УДК 621.365.3:669.168

КАЧАН Юрій Григорович, завідувач кафедри, доктор технічних наук,
МІЩЕНКО Владислав Юрійович, аспірант

ЩОДО ЗМІНЮВАННЯ ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ШИХТИ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОГО ФЕРОМАРГАНЦЮ

Запорізька державна інженерна академія

Досліджено залежність змінювання питомого електричного опору різного складу шихтових матеріалів для виплавки феромарганцю від рівня їх температури. Одержані експериментальні данні вказують на нелінійний характер зазначеної залежності.
Ключові слова: високовуглецевий феромарганець, руднотермічна піч, шихтові матеріали, питомий електричний опір шихти, дослідження

Вступ. Феросплавне виробництво є однією із головних галузей промисловості, майбутнє якої пов'язано з подальшим розвитком ефектроенергетичної бази. Технологічні процеси, що відбуваються у ванні руднотермічної печі, є дуже різноманітними. Деякі з них протікають безперервно, а інші потребують повного проплавлення завантажених матеріалів. Найважливішим параметром печі є електричний опір ванни, що залежить від значної кількості факторів: питомого опору матеріалів, що завантажено до ванни, геометричних розмірів ванни, а також кількості та розмірів електродів [1].

У руднотермічній печі має місце змішаний режим перетворення електричної енергії на теплову. Приблизно 60 % теплоти виділяється в дузі, інша її частина – у шихті за режимом опору [2].

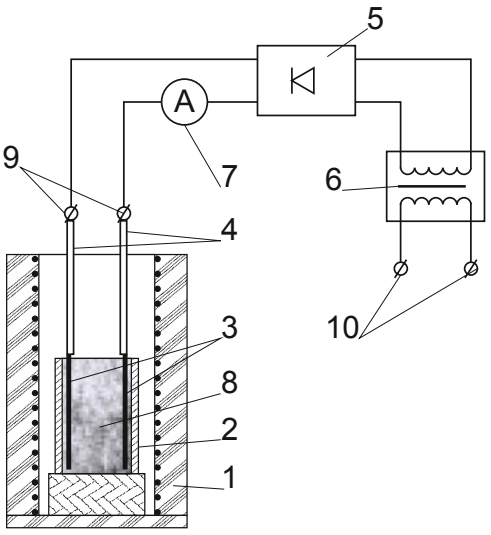
Важливою властивістю шихтових матеріалів для одержання феросплавів у руднотермічних печах є їх питомий електричний опір. Його значення за інших рівних умов визначається як кількістю, так і гранулометричним складом компонентів шихтових матеріалів та зростає із підвищенням їх температури.

Аналіз досягнень. Більшість наукових праць у даній тематиці присвячена безпосередньо фізичним властивостям готової продукції – феросплавам [3-5]. Проте властивостям шихти, як багатокомпонентної маси, яка слугує матеріалом для виплавки різноманітних феросплавів, не приділено достатньої уваги. Процес одержання такої продукції є багатогранним та включає в собі безліч як хімічних, так і фізичних процесів.

Під час управління процесом плавки феромарганцю в руднотермічних печах характер змінювання питомого електричного опору шихтових матеріалів повинен бути відомим для використання як вхідної інформації.

Постановка задачі. Метою дослідження є відпрацювання методики одержання інформації щодо змінювання питомого опору шихти для виплавки високовуглецевого феромарганцю від рівня її температури за різних співвідношень компонентів та виявлення таких залежностей.

Головна частина досліджень. Дослідження було виконано за розробленою методикою на експериментальній установці, що подано на рис. 1.



