

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

*На правах рукопису*

**ЗАХАРЧЕНКО** Валентин Миколайович

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ОКУСКОВАНОЇ  
ЗАЛІЗОРУДНОЇ ДОМЕННОЇ СИРОВИНИ ПІДВИЩЕНОЇ  
ЯКОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКІВ ОРГАНІЧНИХ  
ЗВ'ЯЗУЮЧИХ РЕЧОВИН І ТВЕРДОГО ПАЛИВА**

Спеціальність 05.16.02 “Металургія чорних металів”

**А в т о р е ф е р а т**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1996



Дисертація є рукопис

Роботу виконано у Державній металургійній академії України

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

Доктор технічних наук,  
професор  
Д.А. КОВАЛЬОВ

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

Доктор технічних наук,  
професор  
М.М.БЕРЕЖНИЙКандидат технічних наук,  
ст. наук. співробітник  
М.А.ГЛАДКОВ

ПРОВІДНЕ ПІДПРИЄМСТВО:

Дніпровський металургійний  
комбінат

Захист відбудеться “24” квітня 1997 р. о 12<sup>30</sup> год  
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 при  
Державній металургійній академії України за адресою: 320635,  
м.Дніпропетровськ, пр.Гагаріна, 4

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної металургійної академії України .

Автореферат розіслано “18” березня 1997 р.

Вчений секретар

спеціалізованої ради,

канд. техн. наук, доцент

Ю.С.Паніотов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Гострий дефіцит матеріальних і енергетичних ресурсів, що склався останнім часом у доменному виробництві України, обумовлює необхідність пошуку і реалізації прийнятних засобів зменшення витрати коксу. Одним з найбільш ефективних і надійних шляхів її зниження є підвищення якості підготовлених залізорудних матеріалів, зокрема, за рахунок оптимізації їх пористості, яка обумовлює зростання ступеня використання теплової та хімічної енергії газів у доменній печі.

Управління пористістю окускованих залізорудних матеріалів найбільш доцільно здійснювати за рахунок недефіцитних матеріалів, які містять вуглець й органічних зв'язуючих додатків. Ці матеріали можуть бути джерелом залишкового вуглецю у підготовленій залізорудній сировині, що у поєднанні з оптимальною пористістю помітно підвищує її фізико-хімічні та металургійні властивості.

Ціль роботи. Розробка теоретичних основ і технологічних прийомів поліпшення фізичних і металургійних властивостей окускованих залізорудних матеріалів для доменної плавки шляхом використання недефіцитних додатків органічних зв'язуючих речовин і твердого палива.

### Наукова новизна:

- з позиції утворення пор дано кількісну оцінку, проведено вибір і обґрунтування виду, частки та крупності органічних недефіцитних додатків, які забезпечують отримання окускованої залізорудної сировини підвищеної якості;
- виявлені й обґрунтовані раціональні способи введення граничних кількостей додатків до шихти огрудкування, теоретично визначені й експериментально обґрунтовані технологічні параметри термообробки гранул, що забезпечують керований розвиток пороутворення і збереження частини вуглецю у складі окотишів;
- побудовано математичну модель і розвинуто аналітичну інтерпретацію підходів щодо визначення оптимальних (прогнозних і фактичних) величин міцності та здатності до відновлення окотишів у залежності від частки лігносульфонатів у шихті;

ДНБ ім. В. Степаненка  
АН Укр

- на основі всебічного вивчення методами петрографії та електронної скануючої мікроскопії встановлені особливості структури, характер розподілення і форми пор у периферійній, проміжній і центральній зонах окотишів, які були відібрані по висоті шару після обпалення;
- виявлені закономірності впливу різних пороутворюючих додатків на фізичні й металургійні властивості окускованих залізородних матеріалів.

#### Практична цінність роботи:

- розроблені методи використання лігніну при виробництві окотишів і агломерату, які дозволяють підвищити їх пористість і здатність до відновлення;
- розроблена технологія виробництва окотишів з використанням сухого порошку та рідкого розчину лігносульфонатів на етапі виробництва сирих гранул, яка дозволила здійснити повну заміну бентоніту органічним зв'язуючим при регульованому пороутворенні готової продукції без погіршення характеристик міцності сирих і обпалених окотишів;
- розроблена технологія одержання окотишів з використанням у шихті твердого палива, яка дозволяє поліпшити їх металургійні властивості.

#### До захисту винесено наступні положення:

- теоретичне і експериментальне обґрунтування методів одержання окускованих залізородних матеріалів підвищеної якості з використанням органічних пороутворюючих додатків; механізм пороутворення в структурі окотишів;
- метод оптимізації якості окотишів (по пористості і здатності до відновлення) з використанням побудованої математичної моделі;
- технологічні параметри промислового виробництва окотишів, які мають підвищену пористість і містять вуглець;
- результати промислового виробництва і проплавки у доменних печах окотишів підвищеної якості.

Особистий внесок у розробку наукових положень і досягнення практичних результатів полягає у тому, що автором запропоновані методики досліджень, підготовлені і проведені лабораторні експерименти, обробка і узагальнення одержаних результатів; виявлені закономірності впливу різних пороутво-

рюючих додатків на фізичні і металургійні властивості окискованих залізородних матеріалів і розроблена математична модель для прогнозу і оптимізації їх властивостей; за безпосередньою участю автора отримані промислові партії окотишів з підвищеними металургійними властивостями, проведена доменна плавка з їх використанням.

