

УДК 669.15:003.13

DOI:10.26661/2071-3789-2019-1-41-07

Григор'єв Станіслав Михайлович<sup>(1)</sup>, завідувач кафедри, доктор технічних наук  
 Кириченко Олексій Геннадієвич<sup>(2)</sup>, доцент, кандидат технічних наук  
 Воляр Роман Миколайович<sup>(3)</sup>, доцент, кандидат технічних наук  
 Зінченко Олена Ярославівна<sup>(4)</sup>, старший викладач

## ВИКОРИСТАННЯ БРИКЕТІВ, ЩО ВМІЩУЮТЬ ХРОМ, У ВИРОБНИЦТВІ ПОРОШКОВИХ СПЕЦІАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

<sup>(1)</sup> Запорізький національний університет

<sup>(2)</sup> Запорізька державна інженерна академія

<sup>(3)</sup> Гідроенергетичний коледж Запорізької державної інженерної академії

Запропоновано стратегію та тактику ресурсо- й енергозбереження у металургії легуючих тугоплавких матеріалів. Виконано аналіз особливостей застосування брикетів, що вміщують хром, у порошковому виробництві спеціальних сталей.

Ключові слова: сталеплавильне виробництво, спеціальна сталь, легуючі тугоплавкі елементи, брикети, що вміщують хром, використання

Аналіз динаміки зростання світового виробництва сталі свідчить про збільшення обсягів її постачання на ринок. Цьому значною мірою сприяли економічне зростання в Європейському Союзі й оновлення головних сталеплавильних фондів в США та Азії. Характерною закономірністю динаміки зростання світового виробництва сталі є її структурні змінювання у бік випереджаючих темпів розвитку якісних і спеціальних марок сталі [1]. В Україні на частку сталей, що виплавляють в електродугових печах, доводиться 5-7 % загального обсягу її виробництва із збільшенням її до 2012 р. усього лише на 11-12 % [2]. Тому для рівноправного партнерства на світовому ринку пріоритетними умовами є підвищення якості сталі, а також ресурсо- й енергозбереження [3].

Стає очевидним, що одна з провідних галузей промисловості України: металургія – вже не може орієнтуватися на розвиток традиційного ресурсного джерела тими темпами, що спостерігали раніше, оскільки постачання феросплавів і легуючих матеріалів на основі тугоплавких елементів за останні роки різко знизилася. В зв'язку з цим ресурсозбереження та розробка нових видів продукції на діючих потужностях, що дозволяють підвищити ефективність і розширити область їх використання, є головними чинниками у вирішенні завдань, які висувають сучасні умови.

Стратегія ресурсозбереження припускає відмову від одноразового використання ресурсів, яких залучають до обороту. В цьому напрямі пріоритет належить одному з матеріально-енергоємних виробництв – металургії тугоплавких і рідкісних металів і лігатур на їх основі. Практичний досвід формування безвідходних

технологій свідчить про високу їх ефективність.

Вирішення поставлених проблем може бути здійснено тільки шляхом розробки та впровадження у виробництво прогресивних технологій одержання легуючих матеріалів з особливими наперед заданими споживчими властивостями, які задовольняють збільшеним вимогам сталеплавильного виробництва.

Одним з найбільш поширених легуючих елементів у металургії є хром – перехідний метал, що має найбільш високу температуру плавлення у першому ряду 3d-перехідних металів. Такий метал має особливі антикорозійні властивості, входить до складу легованих і високолегованих сталей і сплавів, у тому числі на основі заліза. Концентрація хрому в сталі залежить від її призначення та вимог, що пред'являють до неї, і змінюється від десятих часток відсотка до 30-40 %. Хром входить до складу значного марочного сортаменту сталей, які його вміщують: конструкційних, корозійностійких, жаростійких, жароміцних, інструментальних, а також сплавів спеціального призначення [5].

Зростання обсягів виробництва легованих сталей зумовлює підвищення випуску феросплавів на основі хрому та, в першу чергу, виробництва високо- та середньовуглецевого ферохрому. Аналіз стану питання виробництва ферохрому та динаміка його споживання у сталеплавильних і сталеливарних підприємствах свідчить про наявність передумов і необхідність вдосконалення якості легуючих матеріалів на основі хрому та технології його проникнення до сталі [6].

