

Проценко М. Ю.

к.т.н., доц.,

Воронько М. И.

асс.,

Проценко В. И.

асс.

ГОУ ВПО «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РУДНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ПРОЦЕССА ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ НА ЕЕ УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ

В работе представлены результаты исследований влияния вида связующей добавки, ее количества и доли восстановителя в составе рудно-восстановительной смеси блоков для дугового глубинного восстановления кремния на её удельное электросопротивление. По результатам статистической обработки экспериментальных данных получены зависимости, на основании которых определен необходимый состав рудно-восстановительной смеси, обеспечивающий меньшую вероятность пробоя электрической дуги на расплав.

Ключевые слова: электросопротивление, рудно-восстановительная смесь, дуговое глубинное восстановление, кокс, связующее, цемент, жидкое стекло, каменноугольный пек.

Основная часть рудно-термических процессов, в частности ферросплавные процессы, требуют подведения в реакционную зону большого количества тепла. Это достигается за счет подведения в реакционную зону электрической энергии, которая за счет горения электрической дуги преобразуется в тепловую. Для процессов производства ферросплавов снижение расхода электроэнергии является важным параметром, т. к. данная величина составляет основную статью затрат в их себестоимости.

Для рудно-термических процессов и для метода дугового глубинного восстановления (ДГВ), очень важно иметь высокое электросопротивление рудного сырья рудно-восстановительной смеси (РВС), которая состоит из рудного материала, связующего и восстановителя. В качестве восстановителя широко используются углеродсодержащие материалы. Поэтому восстановитель является главным электропроводящим шихтовым материалом, а его избыток в составе шихты и РВС приводит к снижению их электросопротивления, что способствует рассеиванию и снижению мощности, подводимой в зону горения электрической дуги.

Снижение электросопротивления РВС влечет за собой увеличение расхода электроэнергии, снижение производительности и удорожание внепечной обработки [1]. Поэтому в данной работе выполнены исследования изменения удельного электросопротивления РВС в зависимости от ее состава.

Электросопротивление РВС блоков ДГВ определялось по методике, описанной в работе [2]. Основная цель работы заключалась в исследовании влияния доли различных связующих и восстановителя в составе РВС на ее удельное электросопротивление (ρ). Исследования проводили для процесса ДГВ кремния из песка.

При изготовлении опытных образцов РВС в качестве основного рудного материала использовали песок (п), в качестве связующих материалов использовали: цемент (ц), каменноугольный пек (к. п.), жидкое стекло (ж. с.). В качестве восстановителя использовали кокс (к).

При проведении исследований удельного электросопротивления РВС использовали методику двухфакторного планированного эксперимента с двумя звёздными точками [3].

Содержание связующего и восстановителя в РВС выбиралось в соответствии с матрицей планированного эксперимента. Содержание компонентов в РВС (d):

РВС с цементом — $d_{\text{п}} = 47,78 \div 62,93 \%$, $d_{\text{ц}} = 8,50 \div 23,65 \%$, $d_{\text{к}} = 27,84 \div 29,29 \%$;

РВС с к. п. — $d_{п.} = 55,67 \div 66,47 \%$, $d_{к.п.} = 9,87 \div 20,66 \%$, $d_{к.} = 22,83 \div 24,48 \%$;

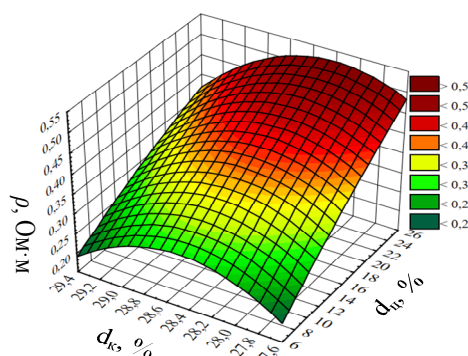
РВС с ж. с. — $d_{п.} = 59,13 \div 64,11 \%$, $d_{ж.с.} = 6,31 \div 11,29 \%$, $d_{к.} = 28,87 \div 30,27 \%$.

Опытные образцы РВС с использованием цемента ($d_{ц.}$) и жидкого стекла ($d_{ж.с.}$) набивались в пресс-форме и в дальнейшем сушились на воздухе при нормальных условиях, а при использовании каменноугольного пека ($d_{к.п.}$) набивка РВС в пресс-форме производилась в печи при температуре 120°C с последующим коксованием в течение 8 часов при температуре $800 \div 900^\circ\text{C}$. После набивки все образцы имели цилиндрическую форму диаметром 22 мм.

