

УДК 669.213.3

Л.Н. САЙТГАРЕЄВ, А.В. ПЕТРОВ, В.В. ПЛОТНИКОВ: кандидати техн. наук,  
О.В. МАРАСАНОВА, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОКРАЩЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АГЛОМЕРАТУ ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМ ВМІСТОМ ОКАЛИНОВМІСНОЇ СУМІШІ

Експериментально обґрунтовано можливість підвищення міцності та вмісту заліза в агломераті, а також продуктивності аглопроцесу при спіканні готового агломерату та рівномірно укладеної на його поверхні суміші замавленої окалини й сухого залізистого зернистого матеріалу (вороття агломерату або окатишів, шлаковий відсів).

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Темпи утворення та накопичення замавленої прокатної окалини на металургійних підприємствах України перевищують існуючі обсяги її рециклінгу. Утилізація окалини вторинних відстійників пов'язана з труднощами, зумовленими наявністю понад 10 % масел, які при використанні окалини в аглошихті ускладнюють її усереднення та спричиняють передчасний вихід зі строю тягодуттєвого устаткування аглоцехів.

Збільшення обсягів утилізації замавленої окалини, яку відносять до матеріалів з високою металургійною цінністю (вміст заліза на 2-8 % вище, а вміст SiO<sub>2</sub> в 2,5-3,0 рази нижче, ніж у вітчизняних концентратах), дозволить заощадити природні ресурси, скоротити площі шламосховищ і зменшити ступень забруднення навколишнього середовища. Отже, дослідження з розробки нових способів утилізації замавленої прокатної окалини є актуальними.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Найбільш поширені способи використання замавленої окалини полягають у її введенні в агломераційну шихту, що забезпечує підвищення вмісту заліза в агломераті. Присутність окалини в аглошихті, по-перше, створює сприятливі умови для розвитку твердофазних перетворень й утворення легкоплавких з'єднань, що забезпечує формування основної маси агломерату через рідкий і пластичний стан при порівняно низькому тепловому рівні процесу; по-друге, підвищує міцність агломерату на удар і стирання; по-третє, сприяє зростанню продуктивності аглоустановки при одночасному зниженні витрат палива [1, 2].

При використанні непідготовленої замавленої окалини важливою проблемою є те, що маса, яка виноситься з шару, що спікається, та осідає на елементах мультициклонів й лопатках роторів екстаустерів, повинна містити до 25 % масел. Залипання елементів мультициклона за міжремонтний період роботи агломашин (1,5-2,0 місяці) досягає 50% живого їх перерізу. При цьому зростає швидкість руху газу і знижувалася ефективність його очищення в батарейних циклонах. Збільшення вмісту пилу в газі, що відходить, підсилює його абразивну дію, а нерівномірне налипання відкладень на лопатках призводить до дебалансу і виходу зі строю підшипників. Всі ці обставини разом зрештою спричиняють передчасний вихід зі строю роторів екстаустерів. Потрібно також відзначити, що процеси дозування та змішування, а отже й усереднення, шихтових компонентів з замавленою окалиною ускладнюються, оскільки вона важко дезінтегрується.

Підготовка окалини при низькотемпературному крекінгу з отриманням твердого знемасленого і зневодненого продукту, а також масла для повторного застосування у прокатному виробництві забезпечує ведення процесу без використання енергоносіїв зі сторони за рахунок утилізації хімічної та теплової енергії крекінг-газу, але вимагає створення нового обладнання, що пов'язано зі значними капітальними витратами.

Попередня підготовка замавленої окалини шляхом змішування її з вапном або вапняним пилом в деякій мірі усуває відмічені вище недоліки та підвищує продуктивність аглопроцесу і якість агломерату, але не забезпечує повного вигорання масел й високого ступеня використання окалини в аглошихті [3,4].

Технологія підготовки замавленої прокатної окалини з використанням торфу сприяє деструкції вуглеводів масел, що приводить до зниження як самих температур запалення й займання парів масел, так і інтервалу між ними [5]. У той же час, аналіз роботи агломашин, що працюють на шихті, яка включає суміш замавленої окалини з торфом, а також вивчення стану газоповітряного тракту з екстаустером свідчать про те, що заростання трактів знижується незначною мірою, 4 а відкладення пиломасленої суміші на лопатках екстаустера майже не міняється, що приводить до швидкого зносу роторів.