Практика одержання та використання губчастих легуючих матеріалів методами порошкової металургії підтверджує перспективність цю-

го напрямку в металургії [7].

Оскільки процеси карбідоутворення отримують розвиток на відновних стадіях та ймовірність одержання безвуглецевого продукту на гетерогенній стадії є нікчемно малою [8,9], підвищення вмісту оксидів хрому в складі шихтових матеріалів не змінює форму присутності відомих елементів у цільовому продукті.

З урахуванням виявленої закономірності розроблено технологічні параметри одержання брикетів, що вміщують хром, для легування сталі в системі без появи оксидних фаз. Одночасно склад брикетів відповідає технічним умовам [10].

Розроблений технологічний регламент одержання брикетів, що вміщують хром, з наперед заданими властивостями для їх використання як легуючого матеріалу дозволив виявити ряд чинників, які не враховують під час оцінки економічної ефективності, як у виробництві феросплавів, так і їх використанні. До таких чинників, що отримали розвиток у запропонованому технічному вирішенні, слід віднести:

- різке зниження витрати електроенергії, оскільки процеси відновлення та карбідізації провідних елементів рудної сировини здійснюють не руднотермічною плавкою, а методами порошкової металургії у гетерогенній системі;

- виключення операції оброблення великих плавлених зливків на дрібні шматки, що знижує собівартість переділу відновлення рудних концентратів.

Під час використання брикетів, які вміщують хром, як легуючий матеріал, різко скорочується час розчинення провідного елемента в розплаві сталі, що сприяє зниженню вигару легуючих елементів і підвищенню продуктивності головних металургійних агрегатів, та, як наслідок, зменшенню собівартості плавильного переділу.

Запропоноване технічне вирішення використання брикетів, що вміщують хром, [10] як легуючого елемента за розрахунку його економічної доцільності потребує урахування оригінальних критеріїв зіставлення, до яких слід віднести розрахунок балансу за елементами, що вносять, а також засвоюють під час виплавки сталі, а також зіставлення витрати елемента, заданого шихтою, із вмістом його у готовому металі [11].

Баланси шихтових матеріалів розраховують щодо плавки як прийнятих за базовий варіант, так і плавки за запропонованою технологією із застосуванням брикетів, що вміщують хром.

Порівняльні розрахунки виконують таким чином:

- визначають кількість  $j$ -го виду матеріалу щодо плавки за базовою та запропонованою технологією  $a_j$ , т, за кількості окремих матеріалів  $j = 1, 2 \dots n$

$$a_j = \sum_{i=1}^n a_j, \quad (1)$$

де  $a_j$  – витрата цього виду матеріалів  $i$ -ої плавки;  $n$  – кількість плавки;

- зіставляють базовий і запропонований баланси легуючих елементів, що входять до складу відповідних матеріалів, з урахуванням додавань до складу шихти; при цьому кількість відповідного чистого елемента в шихті  $b_\beta$ , т, складає:

$$b_\beta = \sum_{j=1}^m \frac{a_j \cdot d_\beta}{100}, \quad (2)$$

де  $d_\beta$  – частка елемента в матеріалі, %;

- розраховують коефіцієнт витрати легуючих елементів  $K_p$

$$K_p = \frac{b_\beta}{b_2}, \quad (3)$$

де  $b_2$  – кількість елемента в готових плавках сталі, т;

- обчислюють коефіцієнт засвоєння легуючих елементів  $K_y$

$$K_y = \frac{b_2}{b_\beta}, \quad (4)$$

- визначають суму економії щодо відповідного елемента  $E_\beta$

$$\dot{A}_\beta = \frac{(\hat{E}_{\beta, \text{д.д.}} - \hat{E}_{\beta, \text{д.т.}}) \cdot \hat{A}_n \cdot \dot{A} \cdot \ddot{O}_\beta}{\hat{E}_n}, \quad (5)$$

де  $K_{p, \text{б.}}$ ,  $K_{p, \text{н.}}$  – коефіцієнт витрати чистого елемента за базовим і запропонованим варіантами відповідно;  $B_c$  – кількість елемента в 1,0 т сталі, т;  $A$  – річний обсяг випуску сталі, на який поширюється впровадження нової технології, т;  $K_c$  – вміст елемента в матеріалі, частки одиниці;  $C_c$  – ціна елемента, гр. од./т.