Методи дослідження. Використані способи відбору проб і випробування матеріалів у відповідності з діючими держстандартами, методи планування експерименту, регресійного аналізу і оптимізації, макроструктурний і петрографічний аналізи зразків з використанням мікроскопії, в тому числі електронної, високого розрізнення.

Реалізація результатів у промисловості. Розроблені технології одержання окотишів з використанням твердого палива, сухих та рідких лігносульфонатів, випробувані у промислових масштабах на Полтавському ДГЗК та ПівДГЗК.

На доменній печі №4 Краматорського металургійного заводу проведена дослідна плавка на окотишах, одержаних з використанням додатків твердого палива. За рахунок підвищення якості окотишів і сприятливої зміни супутніх технологічних факторів досягнуто зниження витрати коксу на 31,7 кг/т чавуну (або на 5,6%).

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідалися й обговорювалися на: Всесоюзній науково-технічній конференції молодих вчених "Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металлов". -Тула, 1990 р.; Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескоксовой металлургии". -Дніпропетровськ, 1990 р.; Всесоюзній науково-технічній конференції "Теория и практика решения экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности". -Дніпропетровськ, 1993 р.; Міжнародній науково-технічній конференції "Теорія і технологія аглодоменного виробництва". -Дніпропетровськ, 1995 р.; щорічних наукових семінарах кафедри металургії чавуну Державної металургійної академії України.

Публікації. Основний зміст дисертації відображений у 3 статтях, 1 заявці на винахід та 7 тезах доповідей.

Структура й об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 глав, викладена на 136 сторінках, з урахуванням 111 сторінок друкованого тексту, 25 малюнків, 58 таблиць, переліку літературних джерел із 41 найменування та 5 додатків на 42 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

### 1. Стан робіт з одержання окускованих залізорудних матеріалів підвищеної пористості.

У літературному огляді проаналізовані відомі способи підвищення пористості та здатності до відновлення окускованої залізорудної сировини, запропоновані вітчизняними та закордонними дослідниками. Загальним підходом у цих способах є введення до шихти для огрудкування різних видів та кількостей матеріалів органічного походження, які містять вуглець і які в процесі зміцнюючого обпалення вигорають, сприяючи утворенню пор у об'ємі гранул під час їх обпалення.

Як пороутворюючі добавки дослідники використовували коксик, вугілля різних марок, у т.ч. деревинне і торф, тирсу, продукти переробки деревини та сільськогосподарських відходів (похідні целюлози, лігнін і сполуки на його основі та т. ін.). Встановлено також, що деякі види органічних додатків, що мають зв'язуючі властивості, можуть частково або повністю замінювати бентоніт при одержанні сирих комків. Відомі також способи, що дозволяють з використанням твердого палива отримувати окусковану залізорудну сировину з високими металургійними властивостями, яка містить залишковий вуглець.

Практично в усіх дослідженнях відмічається те, що окусковані залізорудні матеріали, одержані з використанням різних органічних додатків, мають підвищену здатність до відновлення, але якщо пористість готового продукту перевищує певні межі, спостерігається помітне зниження його міцності як у холодному, так і в гарячому стані. Ці обставини з відомих причин перешкоджають широкому використанню окускованої сировини підвищеної пористості в доменній плавці. Незважаючи на велику кількість розробок, спрямованих на поліпшення металургійних властивостей окускованих

залізорудних матеріалів, не визначився єдиний підхід щодо встановлення оптимальної кількості пор у цих матеріалах. Не приділено належної уваги до розміру і форми пор, їх розподілення у об'ємі залізорудного матеріалу. До теперішнього часу не досліджені в промисловості особливості технології одержання і проплавки у вітчизняних доменних печах залізорудної сировини з високою пористістю, відсутні надійні відомості про ефективність проплавки сировини, що містить вуглець.

У зв'язку з цим, предметом досліджень у цій дисертаційній роботі є питання пороутворення, формування структури гранул та їх якості, а також ефективності використання матеріалів з підвищеною пористістю, які містять вуглець, в доменній плавці.

## 2. Експериментальні дослідження з використання лігніну при одержанні залізорудних окотишів.

Дослідження з одержання окотишів проводилися в лабораторних умовах за стандартною методикою. Кількість лігніну, який подавався у шихту, не перевищувала 6% від маси концентрату і вапняка, а частка твердого вуглецю не перебільшувала 2%, щоб запобігти спікання окремих окотишів між собою в процесі обпалення. Крупність сирих окотишів знаходилася у межах 10-20 мм, вологість - 9,0÷9,5%. Характеристики міцності сирих окотишів задовільняли існуючим вимогам. Зміцнююче обпалення проводилося за спеціально розробленою схемою, в якій температурні видержки під час нагрівання не передбачалися. Введення лігніну до складу шихти сприяло розосередженню зони горіння та вирівнюванню температур обпалення по всій висоті шару окотишів, що обумовлено переносом до нижніх шарів тепла, яке виділяється при горінні летких речовин лігніну, і одночасним горінням (при нагріві до 1000°C) твердого вуглецю з його складу. Після обпалення окотиші, що досліджувалися, у порівнянні із тими, які одержувалися у тих же умовах за традиційною схемою, мали підвищену пористість (~40% проти 27% за ДержСТ 26293-84) і здатність до відновлення (48÷59% проти 40÷41% за методом Ліндера), але декілька гірші показники механічної міцності за ДержСТ 15137-77 і міцності під час відновлювально-теплової

обробки за ДержСТ 19575-84. Обпалені окотиші, одержані з використанням лігніну в шихті, містили  $0,02 \pm 0,32\%$  залишкового вуглецю.

