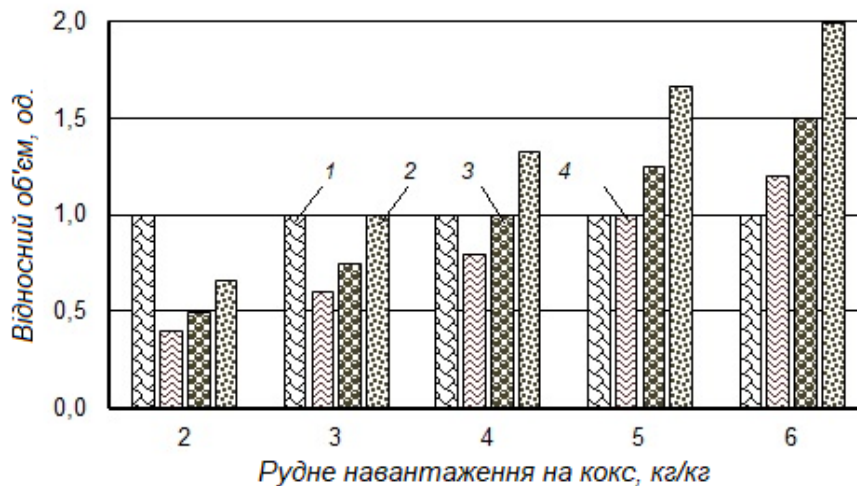


Рис. 1 – Співвідношення об'ємів шихтових матеріалів: 1 – кокс; 2 – агломерат; 3 – окатиші; 4 – руда

При завантаженні прямих подач біля стін печі зосереджується більше рудних матеріалів, тобто довантажується периферійна зона, сприяючи створенню осьового газового потоку. Ступінь використання відновної та теплової енергій газового потоку підвищується, що забезпечує економію коксу при виплавці чавуну.

Однак постійне довантаження периферійної зони рудним матеріалом, особливо при зниженні показників його міцності, утруднює плавне сходження шихти в печі, тому найчастіше сумісно з прямими подачами використовують подачі «коксом вперед» КААК↓ або КААКК↓.

При завантаженні печі циклами подач: n РРКК↓ m КРРК↓, де Р – скіп рудного матеріалу; n і m – кількість прямих подач і подач «коксом вперед» у циклі, відповідно, яку зазвичай визначають на практиці. Найчастіше застосовують цикли з п'ятьох подач при $n = 4$ або $n = 3$.

На основі спрощеної математичної моделі проаналізовано розташування шарів агломерату і коксу прямої подачі ААКК↓ і подач «коксом вперед» КААК↓ та КААКК↓ (рис. 2) на пологій поверхні засипу, яка створюється перед завантаженням чергової подачі, без врахування потоку шихти до вісі доменної печі [10-12].

Обрані умови моделювання (радіус колошника ДП $r_k = 3,45$ м, об'єм скіпа 10 м³, РН = 4,6 кг/кг, кути природного укусу коксу 27°, агломерату 32°) передбачають створення максимального рудного навантаження біля стін печі при завантаженні прямої подачі.

Об'єми чотирискіпових подач ААКК↓ і КААК↓ однакові та дорівнюють 27,5 м³ (об'єм агломерату в скіпі 8 м³, що відповідає максимальному ступеню наповнення скіпа 80 %; об'єм коксу в скіпі – 5,75 м³). При рівномірному розподілі маси коксу по скіпах середній ступінь заповнення коксового скіпа дорівнює $k_c = 57,5$ %. На рисунку 2 поверхню матеріалів чотирискіпової подачі, створену шаром коксу, зображено лінією 1. Лінією 2 позначено поверхню шару агломерату, завантаженого двома скіпами, що утворився при завантаженні прямої подачі.