1 - піч Таммана; 2 - керамічний тигель; 3 - сталеві пластини; 4 - електроди; 5 - діодний міст; 6 - регулятор напруги; 7 - міліамперметр; 8 - шихта; 9 - з'єднання електродів з живлючою мережею; 10 - підключення до побутової мережі 220 В

Рисунок 1 – Схема установки для вимірювання електричного опору шихти

Нагрівання шихтових матеріалів до температури розплаву здійснювали у печі Таммана 1, що має циліндричну форму. Керамічний тигель 2 із досліджуваною шихтою завантажували до робочого простору зазначеної печі зверху, після чого для зменшення теплових втрат виконували її герметизацію за допомогою термостійкого матеріалу. Для визначення питомого електричного

© Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко, 2017

опору шихтових матеріалів на внутрішній стінці тигля розміщували дві сталеві пластини 3, які за допомогою електродів 4 виведено за межі печі. Постійну напругу яку одержують за допомогою діодного моста 5, підводять до електродів, та регулюють її значення з використанням спеціального регулятора 6. Вимірювання сили струму в електричному колі здійснювали за допомогою міліамперметра 7. Значення температури шихтових матеріалів у діапазоні 200-1000 °С контролювали з використанням лазерного пірометра, а за температури вище ніж 1000 °С – оптичного пірометра. Під час експерименту фіксували покази міліамперметра, зазначених пірометрів, а також змінювання рівня шихтових матеріалів у тиглі. Слід зазначити, що для замірювань температури пірометрами, а також рівня просадки шихти під час виконання експериментальних плавок кожного разу відкривали оглядове вікно печі та виконували відповідні замірювання. Нагрівання шихти здійснювали поступово шляхом підвищення потужності печі. Це зумовлено тим, що керамічний тигель, в якому знаходиться досліджувана шихта, був чутливим до різких змінювань температури.

Як досліджуваний матеріал використовували шихту для плавки феромарганцю марки *FeMn*78, що складалася із сировини, що вміщує марганець, кокс, вапняк та залізовмісні металеві додавання [2]. Відомо, що залежно від рівня збагачення марганцевої руди або концентрату для одержання однієї тонни високовуглецевого феромарганцю використовують різну кількість шихтових матеріалів [3]. Під час експерименту досліджували шихту із нижче наведеним складом компонентів (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Склад шихтових матеріалів для виплавки феромарганцю

Номер плавки	Шихтові матеріали, %			
	Марганець	Кокс	Металева стружка	Вапняк
1	68,59	16,45	4,01	10,95
2	62,79	16,28	6,98	13,95
3	78,57	14,29	7,14	0

Під час виконання експериментів щодо виплавляння феромарганцю для плавки № 1 було вибрано мінімальну кількість складових шихтових матеріалів, для плавки № 2 – їх середню кількість та для плавки № 3 – їх максимальну кількість.

Обробку результатів експериментів виконували таким чином. З використанням закону Ома для електричних кіл постійного струму за різної температури шихтових матеріалів спочатку розраховували її повний електричний опір.

$$R = \frac{U}{I}\ , \qquad (1)$$

де R – опір шихтових матеріалів, Ом; $R = \rho \cdot \ell / s$, ρ – питомий опір шихтових матеріалів, мм^2·Ом/м; ℓ – відстань між пластинами, м; S – площа поверхні пластин, мм^2; U – напруга, В; I – сила струму, А.

Питоме значення опору ρ шихтових матеріалів обчислюють за формулою, що враховує геометричні параметри пластин, до яких підводять напругу.

$$\rho = \frac{S \cdot U}{I \cdot l}\ . \qquad (2)$$

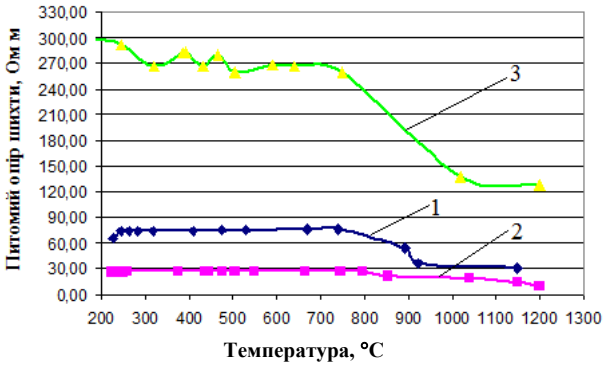
Під час нагрівання шихтові матеріали змінюють свої фізичні властивості, а зокрема щільність, внаслідок чого відбувається їх просідання у тиглі. Як результат, змінюється площа контакту шихтових матеріалів з пластинами S, значення якої розраховують за формулою:

$$S = a \cdot (b - \Delta b)\ , \qquad (3)$$

де a – ширина пластини; b – початкова висота наповнення тиглю шихтовими матеріалами відносно пластини; Δb – просідання шихтових матеріалів у тиглі.