Отже, питання підготовки та введення замавленої окалини в аглошихту є актуальними і по-

требують подальшої доробки.

**Постановка завдання.** У використуваних на металургійних комбінатах технічних рішеннях суміші із замасленою окалиною готують і вводять до складу шихти, яка завантажується на агломашину, тобто на початку процесу спікання. Оскільки процес спікання ведеться зверху вниз і пари масла, що перегоняється, разом з повітряним потоком переміщується в нижні, холодніші, горизонти і, не встигаючи згоріти, в краплинному стані виносяться запиленним повітрям (газом) і адсорбуються на лопатках ексгаустера, то спостерігаються вказані раніше негативні наслідки.

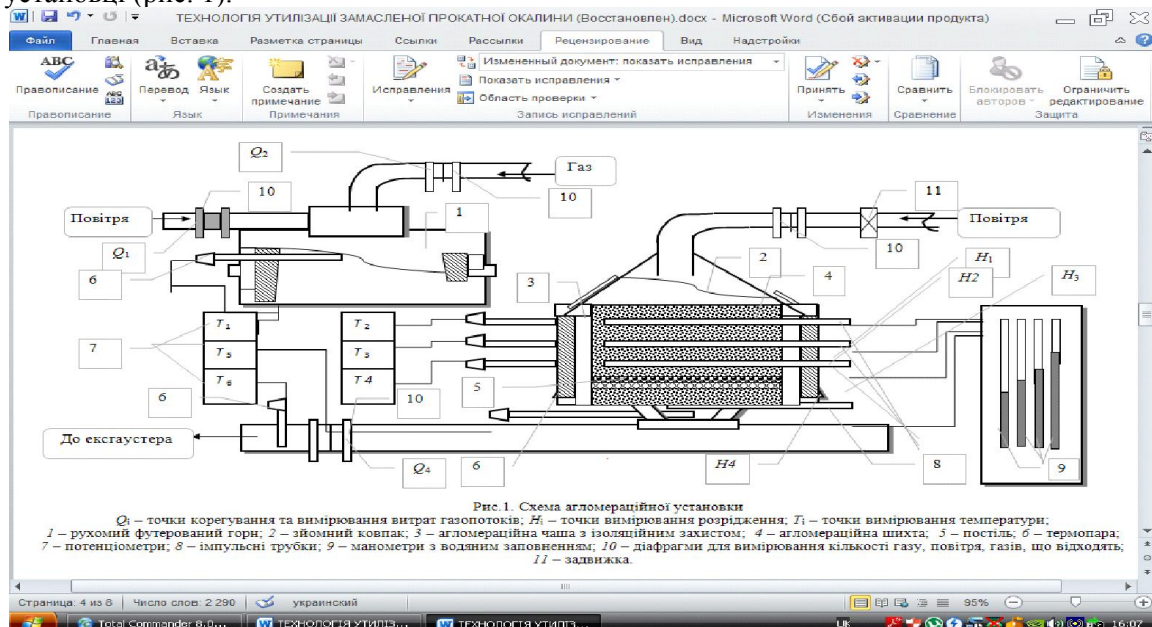
Для усунення можливості абсорбування пиломасленої суміші на лопатках ексгаустера та покращення металургійних властивостей агломерату у розроблюваних легко реалізовуваних технічних рішеннях мають бути вирішені проблеми підготовки та введення окалиновмісної суміші в аглопроцес.

**Викладення матеріалу та результати.** Основою нового технічного рішення є зміна компонентного складу суміші та місця її введення у процес спікання.

Суміш включає замаслену окалину і сухий залізовмісний зернистий матеріал, у якості якого може виступати вороття агломерату або окатишів на доменній печі, вороття агломерату на аглофабриці або шлаковий відсів. Така суміш при ретельному її перемішуванні має більшу сипкість, транспортабельність і дозуючу здатність, ніж суміш окалини з торфом. Це пояснюється тим, що при змішуванні тонкодисперсні вологі частинки окалини примусово запресовуються у зерна вороття, які мають поверхневі каверни і великі пори.