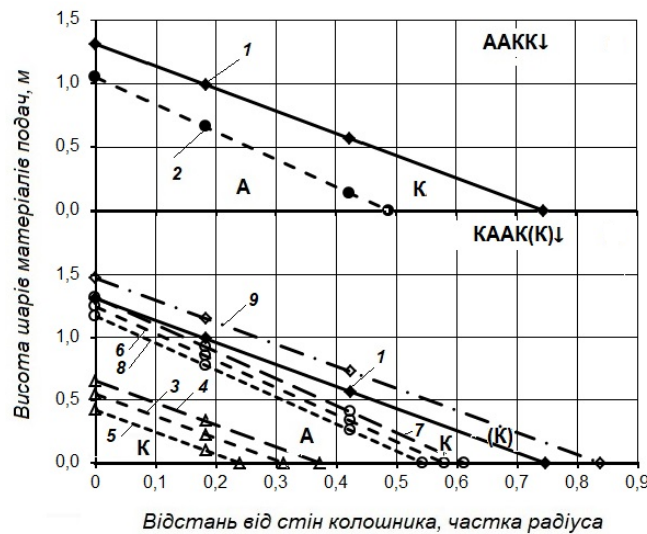


Рис. 2 – Розташування шарів агломерату і коксу по радіусу колошника при завантаженні прямої подачі та подачі «коксом вперед» з проєкціями поверхні: 1 – шихти чотирискіпових подач ААКК↓ і КААК↓; 2 – шару агломерату прямої подачі; 3-5 – шару першого скіпа коксу подачі «коксом вперед» при k_1 , що дорівнює 57,5%, 80% і 35%, відповідно; 6-8 – теж шару двох скіпів агломерату; 9 – шихти п'ятискіпової подачі КААКК↓

Зіставленням розрахованих висот шарів агломерату і коксу (рис. 2) змодельовано розподіл по радіусу колошника рудних навантажень на кокс для системи завантаження ААКК↓ (рис. 3, лінія 1). Максимальне відносне рудне навантаження спостерігається у стін колошника, потім РН знижується до центру печі, що відповідає загальноприйнятим уявленням про радіальний розподіл шихти при неглибокій воронці поверхні засипу [1, 9].

Для подачі «коксом вперед» КААК↓ лінією 3 (рис. 2) позначено поверхню шару коксу, завантаженого першим скіпом коксу зі середнім ступенем наповнення $k_1 = 57,5 \%$, а лінією 6 – поверхню шару агломерату, завантаженого двома скіпами. Лінії 1 і 6 (рис. 2) обмежують шар коксу останнього скіпа подачі, наповненого традиційно зі середнім ступенем наповнення скіпа. Порівняно із завантаженням прямої подачі у разі завантаження чотирискіпової подачі «коксом вперед» до вісі печі надходить менша кількість коксу, протяжність рудного матеріалу радіусом зростає на $0,09 r_k$ до $0,58 r_k$ (рис. 2, лінія 6). В результаті рудний гребінь зміщується у проміжну зону на відстань $0,31 r_k$ від стін, а РН у стін печі знижується на 2,01 од. (рис. 3, лінія 2).

Радіальний розподіл рудних навантажень (РРН) для циклу подач 4ААКК↓ КААК↓ зі середнім ступенем наповнення коксових скіпів зображено лінією 6 (рис. 3), а для циклу подач 3ААКК↓ 2КААК↓ – лінією 9. Зменшення кількості прямих подач у циклі привело до зниження рудного навантаження у стін печі від 2,1 до 1,6 од. з перерозподілом рудних матеріалів до центру печі. В даному випадку РРН визначається співвідношенням прямих подач і подач «коксом вперед» у циклі, а РН у стін печі змінюється дискретно з кроком 0,5 од.

