

Скорость растворения огнеупора в шлаке определяется диффузией компонентов огнеупора в шлаке. Если это так, то скорость растворения периклаза можно выразить как:

$$v = \left(\frac{D}{\delta \cdot \rho} \right) \cdot (C_{MgO_{нас}} - C_{MgO}),$$

где v — скорость растворения огнеупора;

δ — толщина пограничного диффузионного слоя;

D — коэффициент диффузии;

ρ — плотность шлака;

$C_{MgO_{нас}}$ — концентрация насыщения MgO в расплавленном шлаке;

C_{MgO} — текущая концентрация MgO в шлаке.

Принцип регулирования состава шлака сводится таким образом к тому, что, повышая $C_{MgO_{нас}}$, добиваются нулевой разности $(C_{MgO_{нас}} - C_{MgO})$. Одновременно при содержании MgO в шлаке 6–8 % резко возрастает вязкость шлака и температура его плавления. Это способствует налипанию шлака на огнеупор и созданию защитного слоя на его поверхности.

К неблагоприятным факторам следует отнести повышенное содержание FeO в шлаке, повышение температуры продувки и ее продолжительности, а также количество загружаемых флюсующих добавок.

Для увеличения стойкости футеровки кислородных конвертеров необходимо строго регламентировать: содержание кремния в чугунах — не более 0,7 %; содержание оксидов железа в шлаке — не более 18 %.

Дальнейшее применение новых высококачественных огнеупоров, комплексный подход к проблеме увеличения срока их службы — это вопросы, которые остаются актуальными и на сегодняшний день.

Список литературы

1. Дюдкин, Д. А. Огнеупоры и их эксплуатация: конспект лекций / Д. А. Дюдкин, В. Е. Ухин. — Донецк : ДНТ, 2007. — 62 с.

УДК 669.046.516

Пасечник А. Ю.

ст. преп.

ГОУ ВПО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕДИ В ПЕРЕХОДНОМ СЛОЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА «СТАЛЬ-МЕДЬ»

Проведен анализ факторов, влияющих на величину переходной зоны биметаллического слитка «сталь-медь», выплавляемого методом электрошлакового переплава. Представлена математическая модель, позволяющая на основе характера изменения температуры предсказать распределение железа в медном слое. Показано, что переплав с послойным «намораживанием» меди на сталь — эффективный путь снижения содержания железа в меди.

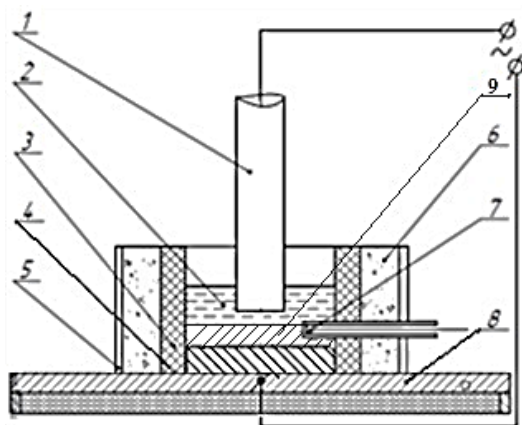
Ключевые слова: *электрошлаковый переплав, переходной слой, математическое моделирование, диффузия, растворение.*

Применение электродуговых печей постоянного тока позволяет снизить расход электроэнергии, ферросплавов, улучшить экологическую обстановку за счет уменьшения выбро-

сов пыли. Однако, широкому распространению подобных агрегатов препятствует наличие подового электрода. Условия его работы определяются высокой токовой и тепловой нагрузкой. Материал подового электрода должен обладать высокой теплопроводностью и инертностью по отношению к стали. Такими свойствами обладает биметалл сталь-медь.

При выплавке биметаллического слитка основное требование — небольшая переходная зона между сталью и медью, поскольку железо в меди, даже в относительно небольшом количестве, резко снижает электро и теплопроводность.

В Донецком Национальном Техническом Университете совместно с фирмой «РОУД» разработан способ электрошлакового переплава меди на стальную затравку, позволяющий получать биметаллический слиток с малой переходной зоной размером 5–10 мм (рис. 1).



