

Проценко М. Ю.
к.т.н., доц. каф. МЧМ,
Воронько М. И.
аспирант,
Белан И. А.
магистрант гр. МЧМ-14-2м, shelengeer@mail.ru
ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РУДНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ПРОЦЕССА ДГВ КРЕМНИЯ НА ЕЕ УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ

Кремний в виде силикомарганца и ферросилиция широко используется при производстве черных металлов в качестве раскислителя и легирующего элемента. Данные ферросплавы получают чаще всего карботермическим способом в рудно-термических печах. Производство ферросплавов карботермическим способом является энерго-, трудо- и материалоемким процессом. Поэтому для повышения технико-экономических показателей процесса раскисления-легирования металла кремнием актуальным является разработка новых эффективных технологий, предусматривающих использование вторичных материалов и отходов металлургического производства для частичной или полной замены традиционного сырья. Одной из таких технологий является метод дугового глубинного восстановления (ДГВ) элементов.

Для процесса ДГВ кремния возможно использование в качестве основного сырья различных кремнийсодержащих материалов, таких как шлак от производства ферросилиция, кварцит, песок и т. п. Определенный интерес в качестве кремнийсодержащего материала представляет песок, с высоким содержанием оксида кремния (до 97,3 % SiO₂), и имеющий фракционный состав, не требующий дополнительных затрат на его подготовку.

Для восстановительных процессов, в частности для метода ДГВ кремния, очень важно иметь высокое электросопротивление рудно-восстановительной смеси (РВС), которая состоит из кремнийсодержащего материала, связующего и кокса в качестве восстановителя. Восстановитель является главным электропроводящим материалом, а его избыток приводит к уменьшению электросопротивления РВС, тем самым рассеивая и снижая мощность, подводимую в зону горения электрической дуги. Уменьшение электросопротивления РВС влечет за собой увеличение расхода электроэнергии, снижение производительности и удорожание внепечной обработки [1]. Поэтому в данной работе проводили исследования изменения электросопротивления РВС при различном ее составе.

Электросопротивление РВС блоков ДГВ определяли 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). При изготовлении опытных образцов РВС в качестве кремнийсодержащего материала использовали песок, связующие материалы: цемент, каменноугольный пек (к. п.), жидкое стекло (ж. с.) и кокс.

В лабораторных условиях проводились исследования удельного электросопротивления РВС с использованием методики двухфакторного планированного эксперимента с двумя звездными точками [3]. Опытные образцы изготавливались в соответствии с матрицей планированного эксперимента. Рассев песка, цемента, к. п. и

кокса производился через сито с ячейками 0,63 мм. Содержание связующего и восстановителя рассчитывалось по стехиометрии карботермического процесса восстановления кремния. Основное содержание песка, связующих материалов и восстановителя приведено в таблице 1.

Таблица 1 — Состав опытных образцов РВС

Наименование связующего	Содержание компонента в РВС, %		
	Песок	Связующее	Кокс (q_k), %
Цемент ($Q_{ц}$)	47,78 ÷ 62,93	8,5 ÷ 23,65	27,84 ÷ 29,29
к. п. ($Q_{к.п.}$)	55,67 ÷ 66,47	9,87 ÷ 20,66	22,83 ÷ 24,48
ж. с. ($Q_{ж.с.}$)	59,13 ÷ 64,11	6,31 ÷ 11,29	28,87 ÷ 30,27

Опытные образцы с использованием цемента и жидкого стекла набивались в пресс форме и в дальнейшем сушились на воздухе, а при использовании каменноугольного пека набивка пресс формы проводилась в печи при температуре 120 °С с последующем коксованием РВС в течение 2 часов при температуре 800–900 °С.

Перед проведением серии опытов на образцах цилиндрической формы в количестве 27 шт. диаметром 22 мм и высотой 50 мм тщательно зачищали контактные плоскости параллельно друг другу. Для минимизации погрешности при измерении электросопротивления замеры производили по три раза и использовали среднее значение. Результаты опытных данных были статистически обработаны с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel и Statistica 64 Version 10. Полученные зависимости представлены ниже:

$$\rho_{цемент} = -91,6622 + 0,101 \cdot Q_{ц} + 6,4317 \cdot q_k - 0,0001 \cdot Q_{ц}^2 - 0,003 \cdot Q_{ц} \cdot q_k - 0,1126 \cdot q_k^2, \quad (1)$$

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

$$\rho_{ж.с.} = 23,7462 - 0,0522 \cdot Q_{ж.с.} - 1,5784 \cdot q_k + 0,0022 \cdot Q_{ж.с.}^2 + 0,0003 \cdot Q_{ж.с.} \cdot q_k + 0,0265 \cdot q_k^2. \quad (3)$$

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

Полученные результаты показывают, что РВС с использованием цемента и к. п. имеет высокое электросопротивление ($\rho_{цемент}$ 0,49 Ом·м, $\rho_{к.п.}$ 3,62 Ом·м), а это для технологии ДГВ кремния из песка играет положительную роль, так как будет меньшая вероятность пробоя тока через РВС. Показатели высокого электросопротивления сконцентрируют максимальную мощность на дуге, что в свою очередь снизит затраты электроэнергии на процесс ДГВ кремния. При использовании ж. с. его $\rho_{ж.с.}$ составит 0,07 Ом·м, что в сравнении с другими связующими повлечет за собой большее рассеивание и снижение подводимой мощности в зону горения электрической дуги и, как следствие, увеличение расхода электроэнергии при ДГВ кремния.

В дальнейших исследованиях предполагается опробовать данные блоки с представленными составами рудно-восстановительных смесей при внепечной обработке чугуна или стали и проанализировать технико-экономические показатели процесса.

Библиографический список

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 // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2018. — Вып. № 53. — С. 70–75.
3. Воронько, М. И. Разработка методики для оценки влияния состава электродной смеси на её электропроводность [Электронный ресурс] / 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 «ДНТУ», 2018. — С. 39–42. — (CD-ROM).