Для більш гнучкого регулювання розподілу шихтових матеріалів по радіусу колошника і варіювання величиною рудного навантаження у стін печі більш поступово (з меншим кроком) необхідно завантажувати коксові скіпи подачі «коксом вперед» з різним ступенем наповнення, тобто з різною масою. При завантаженні першого коксового скіпа подачі КААК↓ зі ступенем наповнення $k_1 > k_c$, більшим за середній (рис. 2, лінія 4), і, відповідно, – останнього скіпа зі ступенем $k_2 = 2 k_c - k_1$, максимальне РН, яке при рівномірному розподілі коксу по скіпах спостерігається на відстані від стін $0,31 r_k$ (рис. 3, лінія 2), переміщується до вісі на $0,06 r_k$ (лінія 4) при $k_1 = 80 \%$ і $k_2 = 35 \%$. В цьому випадку РН у стін печі знижується з 0,81 до 0,73 од., а протяжність рудного матеріалу радіусом зростає до $0,61 r_k$ (рис. 2, лінія 7).

При завантаженні першого коксового скіпа подачі КААК↓ зі ступенем наповнення, меншим за середній $k_1 < k_c$ (рис. 2, лінія 5), максимальне РН переміщується до стін на $0,07 r_k$

(рис. 3, лінія 3) при $k_1 = 35\%$ і $k_2 = 80\%$. При цьому РН у стін печі підвищується з 0,81 до 0,96 од., а протяжність рудного матеріалу радіусом зменшується до 0,54 r_k (рис. 2, лінія 8).

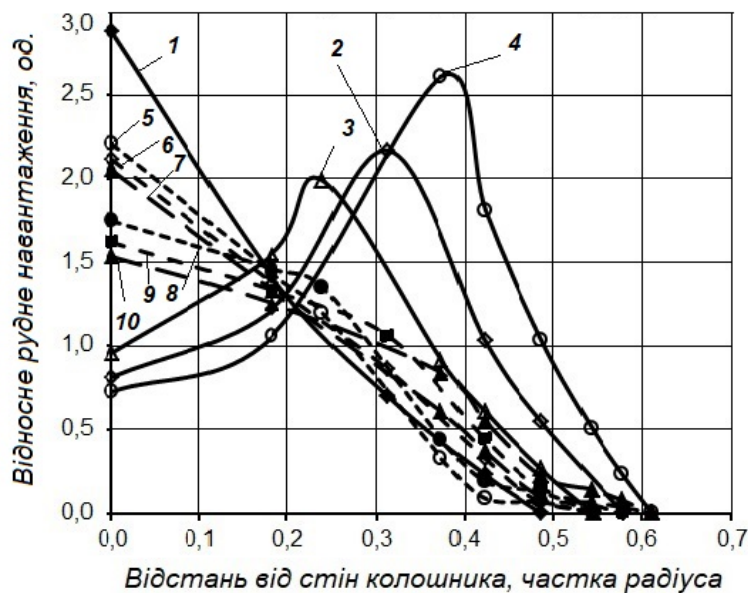


Рис. 3 – Радіальний розподіл рудних навантажень на кокс при завантаженні подач: 1 – ААКК↓; 2-4 – КААК↓ при $k_1 = 57,5\%$, 35% , 80% , відповідно; 5-7 – 4ААКК↓ КААК↓ при k_1 , що дорівнює 35% , $57,5\%$, 80% , відповідно; 8-10 – теж, 3ААКК↓ 2КААК↓

Аналогічні якісні зміни у РРН відбуваються при завантаженні шихти циклами з прямих подач і подач «коксом вперед». При завантаженні за циклом 4ААКК↓ КААК↓ з нерівномірним розподілом коксу по скіпах подачі КААК↓ при $k_1 = 80\%$ і $k_2 = 35\%$ рудне навантаження на кокс у стін печі знизилася до 2,05 од. (рис. 3, лінія 7), а при $k_1 = 35\%$ і $k_2 = 80\%$ – підвищилася до 2,21 од. (рис. 3, лінія 5) порівняно із системою завантаження з рівномірним розподілом коксу по скіпах ($RH = 2,11$ кг/кг).