Підготовлена суміш висотою шару 25-50 мм рівномірно розподіляється безпосередньо на поверхні готового агломерату в кінцевій стадії його спікання, коли досягається максимальна температура в нижніх горизонтах шару. Після укладання суміші на отриманий шар подається теплоносій. При нагріві дисперсна частина окалини приплавляється до поверхні агломерату, а інша частина йде у вороття. При цьому підвищується загальний вміст заліза в шихті та з'являється можливість збільшити ступінь утилізації замасленої окалини. Пари масла разом з гарячим теплоносієм просмоктуються крізь пористий шар частково охолодженого агломерату і повністю згорають в його нижніх горизонтах, що мають температуру не менше 600 °С. Знешкоджені продукти згорання видаляються з газами, що відходять, не завдаючи шкоди тягодуттовому устаткуванню. Слід зазначити, що повторний нагрів шару агломерату дозволяє підвищити його загальну міцність і транспортабельність.

Для підтвердження пропонованого рішення авторами проведені дослідження на лабораторній установці (рис. 1).



Лабораторна агломеративна установка включала таке устаткування: агломеративна чаша, що самоперекидається, прямокутного перерізу 0,350, 35 м, заввишки 0,4 м, обладнана колосниковими решітками і вакуум камерою. Чаша і вакуум-камера обладнані

отворами з патрубками для проведення вимірів температури і газодинамічних параметрів;  
вакуум-насос РМК для створення розрідження під шаром шихти і відсмоктування газів, що відходять, який сполучений з вакуум-камерою металевим газопроводом великого перерізу діаметром 150 мм;

змішувачі шихтових компонентів;

устаткування КВП для вимірювання температури (термопари ППР, ХК), 6-ти точковий потенціометр, витратомір для виміру кількості просмоктуваних газів, що утворюються, дифманометр для виміру розрідження під шаром.

Допоміжне устаткування:

вагове устаткування для утворення шихти;

сушильна шафа з виміром температури, для визначення вологості шихтових компонентів;

установки з барабаном для визначення міцності агломерату на удар (фракція 5 мм) і стирання (фракція -0,5 мм);

грохот механічний з набором сит для визначення гранулометричного складу шихтових компонентів і агломерату.

У дослідженнях застосовувались матеріали, використовувані у виробничих умовах на аглофабриках ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Характеристика початкових шихтових компонентів приведена у табл. 1, вороття, що входить до складу суміші, - у табл. 2, замащеної окалини - у табл. 3.

Таблиця 1

Хімічний склад шихтових компонентів

Найменування матеріалу	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	в.п.п.	S
Вапняк кальцинований	0,5	0,3	0,39	0,73	54,75	0,59	0,19	42,32	0,025
Вапняк доломитизований	0,6	0,3	0,53	1,4	43,82	8,98	0,36	43,43	0,101
Сталеплавильний шлак збагачений	20,2	10,3	17,47	19,8	-	-	2,32	8,40	0,214
Концентрат	65,2	28,4	61,75	8,1	0,48	0,42	0,22	-2,13	0,157
Аглоруда	55,6	0,5	78,95	11,9	0,77	0,59	3,79	2,79	0,026
Вороття АЦ-1	52,1	10,6	86,25	9,05	12,4	0,91	0,92	1,89	0,119
Вороття АЦ-2	52,0	10,1	63,16	9,15	11,7	0,98	1,05	2,54	0,101
Ракушняк	0,8	0,3	0,81	3,1	52,48	0,73	0,93	41,74	0,086
Шлам	51,0	13,4	58,08	8,7	8,2	1,44	0,66	7,59	0,202

Таблиця 2

Характеристика вороття (усереднена проба)

Розмір фракцій, мм	А/цех №1				А/цех №2			
	Масова частка фракцій, %	Масова частка, %			Масова частка фракцій, %	Масова частка, %		
		C	S	в.п.п		C	S	в.п.п
+5,0	30,55	0,24	0,068	0,38	10,65	0,26	0,029	0,35
2,5-5,0	35,5	1,34	0,13	1,81	27,8	0,53	0,039	0,89
1,0-2,5	17,8	2,97	0,195	4,50	26,91	1,33	0,092	2,65
0,63-1,0	5,05	2,7	0,166	4,10	8,88	1,75	0,127	3,66
0,5-0,63	1,0	0,87	1,151	0,93	1,76	1,22	0,092	3,05
-0,5	10,1	3,67	0,234	7,02	24,0	2,41	0,217	7,21

Таблиця 3

Характеристика окалини

Сполука	Fe <sub>зар</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P	S	Zn, Pb	Cu	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	в.п.п.
Суха маса, %	68,36	52,53	39,29	1,78	0,58	0,25	0,27	0,8	0,02	0,01	сліди	0,01	0,21	0,08	4,19

Гранулометрична характеристика вороття свідчить про його зернистість (вміст шматочків 1-5 мм понад 80 %), що позитивно позначається на механічній взаємодії із замащеною окалиною.