Скорочення тривалості плавки призводить до збільшення випуску сталі, зниження витрати електроенергії ( $E_e$ ) та відповідно, умовно-постійних витрат ( $E_n$ ):

$$\dot{A}_\beta = (\tilde{N}_\beta - \tilde{N}_\beta) \cdot \ddot{O}_\beta \cdot \dot{A}, \quad (6)$$

де  $C_\beta$ ,  $C_n$  – питома витрата електроенергії за базовим і запропонованим варіантами, тис. кВт·год./т, відповідно;  $C_e$  – ціна електроенергії, гр. од./1000 кВт·год.

$$\dot{A}_\beta = \frac{\dot{I} \cdot \dot{A} \cdot (\tau_\beta - \tau_\beta)}{\tau_\beta}, \quad (7)$$

де  $\Pi$  – сума умовно-постійних витрат, гр. од.;  $\tau_\beta$ ,  $\tau_n$  – тривалість плавки за базовим і запропо-

нованим варіантами, год., відповідно.

Тоді суму річної економії  $E$  визначають з використанням формули

$$\dot{A} = \sum_{\beta=1}^j \dot{A}_{\beta} + \dot{A}_a + \dot{A}_r - \dot{A} - \dot{A}_r \cdot \dot{E}_{\text{аіа}} \cdot \dot{A}, \quad (8)$$

де  $\sum_{\beta=1}^j \dot{A}_{\beta}$  – сума економії відповідних  $\beta = 1, 2, 3, \dots, j$  елементів, т;  $B$  – витрати на застосування нового матеріалу,  $\dot{A} = \dot{a} \cdot \dot{O}_a \cdot \dot{A}$ ,  $\dot{a}$  – витрата нового матеріалу для виплавки 1,0 т сталі, т;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності;  $K_{\text{дод}}$  – додаткові капітальні вкладення, гр. од./т.

Під час застосування брикетів, що вміщують хром, встановлено певний взаємозв'язок між формою присутності провідних елементів та їх засвоєнням розплавом сталі. На всіх стадіях перетворень виявлено тільки прості оксидні та карбідні сполуки. Очевидно, це пов'язано з відносно низькою кількістю залізовмісних домішок у хромовій руді. Наявність у вказаних брикетах приблизно половини складу шлакотворних оксидів перешкоджає створенню складних оксидів шпінельного типу, оксикарбідів і тригональних карбідів, що мають місце під час виплавки вуглецевого ферохрому чи одержанні високохромистого сплаву з технічного оксиду хрому й оксиду заліза у гетерогенній системі. Така карбідна форма присутності провідного легуючого елементу в брикеті суттєво знижує його окислювальний потенціал під час введення хрому в розплав сталі, що підтверджено застосуванням нового легуючого матеріалу за виправкою сталі марок Х12-МП, Х12МФ-МП в індукційній печі місткістю тигля 4000 кг з нейтральною футерівкою і марок 40Х, 40Х13, 20Х13, Х12, 15Х5М у печі ДСП-25 [12].

Брикет, що вміщують хром та мають такий склад: 30,3 % легуючого елементу, 2,1-2,2 % вуглецю, не більше 0,01 % сірки та 0,007 % фосфору, завантажували під металеву частину шихти індукційної плавки, яка складається з обрізи, близької за хімічним складом до марки сталі, що виплавляють. Виправку порошкового металу виконували за діючою технологічною інструкцією. Доведення до заданого хімічного складу розплаву сталі здійснювали стандартними феросп-

лавами хрому ФХ800, молібдену ФМо 60 та ванадію ФВд 75. Встановлено, що розчинення хрому відбувається практично одночасно з іншою масою шихти, а його засвоєння розплавом сталі становить 92-95 %.