Більш широкий інтервал варіювання РН у стін печі досягається в умовах завантаження за циклом 3ААКК↓ 2КААК↓ з нерівномірним розподілом коксу по скіпах подачі КААК↓. При $k_1 = 80\%$ і $k_2 = 35\%$ рудне навантаження на кокс у стін печі знизилася до 1,53 од. (рис. 3, лінія 10), а при $k_1 = 35\%$ і $k_2 = 80\%$ – підвищилася до 1,75 од. (рис. 3, лінія 8) порівняно з системою завантаження з рівномірним розподілом коксу по скіпах ($RH = 1,62$ кг/кг).

Інтервал варіювання РН у стін печі, перш за все, визначається можливими межами зміни ступеня наповнення коксових скіпів подачі «коксом вперед», який за обраних умов моделювання дорівнює $\Delta k = k_{max} - k_{min} = 45\%$, де k_{max} – максимально можливий ступінь наповнення скіпа, %; k_{min} – мінімально можливий ступінь наповнення скіпа $k_{min} = 2 k_c - k_{max}$ (відхилення за масою коксу в скіпі Δm_k відносно середньої m_k , яка відповідає рівномірному наповненню коксових скіпів, становить $\Delta m_k \pm 39,2\%$). Збільшенню Δk сприяє підвищення рудного навантаження в подачі, зменшення рудної колоші. Так, в розглянутому випадку при $RH = 5$ кг/кг максимальний інтервал зміни ступеня наповнення скіпа коксу сягне $\Delta k = 80 - 27 = 53\%$ ($\Delta m_k \pm 50,0\%$), а за умови додаткового зменшення рудної колоші (на 8,3% відн.) – $\Delta k = 80 - 18 = 62\%$ ($\Delta m_k \pm 63,6\%$).

При завантаженні доменної печі подачами «коксом вперед» з нерівномірним розподілом коксу по скіпах ($\Delta m_k \pm 8,0\%$ при коксовій колоші 5 т) «в колошниковому газі підвищився вміст CO_2 на 1% і дещо знизилася питома витрата коксу» [1]. За більш широкого інтервалу зміни маси коксу по скіпах за рахунок раціоналізації РРН на колошнику здійснюється повніше використання відновної енергії газового потоку.

В умовах завантаження ДП циклами n РРКК↓, m КРРК↓ у стовпі шихтових матеріалів формується «позитивний імпульс» – шар коксу з послідовно завантажених трьох скіпів, який

супроводжується виникненням «негативного імпульсу» – шару коксу, завантаженого одним скіпом, що в умовах роботи з підвищеним РН погіршує газопроникність стовпа шихти загалом. Уникнути цього явища можливо за рахунок доповнення вищевказаного циклу п'ятискіповою подачею КРРКК↓. Вдосконалений у такий спосіб цикл завантаження реалізує імпульсний режим з періодичним створенням «імпульсу» з трьох скіпів коксу. При постійному співвідношенні n/m періодичність виникнення «імпульсу» запропоновано регулювати частковою заміною чотирискіпової прямої подачі на трискіпову з підвищеним рудним навантаженням.

Проекція поверхні п'ятискіпової подачі КРРКК↓ позначена лінією 9 на рис. 2, з якого видно, що додатковий скіп коксу (К) сприяє збільшенню маси коксу біля вісі печі, тобто забезпечує створення осьової газопроникної «віддушини». Вдосконалений імпульсний режим завантаження доменної печі сприяє підвищенню ступеня використання газу по СО більш ніж на 1% і зниженню витрати коксу на виплавку 1 т чавуну більш ніж на 0,5%.

Регулювання радіального розподілу шихти і газів по радіусу колошника методом нерівномірного розподілу коксу по скіпах може бути здійснено також при завантаженні печі за циклом К2А↓ 2А3К↓, що забезпечує формування в стовпі шихтових матеріалів високих шарів з чотирьох послідовно завантажених коксових або рудних скіпів. Результати моделювання висот шарів матеріалів подач циклу і РРРН за обраних умов ($r_k = 3,65$ м, об'єм скіпа 12 м^3 , РН = 4,6 кг / кг) показано на рис. 4 і 5.