Перед измерением электросопротивления образцов их тщательно шлифовали до размера по высоте 50 мм и выравнивали контактные плоскости параллельно друг другу. Для минимизации погрешности измерений электросопротивления РВС, замер каждого образца производили по три раза и использовали среднее значение.

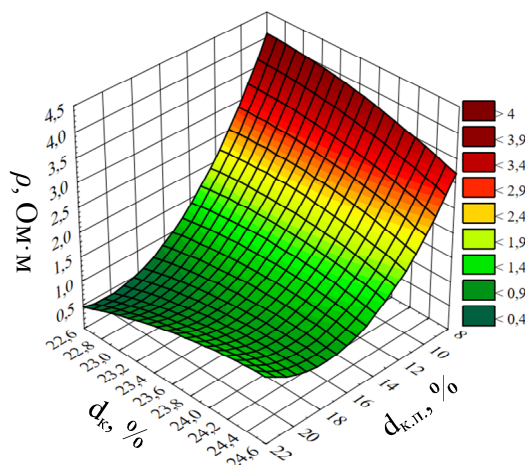
Полученные экспериментальные результаты были статистически обработаны с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel и Statistica 64 Version 10. Полученные зависимости представлены на рисунках 1–3.

В результате проведенной работы было установлено влияние доли различных связующих и восстановителя в составе РВС на величину ее удельного электросопротивления для процесса ДГВ элементов из песка.



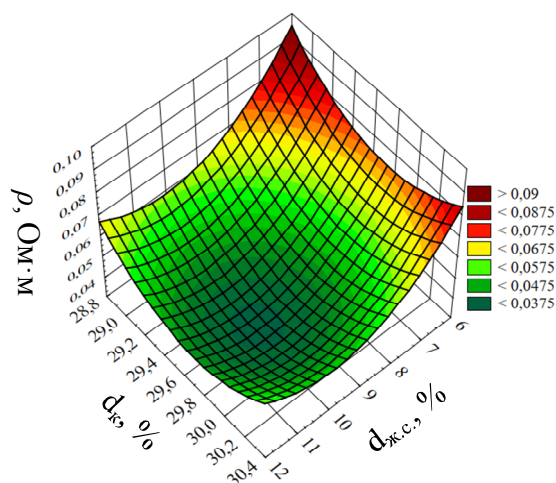
$$\rho_{ц} = -91,6622 + 0,101 \cdot d_{ц} + 6,4317 \cdot d_{к} - 0,0001 \cdot d_{ц}^2 - 0,003 \cdot d_{ц} \cdot d_{к} - 0,1126 \cdot d_{к}^2$$

Рисунок 1 — Зависимость ρ РВС от количества добавки цемента и кокса



$$\rho_{к.п.} = -65,2913 + 2,4431 \cdot d_{к.п.} + 7,3049 \cdot d_{к.} + 0,024 \cdot d_{к.п.}^2 + 0,0647 \cdot d_{к.п.} \cdot d_{к.} - 0,11751 \cdot d_{к.}^2$$

Рисунок 2 — Зависимость ρ РВС от количества добавки каменноугольного пека и кокса



$$\rho_{ж.с.} = 23,7462 - 0,0522 \cdot d_{ж.с.} - 1,5784 \cdot d_к + 0,0022 \cdot d_{ж.с.}^2 + 0,0003 \cdot d_{ж.с.} \cdot d_к + 0,0265 \cdot d_к^2$$

Рисунок 3 — Зависимость ρ РВС от количества добавки жидкого стекла и кокса

Результаты проведенных исследований показывают, что максимальные значения удельного электросопротивления получены с использованием в РВС каменноугольного пека ($\rho_{к.п.} = 0,664 \div 3,628$ Ом·м для РВС с содержанием 20,66 % к. п. и 23,66 % кокса и 9,87 % к.п. и 23,66 % кокса соответственно), а минимальные значения ρ с использованием в РВС жидкого стекла ($\rho_{ж.с.} = 0,037 \div 0,07$ Ом·м для РВС с содержанием 10,49 % ж. с. и 30,07 % кокса и 7,09 % ж. с. и 29,08 % кокса соответственно).

РВС с использованием 8,5÷23,65 % цемента и 27,84÷29,29 % кокса имеет промежуточные значения удельного электросопротивления ($\rho_{ц} = 0,276 \div 0,497$ Ом·м) в сравнении с $\rho_{к.п.}$ и $\rho_{ж.с.}$, при этом минимальное значение ρ получено при содержании 10,79 % цемента и 28,06 % кокса, а максимальное значение при содержании 23,65 % цемента и 28,57 % кокса.

