DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.097

БАГАТОФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФЕРОСПЛАВНОГО ПРОЦЕСУ

Пономаренко Р.В., Пройдак Ю.С., Гладких В.А., Рубан А.В., Пройдак А.Ю.
Український державний університет науки і технологій, Україна

Вступ. Рудовідновлювальні феросплавні процеси являють собою складну систему. Тому, для її вивчення необхідно використовувати системний підхід. Процес необхідно розглядати не просто як сукупність окремих елементів, а у взаємозв'язку параметрів і характеристик підсистем і елементів. У феросплавній електропечі шихта є одночасно носієм хімічних компонентів і середовищем в якому відбувається перетворення електричної енергії в теплову за рахунок електричного опору і електричної дуги. Максимальна енергетична потужність печі і її продуктивність досягається як за рахунок конструктивних параметрів ванни, короткої мережі, потужності пічного трансформатора, діаметра самообпалювальних електродів, так і електротехнологічних, теплофізичних властивостей вихідних шихтових матеріалів, рудно-шлакового розплаву і кінцевого феросплаву.

Основний матеріал. Серед вихідних електричних характеристик (параметрів) необхідно виділяти фіксовані, тобто задані: потужність електропічного трансформатора, ступені напруги з низького боку, характеристики повздовжньо-ємкісної компенсації, геометричні розміри ванни печі і самообпалювальних електродів і інші. Такий багатофакторний вплив на техніко-економічні показники (ТЕП) може бути визначений за рахунок аналітичних і експериментальних досліджень, широкого використання комп'ютерних технологій обробки даних, моделювання та математичної статистики.

Головні технологічні параметри і основні кінцеві показники тісно пов'язані з електричними характеристиками, тобто електричним режимом рудовідновлювальної плавки феросплавів. Любий випадковий, або керований вплив на руднотермічний процес змінює значення електричних характеристик, що в свою чергу впливає на кінцеві показники. Вимірювання і аналіз електричних характеристик дозволяє отримувати оперативну інформацію для контролю і керування процесом розміщення енергетичних зон в приелектродному просторі ванни печі.

Одним із найбільш значимих технологічних параметрів вуглецевовідновлювального процесу, до якого відносяться процеси

виробництва марганцевих феросплавів, в тому числі і феросилікомарганцю є кількість вуглецю в шихті < Ств >, або його відношення до марганцю (Ств/Mn) та до суми заданих з шихтою марганцю і кремнезему (Ств/Mn + SiO_2) при виплавці феросилікомарганцю. Відомо, що чим більше доля вуглецю в шихті, тим вона більше електропровідна, а як наслідок - важче підтримувати максимальну потужність в ванні печі [4]. Цей технологічний параметр буде використаний в даній роботі в якості основного при визначенні кореляційних зв'язків з електричними характеристиками і кінцевими показниками. Важливими технологічними параметрами які впливають на електричний опір приелектродного простору і на його складові і в кінцевому рахунку на показники процесу, як продуктивність печі (Пп.), питому витрату електроенергії ($Q_{ел.ен.}$) і вилучення марганцю в феросплав (η_{Mn}) є основність шихти <Ств/Mn + SiO_2> і основність шлаку (CaO + MgO/SiO_2).

Кінцеві техніко-економічні показники (ТЕП) залежать від ефективності роботи електропечі. У виробничих умовах контролюється та розраховується такий ряд кінцевих показників: маса виплавленого феросплаву ($Q_ф$), хімічний склад феросплаву [Mn, Si, P, C], маса відвального шлаку ($Q_{шл}$), хімічний склад шлаку (Mn, SiO_2, CaO, MgO) і питома витрата шихтових матеріалів ($q_{ших}$), електроенергії ($Q_{ел.ен}$), кратність шлаку ($K_{шл}$), показник корисного вилучення марганцю (η_{Mn}) та інші показники, які використовуються для порівняльної характеристики ефективності роботи окремих електропечей, цехів і виплавки різних за якістю феросплавів.

Висновки: 1. В роботі прийняті найбільш значимі кінцеві показники для визначення кореляційного зв'язку їх з електричними характеристиками і технологічними параметрами, наприклад: питома продуктивність печі ($П_п$, т/год), питома витрата вихідних шихтових матеріалів ($q_{ших.і}$, кг/т) і питома витрата електроенергії ($Q_{ел.ен.}$, кВт·год/т) і коефіцієнт вилучення марганцю в феросплав (η_{Mn}, %).

2. На користь визначених в роботі головних технологічних параметрів, електричних характеристик і кінцевих показників свідчать і високі коефіцієнти детермінації значення котрих для слідуючих залежностей складають: заданий в піч марганець з шихтою <Mn_z> - маса отриманого марганцю з феросплавом [$Mn_п$] – (R^2 дорівнює 0,86); електричний опір електрода ($R_е$) – заданий в піч марганець <Mn_z> → R^2 =0,62; електричний опір електрода ($R_е$) - активна потужність печі (Ра) → R^2 =0,66; заданий в піч марганець <Mn_z> - маса отриманого кремнію з феросилікомарганцем [$Si_п$] → R^2 =0,85; заданий в піч марганець з шихтою <Mn_z> - маса заданого з шихтою твердого вуглецю <$C_{тв}$> →

R^2 =0,82; маса заданого твердого вуглецю <$C_{тв}$> - питома витрата електроенергії ($Q_{ел.ен.}$,) → R^2 =0,79.