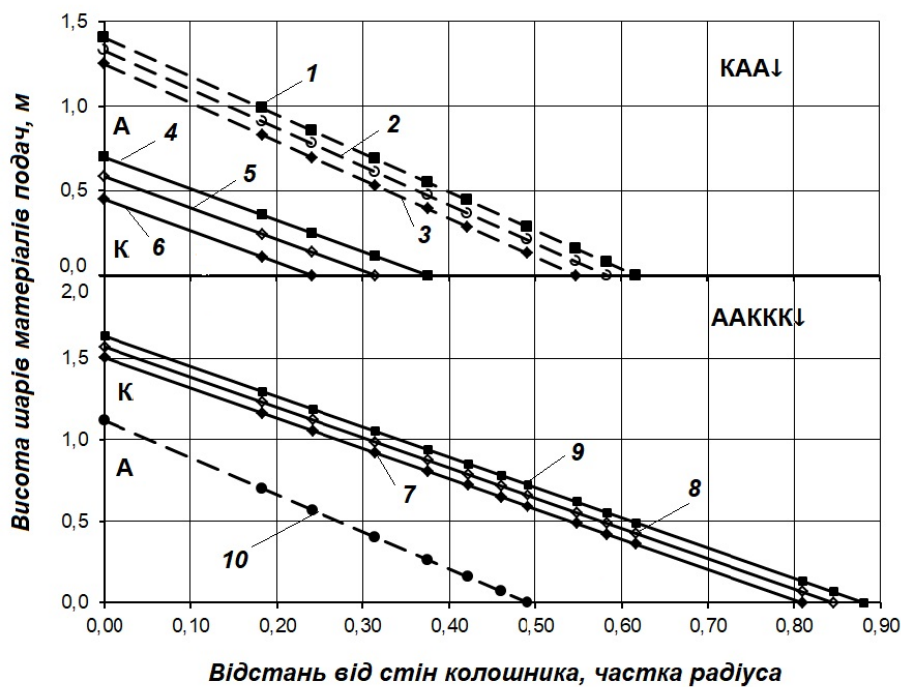


Рис. 4 – Розташування шарів агломерату і коксу по радіусу колошника при завантаженні циклу подач К 2А↓ і 2А 3К↓ з проєкціями поверхні: 1-3 – агломерату подачі КАА↓ при k_1 , що дорівнює 80%, 57,5% і 35%, відповідно; 4-6 – теж, коксу; 7-9 – коксу подачі ААККК↓ при k_2 , що дорівнює 35%, 57,5% і 80%, відповідно; 10 – шару двох скіпів агломерату подачі ААККК↓

При зменшеному ступені наповнення першого скіпа циклу $k_1 = 35\%$ (рис. 4, лінія 6) і відповідно збільшеному ступені наповнення останнього скіпа – $k_2 = 80\%$ (рис. 4, лінія 9) відносно рудне навантаження у стін колошника підвищується до 1,42 од. (рис. 5, лінія 1) порівняно з 1,29 од., яке спостерігалось при рівномірному наповненні коксових скіпів (рис. 5, лінія 2).