Традиційні шихтові компоненти змішувались у співвідношенні, вживаному на діючих аглофабриках. Склад шихти був також прийнятий аналогічним шихті аглофабрики ГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг» (табл. 4).

Змішана шихта шаром висотою 20 мм рівномірно укладалась на шар постілі (шматочки агломерату розміром 8-12 мм), при цьому загальна висота шару шихти складала 380-400 мм. Для запалення шихти застосовувався трубчастий пальник, який повністю перекривав площу поверхні шару шихти. У пальник подавалась газова суміш, яка складається з газу пропан-бутанової суміші (з балона) і атмосферного повітря. Запалення виконувалось протягом 1.5-2.0 хвилин

при початковому розрідженні під шаром 2000-2500 Па, яке потім збільшували до 8000 Па.

Таблиця 4

Склад агломераційної шихти

Найменування компонентів	Вміст компонента в шихті, %	Витрата, кг/т агломерату
Концентрат	60,24	780,77
Аглоруда	12,4	160,56
Шлак сталеплавильний	4,24	55,0
Вапняк	14,19	183,98
Доломитизований вапняк	3,35	43,82
Тверде паливо (суміш коксу з антрацитом)	5,5	72,0
Усього	100,0	1296,15

Вороття (20 % понад 100 % шихти), 259.23 кг. Основність шихти: 1,25.

У дослідах контролювались такі параметри, як витрата просмоктуваного повітря, кількість газів, що відходять, температура над постіллю (на висоті 80 мм від решітки) і вакуум-камері, зміна розрідження у вакуум-камері. Після закінчення спікання, яке визначалось за різким зниженням температури у вакуум-камері, чаша переверталась і витягався спечений агломерат.

Визначались такі показники, як вихід спека з шихти, міцність при скиданні з висоти 2 м на залізну плиту, гранулометричний склад придатного агломерату.

У придатному агломераті визначалась міцність на удар і стирання в стандартному барабані за виходом фракції агломерату 5 мм і -0,5 мм.

Після усіх визначень з отриманого агломерату готувалося зернисте вороття, яке використалося для підготовки суміші за участю замасленої окалини.

Суміш готувалась так: в співвідношенні (1,5-2,0):(2,5-3,0) зважували вороття агломерату і замаслену окалину з урахуванням вмісту вологи. Далі робили двохстадійне змішування: спочатку у бігунковому змішувачі, в якому замаслена окалина входила в поверхневі пори й нерівності дрібних зерен агломерату, а потім в двохвалковому лопатевому змішувачі, в якому, окрім додаткового змішування шихти, їй надавався сипкий стан.

Суміш готувалась при різному співвідношенні компонентів, орієнтуючись на її зовнішній вигляд, щоб вона легко пересувалася, не злипалася в грудки і не прилипла до поверхні підготовчих апаратів і дозуючих пристроїв.

Аглошихта для цих дослідів готувалась аналогічно, при цьому контролювалося переміщення гарячої зони в шарі.

Досягнувши температури агломерату на поверхні шару 60-80 °С, а в нижній частині шару на висоті 80-100 мм від решітки температури 600-800 °С, на поверхню шару швидко завантажувалась та рівномірно розподілялась підготовлена суміш з окалиною висотою 30-50 мм.

Потім над цим шаром встановлювався пальник, завдяки чому при підтримуваній температурі 800-900 °С відбувалося займання масла, перенесення його парів разом з газовим середовищем в нижню гарячу частину шару, в якій вони повністю згорали.

Звільнені від масла частинки окалини при подальших операціях з агломератом частково виділялися у вороття, збільшуючи вміст заліза в ньому і потім у загальній масі агломерату.

Нагрів охолодженого агломерату й просмоктування гарячого повітря сприяли підвищенню міцності усього «пирога» за рахунок повторної кристалізації залізовмісних мінералів та відсутності різкого охолодження агломерату.