Література

1. Гасик М.І. Марганець. – М.: Металургія, 1994. – 608 с.
2. Гасик М.І., Лякишев М.П. Фізикохімія и технологія електроферосплавів: Підручник для вузів. – Дніпропетровськ: ГНПП «Системні технології», 2005. – 448 с.
3. Порівняльна оцінка сировина для виплавки марганцевих сплавів / Коваль А.В., Гасик М.І., Гладких В.А., Лисенко В.Ф., Люборець І.І. // Сталь, 1997, № 1. С. 27-30.
4. Оптимізація складу багатокомпонентної шихти вуглецевовідновлювальної плавки феросплавів / Гасик М.І., Гладких В.А., Михальов О.І. та ін. // Електрометалургія, 1999, № 3. – С. 35-40.
5. Визначення оптимальних параметрів електричного режиму при виплавці феросилікомарганцю / Куцін В.С., Гладких В.А., Кузьменко С.М. та ін. // Сталь, 2010, № 1. – С. 55-57.
6. Автоматична система контролю та управлення електричним режимом шестиелектродної печі з виплавки феросилікомарганцю (АСКЭР-6) / Куцін В.С., Ольшанський В.І., Гладких В.А., Кузьменко С.М., Грунов В.П. / Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. т.6. Прогресивні енерго- і ресурсозберігаючі технології та обладнання електротермії феросплавів. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2003. – 376 с.
7. Визначення раціональних технологічних параметрів виплавки феросилікомарганцю на основі електричних характеристик процесу / Куцін В.С., Гладких В.А., Кузьменко С.М. та ін. // Сталь, 2009, № 1. – С. 32-35.
8. Jang J.-S. R. Neuro-fuzzy modeling: Architectures, Analyses and Applications // Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California. – 1992. – 155 p.
9. V.A.Gladkih, A.I.Mikhalyov, N.V.Licaja, D.A.Lisiy, V.F.Lisenko, S.M.Kuzmenko, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine //Features of proceeding in a manganese and silicon in ferro-alloys smelting.//9-th International Symposium of Croatian Metallurgical Society Materials and Metallurgy (SHMD'2010, June, 20-24, 2010).

MULTIFACTOR ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE FERROALLOY PROCESS

Ponomarenko R., Proidak Yurii, Gladkykh Volodymyr, Ruban Artem, Proidak Andrii

Abstract. Ore-reducing ferroalloy processes must be considered as a relationship of parameters and characteristics of subsystems and elements. The maximum energy capacity of the furnace and its productivity is achieved both due to the design parameters of the bath, the short network, the power of the furnace transformer, the diameter of the self-ignition electrodes, as well as the

electrotechnological and thermophysical properties of the initial charge materials, ore-slag melt and final ferroalloy. The amount of carbon is one of the most significant technological parameters of the carbon reduction process for the production of manganese ferroalloys. In the work, the most significant final indicators are adopted and their correlation with electrical characteristics and technological parameters is determined.

Key words: ferroalloys, electric furnace, charge, parameters, electrical mode, electrical conductivity, power, coefficient of determination, TEP.

Reference

1. Gasik M.I. Marhanets. – M.: Metalurhiia, 1994. – 608 s.
2. Gasik M.I., Liakyshev M.P. Fizykokhimiia y tekhnolohiia elektroferosplaviv: Pidruchnyk dlia vuziv. – Dnipropetrovsk: HNPP «Systemni tekhnolohii», 2005. – 448 s.
3. Porivnialna otsinka syrovyna dlia vyplavky marhantsevykh splaviv / Koval A.V., Gasik M.I., Gladkih V.A., Lysenko V.F., Liuborets I.I. // Stal, 1997, № 1. S. 27-30.
4. Optymizatsiia skladu bahatokomponentnoi shykhty vuhletsevovidnovliuvalnoi plavky ferosplaviv / Gasik M.I., Gladkih V.A., Mikhalyov O.I. ta in. // Elektrometalurhiia, 1999, № 3. – S. 35-40.
5. Vyznachennia optymalnykh parametriv elektrychnoho rezhymu pry vyplavtsi ferosylikomarhantsiu / Kutsin V.S., Gladkih V.A., Kuzmenko S.M. ta in. // Stal, 2010, № 1. – S. 55-57.
6. Avtomatychna systema kontroliu ta upravlennia elektrychnym rezhymom shestyelektrodnoi pechi z vyplavky ferosylikomarhantsiu (ASKЭR-6) / Kutsin V.S., Olshanskyi V.I., Gladkih V.A., Kuzmenko S.M., Hrunov V.P. / Suchasni problemy metalurhii. Naukovi pratsi. t.6. Prohresyvni enerho- i resursozberihaiuchi tekhnolohii ta obladnannia elektrotermii ferosplaviv. – Dnipropetrovsk: Systemni tekhnolohii, 2003. – 376 s.
7. Vyznachennia ratsionalnykh tekhnolohichnykh parametriv vyplavky ferosylikomarhantsiu na osnovi elektrychnykh kharakterystyk protsesu / Kutsin V.S., Gladkih V.A., Kuzmenko S.M. ta in. // Stal, 2009, № 1. – S. 32-35.
8. Jang J.-S. R. Neuro-fuzzy modeling: Architectures, Analyses and Applications // Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California. – 1992. – 155 p.
9. V.A.Gladkih, A.I.Mikhalyov, N.V.Licaja, D.A.Lisiy, V.F.Lisenko, S.M.Kuzmenko, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine //Features of proceeding in a manganese and silicon in ferro-alloys smelting.//9-th International Symposium of Croatian Metallurgical Society Materials and Metallurgy (SHMD'2010, June, 20-24, 2010).