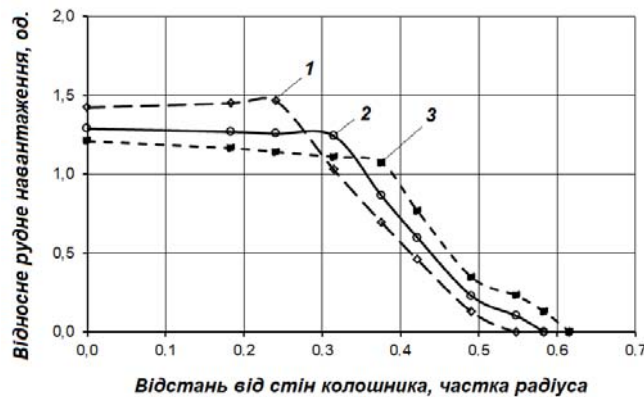


Рис. 5 – Радіальний розподіл рудних навантажень на кокс при завантаженні циклу подач К 2А↓ 2А 3К↓ з різним розподілом коксу по скіпах: 1 – $k_1 = 35\%$, $k_2 = 80\%$; 2 – $k_1 = k_2 = k_c = 57,5\%$; 3 – $k_1 = 80\%$, $k_2 = 35\%$

При $k_1 > k_c > k_2$ (рис. 5, лінія 3) відносне РН у стін колошника знижується до 1,21 од. (рис. 5, лінія 3). За умов завантаження за циклом К 2А↓ 2А3К↓ інтервалу варіювання $\Delta k = 45\%$ відповідає змінювання відносного рудного навантаження у стін 0,21 од. і протяжності рудного матеріалу 0,07 r_k , що зіставно з межами регулювання РРН при завантаженні за циклом 3ААКК↓ 2КААК↓.

Таким чином, для системи завантаження печі за циклом К 2А↓ 2А3К↓ регулювання РРН методом нерівномірного розподілу коксу по скіпах є ефективним.

Висновки

1. За результатами моделювання виявлено, що за обраних умов максимальне значення рудного навантаження на кокс RH_{max} зміщується від стін печі при переході від завантаження прямими подачами на подачі «коксом вперед» на 0,31 r_k від стін, а відносне рудне навантаження на кокс у стін печі $RH_{пер}$ знижується на 2 од. При варіюванні ступеня наповнення скіпів коксу подачі КААК↓ від 35 до 80% положення RH_{max} змінюється від 0,24 r_k до 0,37 r_k , а $RH_{пер}$ знижується від 0,96 од. до 0,73 од.

2. При завантаженні шихти циклами з прямих подач і подач «коксом вперед» спостерігається аналогічний якісний перерозподіл рудних навантажень радіусом колошника при варіюванні маси коксу в скіпах подачі КААК↓. Більш широкий інтервал змінювання $\Delta RH_{пер} = 0,22$ од. спостерігається при завантаженні за циклом 3ААКК↓ 2КААК↓ порівняно із циклом 4ААКК↓ КААК↓, при якому $\Delta RH_{пер} = 0,16$ од. Максимальна протяжність рудного матеріалу радіусом колошника є постійною при завантаженні шихти циклами з однаковим ступенем наповнення скіпів коксу подачі КААК↓. Можливий інтервал змінювання $\Delta RH_{пер}$ при завантаженні за циклом К2А↓ 2А3К↓ зіставний до $\Delta RH_{пер}$, яким характеризується режим завантаження за циклом 3ААКК↓ 2КААК↓ при нерівномірному розподілі коксу по скіпах.

3. Застосування методу нерівномірного розподілу коксу по скіпах забезпечує гнучкий перерозподіл рудних навантажень на кокс по радіусу колошника в межах певної системи завантаження. Інтервал варіювання ступеня наповнення коксових скіпів подачі «коксом вперед» Δk визначається масою коксової колоші, яка пов'язана з масою рудної колоші через величину рудного навантаження. Збільшенню Δk сприяє підвищення рудного навантаження на кокс в подачі, зменшення маси рудної колоші.

4. Вдосконалений імпульсний режим завантаження печі циклом з прямих подач і подач «коксом вперед» сприяє створенню газопроникної осьової віддушини, покращенню використання відновного потенціалу газу і техніко-економічних показників доменної плавки.

Перелік використаних джерел:

1. Тарасов В.П. Загрузочные устройства шахтных печей / В.П. Тарасов. – М. : Metallurgiya, 1974. – 312 с.
2. Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи / Б.Н. Жеребин. – М. : Metallurgiya, 1980. –

248 с.