Результати дослідів наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Порівняльні показники спікань

Показники процесу	Варіанти спікання	
	звичайна шихта	із сумішшю вороття-окалина
Висота шару шихти, м	0,4	0,4
Висота шару суміші, мм	-	35,0
Температура запалення, °С	1200	1200
Температура повторного запалення, °С	-	900
Швидкість спікання, мм/хв	35-37	32-34
Розрідження у кінці спікання, Па	8500	9500
Температура газів у кінці процесу, °С	280-300	320-370
Вихід придатного агломерату, %	74-75	78-82
Вміст заліза в агломераті, %	54,2	55,8
Міцність агломерату %: на удар	69,5	72,7
на стирання	11,3	7,5

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** При оптимальних параметрах спікання й витраті суміші замасленої окалини і вороття агломерату, яка укладається на поверхню шару готового агломерату, питома продуктивність процесу підвищується внаслідок збільшення насипної щільності матеріалу, що знаходиться в кінці процесу спікання на колошниковій решітці, і в результаті збільшення виходу придатного агломерату.

Також підвищується транспортабельність агломерату, яка характеризується показниками його міцності. Введення у процес встановленої дослідним шляхом кількості замасленої окалини дозволяє підвищити вміст заліза в готовому агломераті на 1,5-2,2 % у порівнянні зі спіканням аглошихти без замасленої окалини.

Подальші дослідження спрямовано на розроблення рекомендацій щодо промислової реалізації пропонованого технічного рішення.

#### *Список літератури*

1. Некоторые особенности процесса агломерации при использовании в шихте окалины прокатного производства / Ю.Г. Ефименко, Е.И. Лещинская, И.М. Сальников и др. // Известия вузов. Черная металлургия, 1986. – №4. – С. 21-24.
2. Улучшение качества агломерата при повышенном содержании в шихте железосодержащих отходов / А.З. Крижевский, И.М. Мищенко, Н.А. Чиглинец и др. // Бюллетень Ин-та «Черметинформация». Черная металлургия, 1988. – №8. – С.35-46.
3. Борисов В.М. Перспективы использования дисперсных отходов прокатного производства в черной металлургии / В.М. Борисов, А.Д. Яценко-Жук, И.Я. Матюх // Бюллетень Ин-та «Черметинформация». Черная металлургия, 1981. – №21. – С.45-60.
4. Кравцов В.М. Использование замасленной окалины прокатных цехов в агломерационной шихте Криворожского металлургического завода / В.М. Кравцов, Л.А. Горский, И.Л. Холмецкий // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1974. – №4. – С.5-6.
5. Повышение эффективности утилизации замасленной прокатной окалины при производстве агломерата / С.Н. Крипак, В.А. Шермет, О.А. Гогенко и др. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Вип. 1(36). – Дніпропетровськ, 2005. – С.79-90.

Рукопис подано до редакції 23.03.13

УДК 681.542.35

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, канд. техн. наук, проф.  
Кіровоградський національний технічний університет

### **ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВІДКРИТИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ ПРОМЕНЯМИ НЕЗМІННОЇ ДОВЖИНИ**

Показано, що сканування поверхні відкритих матеріальних потоків доцільно здійснювати нахиленими променями незмінної довжини, більшої у кілька разів максимального значення висоти матеріалу. Необхідну точність сканування можливо забезпечити чотирма променями, розташованими певним чином по ширині потоку.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Чорна металургія України у цей час не може існувати без збагачення залізних руд, яке відрізняється значними енерго- та матеріаловитратами. Особливо це відноситься до процесів подрібнення руди, які недостатньо керовані в наслідок відсутності деяких інформаційних засобів. Найбільш складно вимірювати витрату піскових потоків спіральних механічних класифікаторів. Відсутність достатньо точних і надійних засобів контролю витрати піскових потоків значно знижує ефективність процесів збагачення, що не відповідає вимогам Державної науково-технічної програми “Ресурсозберігаючі технології нового покоління у гірничометалургічному комплексі”. Тому тема статті, присвяченої розв'язанню частини даної задачі, є актуальною. Матеріали, що використані при підготовці до друку даної статті, отримані в процесі виконання науково-дослідної теми “Комп'ютерно-інтегрована система автоматичного регулювання співвідношенням руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням” (державний реєстраційний номер 0105U008334).

**Аналіз досліджень і публікацій.** Задачу автоматичного управління подрібненням руди у барабанних млинах тривалий час розв'язують як вітчизняні, так і закордонні вчені. У різні роки цю задачу розв'язують В.А. Воронов, В.В. Дьяконенко, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура,