

1 – ЗВМ, 2 – вугілля, 3 – залізорудний матеріал, 4 – фактична швидкість нагріву ЗВМ

Швидкість нагріву залізорудного матеріалу в залежності від вмісту ЗВМ також досліджено математично та результати наведено на рисунку 3.

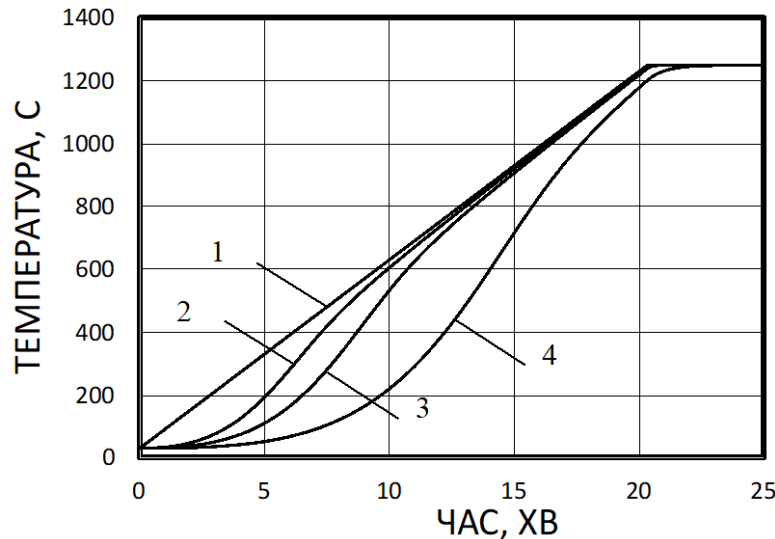


Рисунок 3. Швидкість нагріву залізорудного матеріалу в залежності від вмісту ЗВМ

1 – ЗВМ, 2 – вміст ЗВМ 50%, 3 – вміст ЗВМ 30%, 4 – вміст ЗВМ 10%

Перелік посилань

1. С83 XVII Міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті»: Матеріали. Електронне видання. – Дніпро, Журфонд, 2023. – 400 с. (С. 58)

УДК 669.168.3

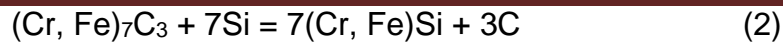
І. Й. Водін

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Дніпро

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІКОХРОМУ

Процес одержання силікохрому двостадійним (безшлаковим) способом заснований на відновленні кремнію з SiO_2 у складі кварциту вуглецем коксону в присутності ферохрому передільного. В основі процесу лежить реакція руйнування карбідів хрому та заліза високовуглецевого ферохрому або чардж-хрому відновленим кремнієм [1]. Процес може бути описаний наступними реакціями:

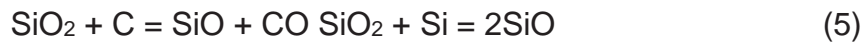




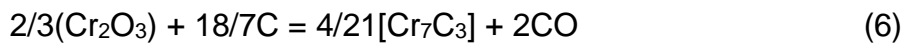
Відновлення кремнію з кремнезему кварциту вуглецем йде за участю проміжної сполуки SiC, що утворюється за реакцією:



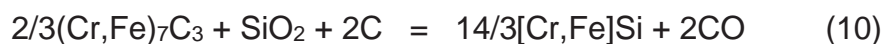
де: вуглець пористого коксу бере активну участь у реакціях з ще одним невід'ємним компонентом системи, в якій відбувається відновлення кремнію – газоподібним монооксидом SiO, що утворюється по реакціях:



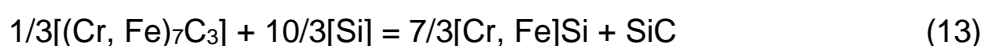
У процесі виплавки силікохрому одностадійним (шлаковим) способом спільно відновлюються залізо та хром з оксидів у складі хромітової руди та кремній із кварциту вуглецевим відновником за наведеними реакціями.:



Особливістю процесу є необхідність протікання реакції відновлення кремнію SiO₂ у складі кварциту вуглецем коксика. Механізм відновлення кремнію вуглецем досить складний та пов'язаний з утворенням CO, SiO та тугоплавкого карбіду кремнію SiC [3]. Таким чином, в зоні високих температур, в результаті взаємодії рідкого SiO₂ з рідким кремнієм, у присутності твердого вуглецю утворюється газоподібний монооксид кремнію, який взаємодіє з карбідом кремнію. У верхніх горизонтах печі непрорегувавший SiO взаємодіє з вуглецем коксика з утворенням SiC. На рівновагу цих реакцій впливає присутність передільного ферохрому у складі шихти. У міру опускання шихти вниз відбувається зневуглецювання ферохрому за реакціями (2) та (3). Отримання феросилікохрому безшлаковим способом може бути описано сумарною реакцією [4]:



У процесі виплавки силікохрому одностадійним (шлаковим) способом спільно відновлюються залізо та хром з оксидів у складі хромітової руди та кремній із кварциту вуглецевим відновником за наведеними реакціями:



Особливістю процесу є необхідність протікання реакції відновлення кремнію SiO_2 у складі кварциту вуглецем коксика. Механізм відновлення кремнію вуглецем досить складний і пов'язаний з утворенням CO , SiO та тугоплавкого карбїду кремнію SiC . У порівнянні з безшлаковим методом отримання силікохромом, при шлаковому способі механізм відновлення компонентів та формування сплаву складніший. Значна частина кварциту, що задається в шихту, витрачається на формування шлакового розплаву, здатного забезпечити достатню, для технології, ступінь вилучення кремнію в сплав. Відновлення кремнію та хрому протікає через утворення розплаву, що містить карбїди хрому, заліза та тугоплавкий карбїд кремнію. Саме склад шлаку, що формується в процесі, забезпечує ефективне рафінування розплаву від вуглецю з утворенням силікохромом [4].

Технологічною особливістю виробництва силікохромом одностадійним способом є необхідність значного перегріву нижніх горизонтів печі для зниження вмісту хрому в кінцевому шлаку з метою зниження в'язкості і забезпечення нормального випуску розплаву. Перегрів може призводити як до підвищеної витрати вуглецевого відновника, так і до збільшення відльоту відновленого кремнію, і як наслідок, до зниження вилучення хрому і погіршення стійкості футеровки печі через зростання вмісту хрому в шлаку, що підвищує його температуру плавлення і в'язкість [4].

Для успішної організації технології одностадійного силікохромом необхідно підтримання оптимального співвідношення оксидів алюмінію і магнію в шлаку, а також достатнє його нагрівання, що пов'язане з електричними та геометричними параметрами печі, тобто питомою потужністю. Протікання процесу доцільно організувати таким чином, щоб температура плавлення шлаку була вищою за температуру початку відновлення кремнію з SiO_2 , а також щоб якомога повніше відновлення хрому з оксиду проходило до досягнення ним високотемпературних зон печі, інакше реакція Cr_2O_3 з відновленим кремнієм або його монооксидом буде приводити до утворення SiO_2 , а отже, до формування більш в'язкого та кислого шлаку [3]. В'язкість шлаку залежить від вмісту SiO_2 і співвідношення $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, яке у свою чергу залежить від природи руди, тому говорити про раціональне його значення необхідно в тісному взаємозв'язку з типом хроморудної сировини. Спрощено можна говорити про варіанти складів шлаку з $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,0-1,2$ та $\text{SiO}_2 = 45-50\%$. Вміст SiO_2 зі збільшенням співвідношення $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ зростає. Додаток оксидів кальцію або плавикового шпату знижує в'язкість шлаків (але зазвичай не застосовується). Збільшення вмісту оксидів хрому в шлаках підвищує в'язкість [3].

Через скорочення запасів багатих хромітових руд і залучення бідних хромітових руд у технологію виробництва вуглецевого ферохрому виникла технологія чардж-хрому, що спричинило низку неминучих змін у роботі печі.

Одне з найважливіших – неможливість отримати багатий хромом (> 60 % Cr) феросплав через низьке відношення хрому до заліза в руді [2].

У зв'язку з цим на ринку в даний час досить широко представлений, поряд з високовуглецевим ферохромом, чардж-хром (charge-chrome), або шихтовий хром, з вмістом хрому 45-55%. Ще однією особливістю даного матеріалу є необхідність мати у складі сплаву підвищений вміст кремнію – на рівні 5–6 % замість 1–2 % – характерному для стандартного вуглецевого ферохрому, оскільки дробність сплаву знижена, а міцність підвищена [4].

Плавку чардж-хрому ведуть аналогічно технології високовуглецевого ферохрому [6]. Особливістю технології виплавки чардж-хрому є найбільший у порівнянні зі стандартним вуглецевим ферохромом питома витрата шихтових матеріалів, електроенергії, а також необхідність мати підвищений вміст кремнію в металі, що регулюється наважкою кварциту або шлаку ФСХ. Хімічний склад, %, феросилікохрому наведен в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад, %, феросилікохрому (ГОСТ 11861-77)

Марка сплаву	Si	Cr, не менше	C	P	S
			не більше		
ФСХ13	10-16	55	6,0	0,04	0,03
ФСХ20	16-23	48	4,5	0,04	0,02
ФСХ26	23-30	45	3,0	0,03	0,02
ФСХ33	30-37	40	0,9	0,03	0,02
ФСХ40	37-45	35	0,2	0,03	0,02
ФСХ48	Понад 45	28	0,1	0,03	0,02

Говорячи про споживчі властивості чардж-хрому, слід згадати, що зниження вмісту хрому, порівняно зі стандартним ферохромом, дещо знижує його температуру плавлення. Зниженню температури плавлення феросплаву ще більше сприяє підвищення вмісту кремнію в чардж-хромі (до 10 %) у 2-3 рази порівняно з ферохромом при незначному зменшенні щільності сплаву щодо сталевий ванни, що збільшує ступінь засвоєння хрому з феросплаву при легуванні сталі [3].

ЛИТВО.МЕТАЛУРГІЯ. 2023

До складу шихти для силікохрому двостадійним способом входить високовуглецевий (передільний) ферохром або чардж-хром, кварцит, вуглецевий відновник (коксик, напівкокс, вугілля).

При виробництві силікохрому одностадійним (шлаковим) методом до складу шихти входить кварцит, хромітова руда, вуглецевий відновник, і навіть можуть додаватися флюси, які містять MgO чи Al₂O₃, і плавиковий шпат [1,4]. Питома витрата матеріалів та електроенергії при виплавці феросилікохрому двостадійним безшлаковим (чисельник) та одностадійним шлаковим (знаменник) способами наведен у таблиці 2.

Таблиця 2. Питома витрата матеріалів та електроенергії при виплавці феросилікохрому двостадійним безшлаковим (чисельник) та одностадійним шлаковим (знаменник) способами на 1 баз.т сплаву з різним вмістом кремнію

Показники	Вміст Si, %				
	13	23	33	43	50
Витрата матеріалу, кг/т:					
	<u>298</u>	<u>520</u>	<u>742</u>	<u>965</u>	<u>1121</u>
кварциту	634	881	1134	1323	1464
	-	-	-	-	-
хромової руди	1908	1600	1420	1145	923
	<u>117</u>	<u>220</u>	<u>312</u>	<u>424</u>	<u>308</u>
коксика	543	575	625	678	712
	<u>1089</u>	<u>911</u>	<u>803</u>	<u>648</u>	<u>525</u>
передільного ферохрому	-	-	-	-	-
	<u>8</u>	<u>41</u>	<u>62</u>	<u>93</u>	<u>115</u>
стружки сталевій	30	82	84	105	116
Витрата електроенергії, кВт·год/б.т	<u>1500</u>	<u>2450</u>	<u>3390</u>	<u>4350</u>	<u>5110</u>
	4770	5660	7040	7770	8870

Таким чином існують два способи отримання феросилікохрому: одно-(шлаковий) і двостадійний (безшлаковий). В основному застосовують двостадійний спосіб, який заснований на відновленні кремнію з кремнезему (кварциту) вуглецем у присутності передільного вуглецевого ферохрому, що отримується на першій стадії. При

одностадійному (шлаковому) способі в шихту використовують хромітову руду, кварцит і коксик. Одностадійний (шлаковий) спосіб виплавки феросилікохрому на феросплавних заводах не застосовується [4].

Список літератури

1. Гасік М. І., Лякішев М. П. Фізикохімія та технологія електроферосплавів: підручник для вузів. Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. 448 с.
2. Гріненко В. І. Хром Казахстану / Гріненко В. І., Поляков О. І., Гасік М. І., [та ін.]. М.: Металургія, 2001. 416 с.
3. Абдулабеков Є. Е., Каскін К. К., Нурумгалієв А. Х. Теорія та технологія виробництва хромістих сплавів: навч. посібник. Алмати Республіканський видавничий кабінет з навчальної та методичної літератури, 2010. 280 с.
4. Лякішев М. П., Гасік М. І. Металургія хрому. М.: ЕЛІЗ, 1999. 585 с.

УДК 622.7:669.1

К. Р. Володько

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТВЕРДОФАЗНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗА

Твердофазне відновлення заліза є одним з способів відновлення оксидів заліза (Fe_2O_3 або Fe_3O_4) до металевого заліза (Fe) в умовах, коли доступ до газів обмежений або відсутній. Цей спосіб використовується, наприклад, для одержання металевого заліза з залізних руд або відходів виробництва.

Основні кроки методу твердофазного відновлення заліза: підготовка матеріалів (залізні оксиди повинні бути дрібно подрібнені, щоб збільшити поверхню контакту для реакції); змішування з відновлювачем (до оксидів заліза додають відновлювач - речовину, яка може постачати електрони для відновлювальної реакції); термічна обробка (суміш оксидів заліза і відновлювача нагрівають у термічній печі без доступу повітря); відокремлення продуктів; додаткова обробка (видалення домішок та поліпшення його якості).