Встановлено, що мінералогічний склад, структура і фізико-хімічні властивості обпалених окотишів суттєво залежать від способу введення лігніну, його кількості та режиму обпалення, що підтверджують дані аналізу їх макро- й мікроструктури. В результаті досліджень визначені заходи і параметри, які дозволяють одержувати окотиші із прогнозованими пористістю та здатністю до відновлення. Разом із параметрами процесу обпалення пористість і здатність до відновлення - це фактори, які визначають характеристики міцності окотишів і можливість їх подальшого використання у доменній плавці.

### 3. Оцінка ефективності використання лігніну при виробництві агломерату.

Особливості поведінки лігніну та його вплив на властивості окотишів, виявлені у попередніх дослідженнях, обумовили доцільність встановлення ефективності його використання при виробництві агломерату. Дослідження проводилися у лабораторних умовах за стандартною методикою, у тому числі на укрупненій аглочаші з масою шихти 35-38 кг. Частка заміни коксикю на лігнін варіювалася у межах  $0 \div 40\%$ . Одержаний агломерат випробували на міцність за ДержСт 15137-77.

За результатами досліджень, що проводилися з використанням методу планування експерименту (повний факторний експеримент ПФЕ  $3^2$ ), одержані математичні моделі другого порядку, які задовільно описували вплив вмісту палива у шихті та частки заміни коксикю лігніном на характеристики міцності готового агломерату. Параметрами оптимізації були обрані: вміст фракції 0-5 мм після спікання; вміст фракції +10 мм та +5 мм після випробування на міцність.

У дослідженнях встановлено, що при збільшенні частки заміни коксикю на лігнін з 0 до 20% показник міцності агломерату збільшується з 64,3 до 66,6%. При подальшому замініюванні коксикю на лігнін цей показник знижується до 61,38%. Показник стирання агломерату (вихід фракції -0,5 мм) при заміні від 0 до 40% коксикю на лігнін безперервно зростає

відповідно з 7,57% до 8,66%.

Аналіз експериментальних даних показує, що найбільш оптимальним з точки зору техніко-економічних показників аглопроцесу є заміна до 20% коксуючого на лігнін, яка не призводить до погіршення характеристик міцності агломерату, але покращує його металургійні властивості.

Таким чином, проведеними дослідженнями показана висока ефективність використання органічного пороутворюючого додатку - лігніну при виробництві окускованих залізородних матеріалів.

#### 4. Дослідження і розробка технології використання лігносульфонатів при одержанні окускованих залізородних матеріалів.

У лабораторних умовах проведені експерименти, в яких одержували сирі та обпалені окотиші з використанням рідких лігносульфонатів. При проведенні лабораторних випробувань, а у подальшому й при випробуваннях у виробничих умовах Полтавського ДГЗК використовувалися лігносульфонати натрію бісульфітного щолоку (ТУ ОП 13-0279121-01-90), що випускаються ВО "Кондопогабумпром". Лігносульфонати вводилися до шихти у вигляді водного розчину під час огрудкування. Концентрація лігносульфонатів у розчині варіювалася у межах 3,56+36,5%.

В дослідженнях встановлено, що введення лігносульфонатів у шихту (бентоніт було повністю виключено) сприяє збільшенню міцності сирих окотишів: опір динамічним навантаженням збільшується у ~2 рази, а опір роздавленню у 1,6+1,7 рази у порівнянні із звичайними окотишами на основі бентоніту. Для обпалених окотишів визначали холодну міцність по опору на роздавлення, удар і стирання в барабані за ДержСТ 15137-77. Міцність окотишів при відновлювально-тепловій обробці визначалася за ДержСТ 19575-84. З метою уточнення механізму впливу лігносульфонатів на формування кінцевої структури окотишів і характеристики готового продукту в кожній серії експериментів відбиралися проби для

проведення макро- і мікроструктурного аналізу.

На основі експериментальних даних з використанням методу планування експерименту одержані поліноми другого ступеня, які описують вплив вмісту лігносульфонатів ( $X_1$ ) і температури обпалення ( $X_2$ ) на критерії оптимізації - холодну міцність ( $\Pi$ , кН/окотиш) і фактичну здатність до відновлення ( $B$ , %) обпалених окотишів:

$$\Pi = -114,738 + 3,886X_1 + 0,19489X_2 - 0,002982X_1X_2 - 0,152X_1^2 - 0,000081539X_2^2; \quad (1)$$