- 1 — графитированный электрод (диаметр 50 мм); 2 — жидкий шлак (высота 50 мм); 3 — графитовый тигель (диаметр 150 мм, толщина стенки 20 мм); 4 — стальная затравка (диаметр 150 мм, высота 20 мм); 5 — кожух; 6 — теплоизоляционный слой (кварцевый песок); 7 — хромель-алюмелиевая термопара в графитовой трубке; 8 — водоохлаждаемый поддон; 9 — наплавленный медный слой

Рисунок 1 — Схема лабораторной электрошлаковой установки получения биметаллического слитка

Размер переходной зоны зависит от температуры стальной затравки перед подачей на неё жидкой меди и времени контактирования её со сталью. Управление этими параметрами осуществляют за счет корректировки тока переплава, напряжения на шлаковой ванне и интенсивности охлаждения затравки (увеличение или уменьшение расхода охлаждающей воды в поддоне). Выбор оптимальных параметров, позволяющих создать условия для минимизации перехода железа в медный слой, сложная задача и решать её целесообразно с помощью математического моделирования.

Предлагается математическая модель, описывающая процесс перехода железа в расплав меди. Она основана на решении дифференциального уравнения диффузии в цилиндрической системе координат с осевой симметрией:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{D}{r} \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(r \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right], \quad (1)$$

где D — коэффициент диффузии;

r — координата по радиусу;

z — координата по высоте;

C — концентрация;

τ — время.

Уравнение решали методом конечных разностей по явной схеме в программе Microsoft Excel.

Коэффициент диффузии D_{i0} , энергию активации E взяли из литературных источников [1, 2]. Зависимость их от температуры описывается законом Аррениуса:

$$D_i = D_{i0} \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right), \quad (2)$$

где E_i — энергия активации;

T — температура;

R — газовая постоянная.

Приняты следующие граничные условия:

– на поверхностях «медный слой — шлаковая ванна», «медный слой — стенка тигля» — массообмен отсутствует, то есть $\frac{\partial C}{\partial r} = 0$, $\frac{\partial C}{\partial z} = 0$;

– на поверхности раздела «медный слой — стальная затравка» — задана концентрация железа в тонком пограничном слое, рассчитанная, исходя из скорости растворения железа в меди [2]. Высоту пограничного слоя определяли по скорости всплывания стальных микрочастиц (размером 20 мкм), источником которых является разрушающаяся зона шероховатости стальной затравки. Подобный механизм растворения (за счет отрыва от твердой стальной поверхности массива из нескольких зерен при расклинивающем действии жидкой меди, проникающей в микронадрывы в стальной поверхности) отмечен в работе [3].

Рассчитанные с помощью математической модели значения концентрации железа в наплавленном слое меди сравнивали с результатами спектрального анализа медной части биметаллического слитка (табл. 1), выплавленного на лабораторной установке (см. рис.). Процесс переплава для уменьшения растворения железа в меди осуществляли по способу с послойным «намораживанием» меди [4].

Таблица 1 — Концентрация железа в меди в переходном слое

Расстояние от стальной затравки, мм	Показания термопары в наплавленном медном слое, °С	Концентрация железа в меди, вес. %	
		Результаты моделирования	Результаты спектрального анализа
5	1250	2,3	1,8
10	1100	0,51	0,45
20	1060	0,056	0,051

Как видно, рассчитанные с помощью разработанной модели значения концентрации железа в переходной зоне близки к реальным значениям. Разницу можно объяснить погрешностью показаний термопары, из-за наличия графитовой огнеупорной защитной трубки.

Предложенная модель адекватна и позволяет описать процесс распределения железа в медном слое, дать рекомендации по изменению скорости подачи меди, температуры шлаковой ванны и затравки для формирования «намороженных» слоёв с минимальным содержанием железа.

Список литературы

1. Вайнерман, А. Е. О процессах растворения и диффузии на межфазной границе при взаимодействии разнородных металлов / А. Е. Вайнерман // Автоматическая сварка. — 1976. — № 12. — С. 15–19.
2. Авраамов, Ю. С. Новые композиционные материалы на основе несмешивающихся компонентов: получение, структура, свойства / Ю. С. Авраамов, А. Д. Шляпин. — М. : МГИУ, 1999. — 206 с.
3. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Ш. Шоршоров [и др.] — М. : Машиностроение, 1969. — 192 с.
4. Пат. 104262 Украина, МПК (2013.01) В23К 9/00, В23К 9/23 (2006.01), В23/С 703/22 (2006.01). Способ электрошлаковой наплавки меди и её сплавов на сталь / Корицкий Г. Г., Пасечник С. Ю., Пасечник А. Ю. — № 201303105; заявл. 14.03.2013; опубл. 10.10.2013. — 6 с. : ил.