РВС с использованием цемента и к. п. имеет более высокое электросопротивление в сравнении с жидким стеклом и для технологии ДГВ кремния из песка это является важным фактором, так как будет меньшая вероятность пробоя электрического тока через РВС на расплав. Высокое удельное электросопротивление РВС сконцентрирует мощность на дуге, что в свою очередь снизит затраты электроэнергии на процесс внепечной обработки расплава методом ДГВ кремния. Использование жидкого стекла в составе РВС повлечет за собой большее рассеивание и снижение подводимой мощности в зону горения электрической дуги, что увеличит расход электроэнергии на процесс ДГВ кремния.

В дальнейших исследованиях предполагается использовать полученные результаты при внепечной обработке чугуна или стали и проанализировать технико-экономические показатели процесса ДГВ кремния.

Список литературы

1. Рысс, М. А. Производство ферросплавов / М. А. Рысс. — М. : Металлургия, 1985. — 344 с.
2. Куберский, С. В. Исследование влияния состава электродной смеси на её удельное электросопротивление / С. В. Куберский, М. Ю. Проценко, М. И. Воронько, В. И. Проценко // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2018. — № 53. — С. 70–75.
3. Воронько, М. И. Разработка методики для оценки влияния состава электродной смеси на её электропроводность / М. И. Воронько, В. О. Десятников, М. Ю. Проценко // Металлургия XXI столетия глазами молодых : материалы IV Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов. — Донецк : ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2018. — С. 39–42.

© Проценко М. Ю.
© Воронько М. И.
© Проценко В. И.

PhD in Engineering Protsenko M. Yu., PhD student Voron'ko M. I., assistant Protsenko V. I.
(SEI HPE LPR "DonSTU", Alchevsk, LPR)

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE ORE-REDUCING MIXTURE OF THE PROCESS OF ARC DEPTH REDUCTION OF SILICON ON ITS SPECIFIC ELECTRIC RESISTANCE

The paper presents the results of studies on the effect of the type of binder additive, its amount and the proportion of reducing agent in the composition of the ore-reducing mixture of blocks for arc deep reduction of silicon on its specific electrical resistance. According to the results of statistical processing of the experimental data, dependencies are obtained, based on which the necessary composition of the ore-reduction mixture is determined, which provides a lower probability of breakdown of the electric arc into the melt.

Keywords: electrical resistance, ore-reduction mixture, deep arc reduction, coke, binder, cement, water glass, coal tar pitch.

УДК 669.04:669.046.558.3

Проценко М. Ю.

к.т.н., доц.,

Воронько М. И.

асс.,

Заведия В. С.

с.н.с. НИПКИ «Параметр»

ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОЦЕСС ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Проведен анализ различных методов определения затрат электроэнергии на процесс дугового глубинного восстановления элементов и установлена достоверность получаемых с их помощью результатов.

Ключевые слова: дуговое глубинное восстановление, затраты электроэнергии, электрические параметры, себестоимость, внепечная обработка расплава.

Основная часть рудно-термических процессов, в частности ферросплавные процессы, требуют подведения в реакционную зону большого количества тепла. Это достигается за счет подведения в реакционную зону электрической энергии, которая в следствии горения электрической дуги преобразуется в тепловую. Для процессов производства ферросплавов учет расхода электроэнергии является важным параметром, т. к. данная величина занимает основную статью затрат в их себестоимости. Производство ферросилиция является наиболее энергоемким, а чем больше содержание кремния в сплаве, тем выше энергоемкость процесса. При производстве ферросилиция (ФС) с содержанием в сплаве кремния 45 %, 65 %, 75 % затраты электроэнергии составляют $10,0 \div 11,2$ кВт·ч/кг, $10,9 \div 11,9$ кВт·ч/кг и $11,3 \div 13,5$ кВт·ч/кг кремния соответственно. Доля расхода электроэнергии в себестоимости ФС65 может достигать 60 %, а ФС75 — 70–75 % от общих затрат на его производство. Затраты электроэнергии при производстве 78 % ферромарганца составляют $2,6 \div 6,7$ кВт·ч/кг марганца, а для 17 % и 20 % ферросиликомарганца составляет $3,6 \div 4,4$ кВт·ч/кг и $4,4 \div 6,1$ кВт·ч/кг суммы марганца и кремния соответственно. Постоянный рост цены на электроэнергию существенно влияет на технико-экономические показатели производства ферросплавов [1].

Исследуемая технология дугового глубинного восстановления элементов (ДГВ) аналогична процессам получения ферросплавов, но может использовать в качестве основного рудного сырья шлаки и шламы, образующиеся на различных этапах производства стали и