3. Работа доменных печей на увеличенной массе подачи / В.П. Лялюк [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 1. – С. 5-9.
4. Кассим Д.А. Анализ влияния массы железорудной подачи на технико-экономические показатели доменной плавки / Д.А. Кассим // *Вісник Криворізького національного університету*. – 2014. – Вип. 36. – С. 137-140.
5. Товаровский И.Г. Познание процессов и развитие технологии доменной плавки : монография / И.Г. Товаровский. – Днепропетровск : Журфонд, 2015. – 912 с.
6. Работа доменных печей с периодически изменяемой рудной нагрузкой / И.Ф. Курунов [и др.] // *Металлург*. – 1978. – № 3. – С. 12-15.
7. Тарасов В.П. Новое в загрузке доменных печей / В.П. Тарасов, Ф.П. Тарасов // *Металлург*. – 1963. – № 2. – С. 3-5.
8. Исследование способов загрузки доменных печей / С.А. Воденников [и др.] // *Металургія : Збірник наукових праць ЗДІА*. – Запоріжжя, 2010. – Вип. 22. – С. 20-25.
9. Тарасов В. П. Теория и технология доменной плавки / В.П. Тарасов, П.В. Тарасов. – М. : Интернет Инжиниринг, 2007. – 384 с.
10. Study of mass transfer during loss in stability of interfacial grained layers / V.P. Tarasov, V.B. Semakova, A.A. Tomash, V.A. Mayanov, Tarasov P.V. // *Stal'*. – 1991. – № 9. – Рр. 11-14.
11. Пат. 148633 Україна, МПК C21B 7/20, F27B 1/20. Спосіб завантаження доменної печі / В.Б. Семакова, В.П. Руських, С.А. Каріков, Р.Ю. Кірсанов, О.О. Лушай, В.В. Семаков. – № u201903324; заявл. 02.04.2019; опубл. 25.10.2019. – Бюл. № 20.
12. Розподіл радіальних рудних навантажень при формуванні у доменній печі чотирискіпових рудних і коксових шарів [Електронний ресурс] / В. С. Волошин [та ін.] // *Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ»*. – Маріуполь, 2020. – Вип. 40. – С. 96-103. – (Серія : Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.40.2020.216186>.

References:

1. Tarasov V.P. *Zagruzochnye ustrojstva shahtnyh pechej* [Shaft furnaces charging equipments]. Moscow, Metallurgy Publ., 1974. 312 p. (Rus.)
2. Zherebin B.N. *Praktika vedenija domЕННОJ pechi* [The practice of blast furnace maintaining]. Moscow, Metallurgy Publ., 1980. 248 p. (Rus.)
3. Ljaljuk V.P., Sheremet V.A., Listopadov V.S., Kostenko G.P., Otorvin P.I., Miroshnichenko O.N., Tarakanov A.K., Kassim D.A. Rabota domennyh pechej na uvelichennoj masse podachi [Operation of blast furnaces with increased supply mass]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' – Metallurgical and Mining Industry*, 2011, no. 1, pp. 5-9. (Rus.)
4. Kassim D.A. Analiz vlijanija massy zhelezorudnoj podachi na tehniko-jekonomicheskie pokazateli domЕННОJ plavki [Analysis of the influence of the mass of iron ore supply on the technical and economic indicators of blast furnace smelting]. *Visnik Krivoriz'kogo nacional'nogo universitetu – Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 2014, vol. 36, pp. 137-140. (Rus.)
5. Tovarovskij I.G. *Poznanie processov i razvitie tehnologii domЕННОJ plavki: Monografija* [Knowledge of processes and development of blast-furnace smelting technology: Monograph]. Dnepropetrovsk, Zhurfond, 2015. 912 p. (Rus.)
6. Kurunov I.F., Ermolaev V.V., Pleshkov V.I., Isteev A.I., Dobroskok V.A. Rabota domennyh pechej s periodicheski izmenjaemoj rudnoj nagruzkoj [Operation of blast furnaces with periodically changing ore load]. *Metallurg – Metallurgist*, 1978, no. 3, pp. 12-15. (Rus.)
7. Tarasov V.P. Novoe v zagruzke domennyh pechej [New in blast furnaces charging]. *Metallurg – Metallurgist*, 1963, no. 2, pp. 3-5. (Rus.)
8. Vodennikov S.A., Krutas N.V., Gromak G.A., Gavrilko S.A., Lichkonenko N.V., Moisejko Ju.V., Caplina T.S., Gavrilko Ju.S., Pechennikova V.M. Issledovanie sposobov zagruzki domennyh pechej [Investigation of ways of blast furnaces charging]. *Metallurgija – Metallurgy*, 2010, vol. 22, pp. 20-25. (Rus.)
9. Tarasov V.P., Tarasov P.V. *Teorija i tehnologija domЕННОJ plavki* [Theory and technology of blast-furnace smelting]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2007. 384 p. (Rus.)