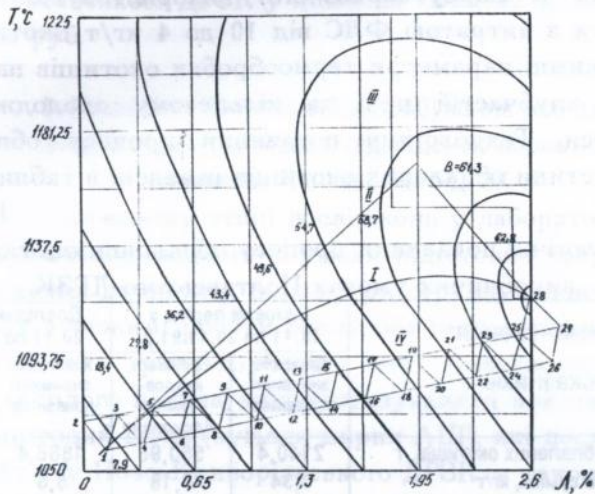
$$B = -1727,34 + 156,52X_1 + 2,8429X_2 - 0,11351X_1X_2 - 5,1369X_1^2 - 0,0011441X_2^2. \quad (2)$$

Аналіз експериментального матеріалу і одержаних математичних моделей показав доцільність проведення спрямованого пошуку умов підвищення якості окотишів на базі розрахунків, результати яких зображені на мал. 1.

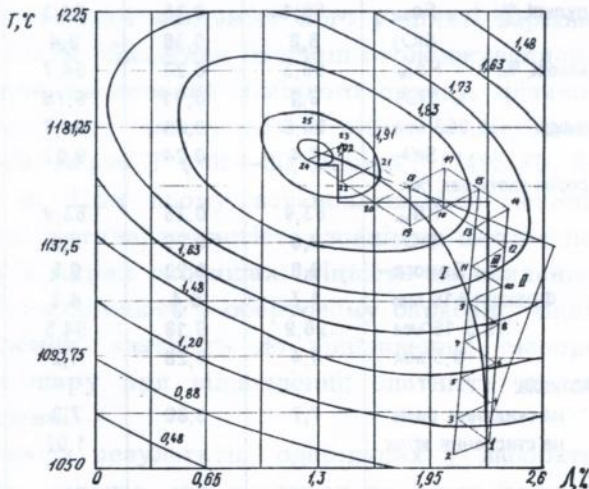
З метою перевірки і уточнення результатів лабораторних досліджень сирі окотиші, одержані з використанням лігносульфонатів, розміщувалися у спеціально виготовлених гратчастих контейнерах і підлягали обпаленню у промислових умовах Північного ДГЗК (обпалювальна машина типу Лургі). Дослідні окотиші, обпалені у промислових умовах, мали підвищену холодну й гарячу міцність і здатність до відновлення у порівнянні з окотишами, обпаленими у лабораторних умовах.

У подальшому були проведені промислові випробування технології одержання окотишів з використанням лігносульфонатів в умовах Полтавського ДГЗК. У відповідності із розробленою схемою, лігносульфонати подавалися з витратного баку за допомогою дозатора безпосередньо у мельницю на кусковий вапняк. При сумісному помелі одержували флюсо-лігносульфонатну суміш (ФЛС), яка подавалася у шихту для вироблення окотишів. В якості залізорудної частини шихти використовувався концентрат поточного виробництва із масовою часткою заліза не менше 62,5% і вмістом, %: FeO - 26+29; SiO<sub>2</sub> - 11,8±0,7; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,5+ +0,6; CaO - 0,4+0,5; MgO - 0,7+0,8.

Пошук екстремальних значень показників здатності до відновлення  $B$  (%) [а] та холодної міцності  $\Pi$  (кН/окотиш) [б] в залежності від витрати лігносульфонату ( $L$ , % по сухій масі) і температури обпалення окотишів ( $T$ , °C)



а



б

Методи пошуку: I - градієнта; II - найшвидшого спуску; III - Гаусса-Зейделя; IV - ПСМ (послідовний симплексний метод).

Малюнок 1.

В якості флюсу використовувався вапняк Доучаєвського флюсодоломітового комбінату із вмістом  $\text{CaO} + \text{MgO} = 53 \pm 1\%$ , у тому числі  $\text{MgO}$  не менше  $8 \pm 1,5\%$ .

У промислових випробуваннях, замість бентоніту в якості зв'язуючого (і пороутворюючого) використовувалися лігно-сульфонати з витратою ФЛС від 10 до 4 кг/т окотишів. При цьому режимні параметри термообробки окотишів на ґратах в обертовій трубчастій печі та кільцевому охолоджувачі не змінювалися. Технологічні показники процесу обпалення і характеристики обпалених окотишів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Технологічні показники процесу обпалення окотишів у виробничих умовах Полтавського ДГЗК.

Найменування показників	Базовий період з 18.11 по 20.11.91 р.		Дослідний період з 20.11 по 21.11.91 р.	
	Середнє значення показника	Середньо-квадратичне відхилення	Середнє значення показника	Середньо-квадратичне відхилення
Виробництво обпалених окотишів, т	2140,4	560,98	1888,4	377,4
Питома витрата суміші, кг/т	0,34	0,18	5,8	2,1
Питома витрата бентоніту, кг/т	16,4	2,9	0,0	0,0
Масова частка у пульпі, %:				
$\text{Fe}_{\text{заг}}$	65,1	0,36	64,3	0,24
$\text{SiO}_2$	8,8	0,38	9,4	0,29
Масова частка у кекові, %:				
$\text{Fe}_{\text{заг}}$	65,3	0,23	64,7	0,25
$\text{SiO}_2$	8,9	0,11	9,76	0,12
Масова частка фракції -0,053 мм	94,6	0,86	94,7	0,16
$\text{SiO}_2$	8,4	0,24	9,02	0,29
Масова частка у сирих окотишах, %:				
$\text{Fe}_{\text{заг}}$	63,9	0,33	63,9	0,15
$\text{SiO}_2$	9,6	0,29	9,6	0,12
Волога	9,8	0,23	9,5	0,08
Фракція +16 мм	1,7	0,4	4,3	2,3
+9,5-16 мм	96,9	0,18	94,5	2,43
-9,5 мм	1,4	0,28	1,2	0,09
Міцність сирих окотишів:				
на скидання, разів	7,7	3,80	7,3	2,6
на стиснення, кг/ок			1,07	
Обпалені окотиші:				
масова частка $\text{Fe}_{\text{заг}}$	62,8	0,21	62,8	0,28
$\text{FeO}$	1,38	0,68	1,82	1,2
основність, ч.о.	0,095	0,008	0,12	0,010
міцність на стиснення, кг/ок	258,5	22,4	272,0	28,2
барабанна проба, %: кл. +0,5 мм	94,7	0,9	96,2	1,6
кл. -0,5 мм	2,9	0,9	2,3	1,6

Техніко-економічний прогноз ефективності використання лігносульфонатів у виробничих умовах свідчить про те, що річний економічний ефект від впровадження розробленої технології виробництва окотишів з використанням ФЛС у ЦПО Полтавського ДГЗК у цінах на 1.01.1992 р. може досягати 170 млн. руб.

#### 5. Розробка і промислові випробування технології виробництва окотишів із підвищеною пористістю в умовах Полтавського ДГЗК.

На початковому етапі досліджень у лабораторних умовах були визначені технологічні умови підготовки твердого палива для введення до шихти, параметри огрудкування й обпалення окотишів в режимі роботи основного технологічного обладнання установок "грати-трубчаста піч" Полтавського ДГЗК. В якості твердого палива використовувалися коксовий дріб'язок і антрацитовий штиб (вугілля марки АШ), які постачаються на аглофабрику Ново-Криворізьського ДГЗК, а також буре вугілля Александрійського родовища. Використовувалося паливо крупністю 0-0,1 мм, вміст його у шихті варіювався у межах  $0 \pm 1\%$ . Після обпалення окотиші охолоджувалися й підготовлялися для визначення хімічного складу, фізико-механічних і металургійних властивостей згідно з методиками ДержСТ 16598-80, ДержСТ 15054-80, ДержСТ 17495-80, ДержСТ 26135-84 та ін. При цьому встановлювалися: істинна, середня і насипна густина; пористість; зовнішня питома поверхня; вміст вологи у сирих окотишах; міцність на скидання; міцність на стиснення; міцність у обертовому барабані; міцність у процесі відновлення; здатність до відновлення; газопроникливість і усадка шару при відновленні; здатність до набухання при відновленні.

Аналіз результатів, одержаних у лабораторних дослідженнях, показав, що введення твердого палива до шихти у кількості від 0,1 до 1% не впливає на характеристики міцності сирих окотишів і величину граничної температури сушки. Встановлено також, що загальна пористість обпалених окотишів при введенні антрациту і коксового дріб'язку збільшується з 12-15 до 24-28%. Міцність обпалених окотишів (за ДержСТ

15137-85), найбільш висока при масовій частці твердого палива 0,1+0,25%, із збільшенням його вмісту зменшується. Аналогічна залежність змінення міцності окотишів спостерігалася при їх відновленні за ДержСТ 19575-84.

За даними лабораторних досліджень розроблені практичні рекомендації для проведення промислових випробувань технології виробництва окотишів з поліпшеними металургійними властивостями. Промислові випробування технології з використанням твердого палива (коковий дріб'язок і вугілля марки АШ із виходом летких речовин до 10%) і виготовлення дослідної партії здійснювалися на IV технологічній лінії "грати-трубчаста піч" цеху виробництва окотишів Полтавського ДГЗК. Підготовляння палива здійснювалося за технологією, суть якої полягала у сумісному його помелі з вапняком у шаровій мельниці у співвідношенні 1:1. Питома витрата флюсовугільної суміші у шихту складала 8,2 кг/т для коксового дріб'язку та 8,6 кг/т для вугілля АШ. Питома витрата бентоніту була меншою під час випробувань із коксовим дріб'язком на 4,7 кг/т, а у період випробувань із вугіллям АШ - на 6,7 кг/т порівняно з витратою в базовому періоді роботи технологічної лінії (16,4 кг/т). Показники якості шихти і окотишів з твердим паливом, одержаних у ході промислових випробувань, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Характеристики шихти і окотишів з твердим паливом, одержаних у ході промислових випробувань.

Найменування показників		Базові окотиші	Окотиші з коксовим дріб'язком	Окотиші з антрацитовим штибом
1		2	3	4
Масова частка, %:				
в концентраті				
	Fe <sub>зар</sub>	64,2	64,3	64,2
	SiO <sub>2</sub>	9,5	9,4	9,5
	вологи	10,15	10,4	10,3
у сирих окотишах				
	Fe <sub>зар</sub>	63,2	63,0	63,0
	SiO <sub>2</sub>	10,9	10,4	10,2
	вологи	10,3	10,0	9,9
Гранулометричний склад сирих окотишів:				
	кл. 16,0 мм	2,0	2,4	4,7
	кл. -16,0+9,5 мм	96,7	96,3	94,1
	кл. -9,5 мм	1,3	1,3	1,2

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4
Міцність сирих окотишів:			
на стиснення, кг/окотиш	1,5	1,9	1,4
на скидання, разів	10,3	10,7	8,4
Масова частка у обпалених окотишах, %:			
Fe <sub>заг</sub>	62,2	62,5	62,4
FeO	1,9	4,6	4,5
Міцність на стиснення обпалених окотишів, кг/окотиш			
	258,5	224,9	228,6
Масова частка в окотишах кл. -5,0 мм, %			
	2,85	1,9	2,1
Основність, час. од.			
	0,10	0,13	0,13
Міцність за ДержСТ 15137-81:			
показник міцності (+5,0 мм)	95,9	97,0	97,0
показник стирання (-0,5 мм)	2,8	0,3	1,7
Пористість, %:			
загальна	21,6	25,5	25,8
ефективна	15,7	20,6	20,3
Міцність при відновленні за ДержСТ 19575-84, %:			
показник міцності (+10,0 мм)	19,3	19,8	14,8
показник зруйнування (0,5-5,0 мм)	64,2	59,3	53,8
показник стирання (-0,5 мм)	1,5	2,9	2,7
Здатність до відновлення, %			
	47,3	60,2	61,8

Хімічний аналіз проб, які були одібрані після ґрат, трубчастої печі і кільцевого охолоджувача, показав, що основна частина твердого палива вигорає у трубчастій печі. Кількість залишкового вуглецю у кінцевому продукті склала 0,04%.

Методами мікроструктурного аналізу вивчена еволюція мінеральних фаз у процесі обпалення у зразках окотишів, одібраних з ґрат, трубчастої печі і кільцевого охолоджувача. Встановлено, що процес спікання і рекристалізації мілкої рудної фракції на стадії твердофазного спікання (ґрати) і особливо поява в окотишах заліzosилікатного розплаву (піч, охолоджувач) визначають характер пористості окотишів. Порівнювальні дослідження у відбитому світлі величини і морфології пор на різних температурних стадіях свідчать про те, що в окотишах, зміцнених на ґратах, середній розмір пор у магнетитовій та гематитовій зонах практично однаковий і не перевищує 0,020-0,025 мм. Розмір окремих пор досягає 0,10 мм. Морфологія пор - невизначена, їх форма часто підпорядковується укладці зерен концентрату.

Характер пористості у гематитових зонах окотишів з ґрат

і з печі практично однаковий. Утворення великої кількості розплаву у магнетитовому ядрі окотишів з печі є причиною формування крупної пористості. Середній розмір пор зростає до 0,06-0,08 мм, при наявності пор розміром від 0,0015 до 0,12 мм. Процеси, які продовжуються в окотишах у зоні охолодження, є причиною укрупнення мікроструктури в цілому і призводять до подальшого збільшення середнього розміру пор у магнетитовому ядрі аж до 0,13-0,17 мм. Пори в окотишах після обпалення у печі та після охолодження мають овальну, часто округлу форму. У магнетитовій зоні окотишів навкруг крупних пор і особливо вздовж тріщин спостерігається гематит, що свідчить про те, що й ті, й інші є провідниками газу при обпаленні - повітря, а у подальшому, в доменній печі, будуть служити провідниками газу-відновлювача.

Зразки, відібрані з обертової печі характеризуються різним напрямом процесів мінералоутворення. У магнетитовому ядрі розвинуті процеси шлакоутворення, в результаті чого у цій зоні формується силікатна зв'язка, яка є носієм міцності, особливо під час відновлення. В гематитовій периферії переважає рудна зв'язка. Пористість на периферії аналогічна пористості окотишів з грат, а в ядрі розміри пор зростають до 0,06-0,08 мм. На межі двох зон закладаються глибокі концентричні тріщини.

У зоні охолодження продовжуються процеси перекристалізації рудної фракції при мінімальному розвитку процесів шлакоутворення в гематитовій периферії окотиша. У магнетитовому ядрі відбувається перекристалізація мінеральної та середньої рудної фракції. В результаті поверхня рудних контактів зменшується, силікатних - зростає. Розмір пор збільшується до 0,11-0,17 мм. Концентричні тріщини в готовій продукції зберігаються. Коксик практично повністю вигорає у процесі термообробки в печі.

#### 6. Результати доменної плавки окотишів з твердим паливом в умовах Краматорського металургійного заводу

Одержану дослідну партію окотишів з твердим паливом було проплавлено у доменній печі №4 Краматорського металургійного заводу об'ємом 1033 м<sup>3</sup>. Шихта складалася з окоти-

шів Полтавського ДГЗК (85-90%) та сидериту (15-10%).

Для оцінки роботи доменної печі з використанням у шихті дослідних окотишів були обрані базовий період з 9 по 17 листопада 1991 р. та дослідний період з 9 по 17 грудня 1991 р. із приблизно рівними умовами роботи печі по забезпеченню коксом. Піч виплавляла переробний чавун з вмістом кремнію 0,85-1,65%, на нагрітому до 1000°C дутті з використанням природного газу (до 100 м<sup>3</sup>/т чавуну) і підвищеним тиском газу під колошником (0,54 аті).

На протязі дослідного періоду технологічні параметри плавки залишалися сталими, незмінною залишалася і система загрузки. З урахуванням умов роботи доменного цеху встановлювали склад шихти з часткою окотишів 90% і сидериту 10%. В якості додатків використовувалися скрап і вапняк у кількостях 100÷125 та 330 кг/т чавуну відповідно. Характеристики окотишів, які використовувалися у базовому та дослідному періодах доменної плавки, наведені у таблиці 3.

Таблиця 3.

Якість окотишів ПДГЗК у порівнювані періоди плавки.

Період	Показники якості та їх значення								
	Вміст, %					Ос-нов-ність	Міц-ність, кг/ок	Барaban, ДержСТ 15137-85	
	Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	X <sub>-5мм</sub>			Б <sub>+5 мм, %</sub>	Б <sub>-0,5 мм, %</sub>
Базовий	62,11	9,73	0,38	0,81	1,6	0,122	252	98,5	0,7
Дослідний	62,44	9,07	0,39	0,73	2,1	0,124	243	98,4	1,1

Введення до шихти дослідних окотишів сприяло перерозподілу втрат тиску по висоті печі: зменшенню нижнього перепаду і збільшенню верхнього. При цьому винос пилу збільшився на 1 кг/т чавуну. Контрольні визначення складу колошникового пилу показали збільшення вмісту в ньому заліза, що дозволяє вважати дослідні окотиші джерелом його додаткового утворення.

Проведена дослідна плавка показала, що використання у шихті доменних печей окотишів із твердим паливом помітно збільшує розвиток непрямого відновлення у доменній печі та сприяє зменшенню розмірів зони в'язкопластичного стану матеріалів, що позитивно впливає на газодинаміку процесу, не

зважаючи на деяке збільшення виносу пилу з колошниковим газом.

Аналіз показників роботи печі у базовому та дослідному періодах свідчить про позитивний вплив дослідних окотишів на основні параметри доменного процесу. Після зведення до однакових умов, величина економії коксу склала 5,6% або 31,7 кг/т чавуну, що дозволяє рекомендувати випробувану технологію для широкого впровадження на металургійних підприємствах України.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

1. Розроблена методика використання лігніну у виробництві окотишів. Введення лігніну до шихти огрудкування у кількості, яка забезпечує вміст твердого вуглецю в ній  $1,5+1,65\%$ , обумовлює збільшення пористості та здатності до відновлення гранул у порівнянні із звичайними окотишами на  $5+14\%$  і на  $2,0+18,6\%$  відповідно.

Встановлено, що мінералогічний склад, структура і фізико-хімічні властивості обпалених окотишів суттєво залежать від способу введення лігніну, його кількості і режиму обпалення, що підтверджують дані макро- і мікρο-структурного аналізу.

2. Показана ефективність використання лігніну у виробництві агломерату. При вмісті в аглошихті  $6\%$  твердого палива і заміні  $20\%$  його лігніном, тривалість спікання і температура відходячих газів знижуються відповідно на  $21,7\%$  та  $20^{\circ}\text{C}$  ( $5,6\%$ ), що обумовлює зростання швидкості спікання аглошихти і збільшення продуктивності аглопроцесу на  $27,8$  та  $59,7\%$  відповідно. Вихід годного агломерату підвищується при цьому на  $8,84\%$  (абс.), а показники міцності та стирання на  $2,31$  і  $0,54\%$  відповідно.

3. Встановлена доцільність використання до  $2,32\%$  рідкого розчину лігносульфонатів на етапі вироблення сирих окотишів, що дозволяє здійснити повну заміну бентоніту органічним зв'язуючим при регульованому пороутворенні готової продукції.

4. З використанням методів оптимізації проведений комплекс лабораторних досліджень у широкому діапазоні змінення

факторів процесу обпалення і розроблена промислова технологія одержання обпалених окотишів з поліпшеними металургійними властивостями. Встановлено, що оптимальна кількість технічних лігносульфонатів для подавання у шихту огрудкування складає  $\approx 1,3\%$  (по сухій масі), що підтверджується результатами дослідно-промислових випробувань і техніко-економічних розрахунків, які показали високу ефективність їх використання у виробництві окусованої залізорудної сировини.

5. У виробничих умовах Полтавського ДГЗК розроблена і випробувана технологія одержання окотишів з використанням лігносульфонатів замість бентоніту, що дозволяє поліпшити їх металургійні властивості. Техніко-економічний прогноз ефективності впровадження технології виробництва таких окотишів на фабриці огрудкування Полтавського ДГЗК показує, що сумарний річний ефект може досягати 170 млн. руб. за цінами, які склалися на 1 січня 1992 р.
6. Розроблена і випробувана у виробничих умовах Полтавського ДГЗК технологія одержання окотишів з використанням у шихті твердого палива, яка дозволяє поліпшити металургійні властивості окотишів. Проплавка партії дослідних окотишів, які були одержані з використанням твердого палива, в доменній печі Краматорського металургійного заводу дозволила знизити витрату доменного коксу на 5,6% на 1 т переробного чавуну.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕНИЙ У ТАКИХ ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Исследование возможности применения лигнина при окусковании сырья и в доменном производстве/П.К.Бондаренко, Ю.А.Ступак, Н.В.Терещенко, В.И.Котов, В.Н.Захарченко//Металлургическая и горнорудная промышленность. -1993. -№2. -с.6-8.
2. Математическое моделирование влияния добавок лигносульфонатов на металлургические свойства окатышей/В.Н.Захарченко, Н.В.Терещенко, Д.А.Ковалев//Металлургическая и горнорудная промышленность. -1996. -№3. -с.7-9.
3. Заявка №93005765. МКВ 5 С22 В 1/242. Спосіб окусування руд-