Під час виплавляння сталей марок 18ХГТ і 25ХГТ до дугової печі завантажували від 320 до 550 кг брикетів. Засвоєння хрому за періодами плавки було на рівні засвоєння стандартного ферохрому марок ФХ 600 і ФХ800.

За виплавки високохромистих сталей ефективними варіантами є введення брикетів разом із завантаженням металеві шихти перед продуванням розплаву сталі киснем і після видалення шлаку та продування киснем. В цьому разі маса брикетів, що завантажували, складає 400-2500 кг на плавку залежно від вмісту хрому в шихтових матеріалах. Виправку здійснюють як спільно із стандартними феросплавами ФХ 800 і ФХ 950, так і окремо брикетами, що вміщують хром.

Легування сталі марки 18-25 ХГТ, Х12МФ, Х12М4Ф, 95Х18 у печі ДСП- 25 хромом з брикетів [12] дозволяє виключити використання в технології виплавки стандартного ферохрому марок ФХ100-ФХ950.

Результати випробувань виплавки сталі із застосуванням брикетів, що вміщують хром, щодо засвоєння хрому, вмісту вуглецю та фосфору показали, що їх можна використовувати замість середньовуглецевого ферохрому марок ФХ 100-ФХ 400, де вміст вуглецю обмежено значенням 1-4 %, а фосфору – значенням 0,03-0,05 %. Засвоєння хрому з брикетів за періодами плавки коливається у межах 87-93 %. Кризна економічна ефективність капітальних вкладень на розробку та впровадження технології і виробництва брикетів, що вміщують хром, а також їх використання як легуючого матеріалу в сталеплавильному виробництві знаходиться в межах 0,40-0,62 (гр. од./рік)/гр. од.

*Висновки.* Розвиток виробництва легуючих елементів з особливими наперед заданими властивостями з техногенних відходів методами порошкової металургії дозволяє суттєво підвищити ефективність діючих виробництв.

### Бібліографічний перелік

1. **Пронников, В. В.** Нержавеющая сталь в современном мире [Текст] / В. В. Пронников, С. И. Корнеев // Цветные металлы. – 1996. – № 5. – С. 28-31.
2. **Сидоров, М. И.** Структурная перестройка черной металлургии Украины : сущность проблемы и пути их решения [Текст] / М. И. Сидоров // Экономика Украины. – 1994. – № 2. – С. 43-47.
3. **Шалимов, А. Г.** Черная металлургия в России и СНГ в XXI веке [Текст] / А. Г. Шалимов // Сталь. – 1994. – № 12. – С. 4-8.
4. **Мошкевич, Е. И.** Пути утилизации легированных отходов [Текст] / Е. И. Мошкевич // Сталь. – 1989. – № 6.

– С. 32-35.

5. **Гасик, М. И.** Теория и технология производства ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. – М. : Metallurgy, 1988. – 784 с.
6. **Серов, Г. В.** Производство ферросплавов в Российской Федерации [Текст] / Г. В. Серов, С. Б. Скачков // Электromеталлургия. – 1988. – № 6. – С. 23-26.
7. **Острик, П. Н.** Metallургия губчатых и порошковых лигатур [Текст] / П. Н. Острик, М. М. Гасик, В. Л. Пирог. – Киев : Техника, 1992. – 128 с.
8. **Острик, П. Н.** Термодинамика восстановления и образования в системе Cr-O-C [Текст] / П. Н. Острик, М. М. Гасик, А. Н. Попов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1986. – № 10. – С. 2-4.
9. **Острик, П. Н.** Термодинамика восстановления и образования в системе Fe-Cr-O-C [Текст] / П. Н. Острик, М. М. Гасик, А. Н. Попов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1987. – № 4. – С. 1-4.
10. **ТУ 322-297-П-98. Брикет хромсодержащий** [Текст] / Вводятся впервые с 17.03.1998. – Запорожье, 1998. – 7 с.
11. **Григорьев, С. М.** Совершенствование способов переработки и повышение степени утилизации окислов быстрорежущих сталей [Текст] / С. М. Григорьев // Сталь. – 1997. – № 10. – С. 75-78.
12. **Григорьев, С. М.** Комплексная утилизация легирующих элементов из отходов производства быстрорежущих сталей [Текст] / С. М. Григорьев // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1996. – № 8. – С. 10-14.