10. Tarasov V.P., Semakova V.B., Tomash A.A., Maianov V.A., Tarasov P.V. Issledovanie massoperenosa pri potere stabil'nosti granichashhih zernistykh sloev [Study of mass transfer during loss in stability of interfacial grained layers]. *Stal' – Steel*, 1991, no. 9, pp. 11-14. (Rus.)
11. Semakova V.B., Rus'kyh V.P., Karikov S.A., Kirsanov R.Ju., Lushhaj O.O., Semakov V.V. *Sposib zavantazhennja domennoi' pechi* [The method of loading the blast furnace]. Patent UA, no. 148633, 2019. (Ukr.)
12. Voloshyn V.S., Semakova V.B., Kharchenko I.I., Semakov V.V., Gudym L.O. Rozpodil radial'nyh rudnyh navantazhen' pry formuvanni u domennij pechi chotyryskipovyh rudnyh i kokovyh shariv [Radial ore loads distribution at the formation of four-skip ore and coke layers in a blast furnace]. *Visnik Priazov'skogo der-zhavnogo tehnicnogo universitetu. Serija: Tehnicni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2020, vol. 40, pp. 96-103. doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216186. (Ukr.)

Рецензент: С.В. Кривенко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 23.10.2021

УДК 622.341.23

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.14

© Кривенко В.В.¹, Чупринов Є.В.², Кассім Д.О.³, Коренко М.Г.⁴,
Ляхова І.А.⁵

АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАРГАНЦЕВИХ РУД І ШЛАМІВ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЇХ ОГРУДКУВАННЯ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ

Виконано порівняльний аналіз хімічного, мінералогічного складів та фізичних характеристик імпортованих та вітчизняних марганцевих руд та концентратів, а також досліджені закономірності трансформації фазового складу у процесі відновлювально-теплової обробки. Розроблено технологію переробки дрібнодисперсних марганцевих матеріалів, концентрату збагачення шламів та пилу виробництва феросплавів, що включає їх часткове доподрібнення та підсушування, змішування, гранулювання та агломерацію у високому шарі. Визначено оптимальні параметри агломерації, що дозволяють проводити процес без зниження технологічних показників при використанні в аглошихті 30-45% концентрату високоінтенсивної магнітної сепарації.

Ключові слова: марганцевий концентрат, феросплави, дисоціація, відновлення, цінність сировини.

V.V. Krivenko, E.V. Chuprinov, D.O. Kassim, M.G. Korenko, I.A. Lyakhova. Analysis of complex properties of manganese ores and sludges as well as possibilities of their pelletizing for obtaining manganese ferroalloys. The results of differential thermal anal-

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-7822-6358, vykrivenko2017@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-8605-3434, itchupa@gmail.com

³ д-р техн. наук, професор, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-1750-1237, kasik_78@ukr.net

⁴ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-4582-1756, marinak20162010@gmail.com

⁵ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-7589-8351, lyakhova1959@gmail.com