- них матеріалів з використанням лігносульфонатів/ П.К. Бондаренко, М.В.Терещенко, Д.А.Ковальов, Є.І.Сулименко, О.О. Давидюк, О.О.Гогенко, В.М.Захарченко та ін. -Заявлено 17.05.93; Опубл. в Бюл. 8-1, 1994 г.//Промислова власність. -1994. -№8-1.
4. Бондаренко П.К., Валявин С.М., Захарченко В.Н. Использование лигнина при производстве окатышей//Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металлов: Тез. доп. Всесоюзн. наук.-техн. конф. -Тула. -1990. -с.6.
5. Котов В.И., Бондаренко П.К., Захарченко В.Н. О возможности использования лигнина при агломерации//Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескоксовой металлургии: Тез. доп. Всесоюзн. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1990. -с.82-83.
6. Бондаренко П.К., Котов В.И., Захарченко В.Н. Оценка возможности использования лигнина при производстве окатышей// Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескоксовой металлургии: Тез. доп. Всесоюзн. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1990. -с.169-170.
7. Захарченко В.Н., Терещенко Н.В. Производство железорудного металлургического сырья с использованием углеродсодержащих отходов//Теория и практика решений экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности: Тез. доп. Всесоюзн. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1993. -с.125.
8. Захарченко В.Н., Терещенко Н.В. Моделирование влияния добавок лигносульфонатов на металлургические свойства окатышей//Теория и технология аглодоменного производства: Тез. доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1995. -с.127-128.
9. Захарченко В.Н., Давидюк А.А. Исследование процесса получения окатышей с твердым топливом из концентратов Полтавского ГГОКа// Теория и технология аглодоменного производства: Тез. доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1995. -с.132-133.
10. Захарченко В.Н., Абрисимов Н.И. Оценка технико-экономических показателей работы ДП-4 КрамМЗ на окатышах ПГГОКа с повышенными металлургическими свойствами//

Теория и технология аглодоменного производства: Тез. доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. -Дніпропетровськ. -1995. -с.84-86.

11. Доменная плавка с использованием железорудных окатышей повышенной пористости/В.Н.Захарченко, Д.А.Ковалев, Н.И.Гуртовой//Металлургическая и горнорудная промышленность. -1996. -№3. -с.12-14.

Захарченко В.Н. Разработка технологии получения окускованного железорудного доменного сырья повышенного качества с использованием добавок органических связующих веществ и твердого топлива.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - металлургия черных металлов. Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1996. Рукопись 136 с., 58 табл., 25 рис., библиогр. 41 назв.

Ключевые слова: окускованное железорудное сырье, окатыши, пористость, восстановимость, лигнин, лигносульфонаты, твердое топливо, доменная плавка.

Содержит результаты лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний, направленных на разработку технологий получения окускованного железорудного сырья повышенного качества. Разработаны методики использования гидролизного лигнина, лигносульфонатов и твердого топлива (кокшик, уголь марки АШ) при производстве окатышей, имеющих повышенную пористость и восстановимость, не уступающих по прочностным характеристикам окатышам, полученным по традиционной технологии. Показана возможность полного вывода бентонита из шихты для производства окатышей. Показана принципиальная возможность использования лигнина при производстве агломерата.

Проанализированы результаты опытно-промышленной доменной плавки на окатышах, полученных с использованием твердого топлива. Приведены данные расчетов экономической эффективности разработанных технологий производства окатышей.

Zaharchenko V.N. Development of technology for reseiving high-quality agglomerated iron-ore raw materials for blast furnaces with adding organic binding matters and solid fuel.

The master's thesis on the speciality 05.16.02 - metallurgy of ferrous metals. State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, 1996. Manuscript, p. 136, tabl. 58, fig. 25, ref. 41.

Key words: agglomerated iron-ore raw materials, pellets, porosity, reductibility, lignine, liquid sulphuric lignine, solid fuel, blast smelting.

It contains theoretical and experimental investigations results for development of technology for receiving a high-quality agglomerated iron-ore raw materials. The methods of lignine, liquid sulphuric lignine and solid fuel (coke, antracite coal) using for production a high-porosity and high-reductibility pellets were developed. New pellets are firm as well as traditional pellets. It was shown the possibility of production a non-contained bentonite clay pellets. It was shown the principle possibility of lignine using for production of sinter.

It was considered the results by experimental-industrial blast furnace smelting with using a new pellets, which are received with using solid fuel. It was shown are results of economical efficiency calculations for new pellets production technologies.

*В.Н. Захарченко,*

Підписано до друку 10.12.96 р. Формат 60×84-1/16  
Папір типогр. №2. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 1,5. Зал.-вид. арк. 1,32  
Тираж 50 прим. Замовл. №356. Безкоштовно.

Металургійний комбінат "Запоріжсталь",  
330008, Запоріжжя, Південне шосе, 72

1055 22

AB 37.223