**Григорьев Станислав Михайлович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой экономики, Запорожский национальный университет (Украина, Запорожье). E-mail: redio@zsu.zp.ua

**Кириченко Алексей Геннадиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: alkir@ukr.net

**Воляр Роман Миколайович**, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: voron@meta.ua

**Зинченко Елена Ярославовна**, старший преподаватель гидроэнергетического колледжа, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: elelna.zinchenko@mail.ru

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРОШКОВЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Предложены стратегия и тактика ресурсо- и энергосбережения в металлургии легирующих тугоплавких материалов. Выполнен анализ особенностей применения хромсодержащих брикетов в порошkovом производстве специальных сталей.

Ключевые слова: сталеплавильное производство, специальная сталь, легирующие тугоплавкие элементы, хромсодержащие брикеты, использование

**Grigorev Stanislav**, doctor of technical sciences, Head of Department of Economics, Zaporizhzhia National University (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: redio@zsu.zp.ua

**Kirichenko Alexis**, candidate of technical sciences, Associate Professor of Metallurgical Department, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). (Ukraine, Zaporizhzhia) E-mail: alkir@ukr.net

**Volyar Roman**, candidate of technical sciences, Associate Professor of Metallurgical Department, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: voron@meta.ua

**Zinchenko Helena**, senior teacher of Hydroenergy College, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: elelna.zinchenko@mail.ru

### APPLICATION OF CHROME-LEARNING PUCKS IN PRODUCTION OF POWDER-LIKE SPECIAL STEELS

The Ukrainian and foreign experience in the production of ferrosilicoaluminum differing in the type of aluminosilicate raw materials: bauxite agglomerate, ash of thermal power plants, coal processing waste is analyzed. The results of laboratory studies in the conditions of state enterprise "UkrNIIspeStal" are given for the technological features of the production of ferrosilicoaluminum using secondary materials, in particular aluminum slag (fraction < 7 mm, aluminum content 22-27%) and ferrosilicon screenings (fraction < 6 mm) as charge materials. The influence of the ratio of aluminum slag mass (contains 20% aluminum) to ferrosilicon (grade ФС65) mass in the charge on the technological parameters of smelting ferrosilicoaluminum is shown: metal yield, aluminum content in the alloy, degree of recovery of silicon and aluminum. At that, in the charge the ratio of masses of aluminum slag and ferrosilicon screenings changed from 1.0 to 2.0, the ratio of masses of lime and aluminum slag mass was from 0.25 to 1.0, as well as the quantity of fluorspar changed with mass of given lime (from 5 to 15%). It has been experimentally shown that the production of ferrosilicoaluminum with an aluminum content of more than 10% is possible if the ratio of aluminum slag mass to ferrosilicon screenings mass is maintained at a level of 2.0. The dependences of metal yield, aluminum content in ferrosilicoaluminum, and recovery degree of aluminum on the content of aluminum metal in aluminum slag were analyzed and it was

found that with an increase in the metal aluminum content in aluminum slag mass from 20 to 30 wt% its recovery degree increases from 35,6 to 43%, while the aluminum content in ferroaluminum increases from 11.2% to 18%. The optimal ratio between the components of the charge materials for smelting ferrosilicoaluminum is determined: ferrosilicon screenings 23-25%, aluminum slag 48-59%, lime 25-27%, and fluorspar 2-3%, while the recovery degree of silicon is 99-99,6 %. Expense of electric power here made 2580-2620 kW-clock on the 1 tone alloy. Thus the degree of aluminium mastering and silicon makes 35-43% and 99,0-99,6% respectively. Finding specify on technologicalness and efficiency of the offered method of receipt of ferrosilicaaluminium

Keywords: steel-smelting production, special steel, alloying refractory elements, chrome-learing pucks, use.

Стаття надійшла до редакції 21.01.2019 р.  
Рецензент, проф. Ю.Ф. Терновий