Сталеві пластини, які розміщено у тиглі одна навпроти іншої, мають майже прямокутну форму та різну відстань між собою, тому для розрахунків приймали її середньоарифметичне значення.

Одержані залежності питомого електричного опору шихти від рівня її температури наведено на рис. 2.



1 - плавка № 1; 2 - плавка № 2; 3 - плавка № 3.

Рисунок 2 – Залежність питомого електричного опору шихти від температури для різних плавок

Результати досліджень показали, що в інтервалі температур 250-750 °С питомий електричний опір шихтових матеріалів для виплавки феромарганцю змінюється у невеликому діапа-

зоні. За температури 750-1100 °С спостерігають його зниження, що, в свою чергу, зумовлено фазовими переходами під час поступового розплавлення шихтових матеріалів [4]. По досягненні у ванні печі рідкої фази її питомий опір майже не змінюється. Встановлено, що, із зростанням масової долі коксу та металевої стружки, питомий опір шихтових матеріалів (плавка № 2) зменшується. Це пов'язано з тим, що тільки зазначені компоненти є електропровідними та, в свою чергу, забезпечують горіння дуги між електродами у руднотермічній печі.

Висновки. За допомогою вище наведеної методики виконано експерименти щодо одержання залежності питомого електричного опору для різного складу шихти від температури. Встановлено, що невелике масове змінювання компонентів шихти значно впливає на її питомий опір. Під час подальшого моделювання процесу плавки у руднотермічній печі важливо знати питомий опір шихти за будь-якої температури, тому що він має змінний характер.

Бібліографічний список

1. **Струнский, Б. М.** Руднотермические плавильные печи [Текст] / Б. М. Струнский. – М. : Металлургия, 1972. – 368 с.
2. **Гасик, М. И.** Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.
3. **Гасик, М. И.** Марганець [Текст] / М. И. Гасик. – М. : Металлургия, 1992. – 608 с.
4. **Гасик, М. И.** Теория и технология производства ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. – М. : Металлургия, 1988. – 784 с.
5. **Гаврилов, В. А.** Силикотермия марганца [Текст] / В. А. Гаврилов, М. И. Гасик. – Днепропетровск : Системные технологии, 2001. – 512 с.

КАЧАН Юрий Григорьевич, доктор технических наук, заведующий кафедры электротехники и энергоэффективности Запорожской государственной инженерной академии (Запорожье,Украина). E-mail: eee.feeit-@gmail.com

МИЩЕНКО Владислав Юрьевич, аспирант кафедры электротехники и энергоэффективности Запорожской государственной инженерной академии (Запорожье,Украина). E-mail: admin@zgia.zp.ua

ОБ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫПЛАВКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА

Исследована зависимость изменения удельного электрического сопротивления различного состава шихтовых материалов для выплавки ферромарганца от температуры шихты. Получены экспериментальные данные указывают на нелинейный характер указанной зависимости.
Ключевые слова: высокоуглеродистый ферромарганец, рудотермическая печь, шихтовые материалы, удельное электрическое сопротивление шихты, исследование

KACHAN Yuriy, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, Zaporizhska state engineering academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: eee.feeit@gmail.com

MISHCHENKO Vladyslav, Graduate Student of Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, Zaporizhska state engineering academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: admin@zgia.zp.ua

ABOUT MODIFICATION OF THE SPECIFIC ELECTRICAL RESISTANCE OF THE SHIELD IN THE PROCESS OF CARRYING OUT OF HIGH-CARBON FERROMANGANESE

The dependence of the change of the specific electrical resistively of various composition of charge materials for the smelting of ferromanganese from temperature changes was studied. Experimental data have been obtained that show the nonlinear nature of the montioned dependence.
Keywords: high-carbon ferromanganese, ore-thermal furnace, charge materials, specific electrical resistively of charge, research

Стаття надійшла до редакції 08.09.2017 р.
Рецензент, проф. Ю.Ф. Терновий

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
http://www.zgia.zp.ua